



Terugval in Productie na de Langste Dag

Is er een lagere productie per lichteenheid in het najaar ten opzichte van het voorjaar?

Barbara Eveleens, Ep Heuvelink & Leo Marcelis





Terugval in Productie na de Langste Dag

Is er een lagere productie per lichteenheid in het najaar ten opzichte van het voorjaar?

Barbara Eveleens, Ep Heuvelink & Leo Marcelis

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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 Wageningen UR Glastuinbouw



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



PT nummer: 13288

Projectnummer: 3242038200

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Aanleiding, opzet en doelstellingen	3
2 Mogelijke oorzaken van een terugval in lichtbenuttingsefficiëntie na de langste dag	5
3 Klimaatomstandigheden	7
Lichtintensiteit	7
Lichtkwaliteit	10
Daglength	13
Temperatuur buitenlucht	13
Luchtvochtigheid buitenlucht	15
CO ₂ -niveau	16
Interactie licht en temperatuur	17
4 Gewas	19
Assimilatenvraag en -aanbod	19
Fotosynthese	21
Onderhoudsademhaling	23
Lichtbenuttingsefficiëntie	24
Bladoppervlak per m ²	26
Specifieke bladoppervlak	27
Drogestofverdeling en kwaliteit vruchten	28
Vochthuishouding	31
Wortelgroei	31
5 Analyse van data	35
5.1 Lichtbenuttingsefficiëntie (LBE)	35
5.2 Datasets	35
5.3 Methode	35
5.4 Resultaten	36
5.5 Conclusies van de data analyse	38
6 Conclusies	41
6.1 Aannemelijke oorzaken van terugval	41
6.2 Mogelijke oorzaken van terugval	42
6.3 Niet-aannemelijke oorzaken van terugval	43
7 Literatuur	45
Bijlage I.	7 pp.
Bijlage II. Simuleren van effect van een constante CO ₂ -concentratie en LAI gedurende het jaar	1 p.
Bijlage III. LBE van gesimuleerde proefgegevens	1 p.
Bijlage IV. Simuleren van effect van een lagere CO ₂ -concentratie of LAI in het najaar	2 pp.

Samenvatting

Neemt voor vruchtgroenten de productie per eenheid licht na de langste dag af? Onderzoek speciaal gericht op de mogelijke oorzaken van een terugval in productie na de langste dag is niet beschikbaar. Op basis van interviews met telers en adviseurs en een literatuuronderzoek is een lijst van mogelijke oorzaken van 'terugval' opgesteld. Daarnaast is een analyse van beschikbare datasets van een tomatengewas uitgevoerd. In 88% van de gevallen is er een lagere productie per eenheid licht in het najaar ten opzichte van het voorjaar gevonden. Dit was het geval in zowel open als gesloten kassen. Een verklaring voor dit fenomeen is moeilijk aan te geven en het ligt aan een complex samenspel van vele factoren. Ook was er in 3 van de 4 gesloten kassen een grotere terugval in productie ten opzichte van open kassen op hetzelfde bedrijf maar dit was grotendeels te wijten aan ziekte. In dit onderzoek zijn de volgende aannemelijke oorzaken van terugval in een tomatenteelt genoemd: de verhouding tussen het assimilatenaanbod en assimilatenvraag, de verhouding tussen straling en de gemiddelde temperatuur, de verhoogde luchtvochtigheid in het najaar, een lager CO₂-niveau in een open kas in de herfst ten opzichte van het voorjaar, het veranderende wortelmilieu in het najaar, de toenemende leeftijd van de plant en de verdeling van de assimilaten. Daarnaast zijn als mogelijke factoren meer diffuus licht in het voorjaar en een afnemende bladoppervlakte in het najaar gegeven.

De verhouding tussen het assimilatenaanbod en de assimilatenvraag speelt een belangrijke rol in de terugval van productie in het najaar. In het voorjaar lopen deze twee factoren redelijk gelijk op in een vruchtgroenteteelt. Echter in een tomatenteelt in het najaar blijft de assimilatenvraag hoog terwijl het aanbod afneemt met afnemend licht. Daarnaast is de onderhoudsademhaling voor alle gewassen in het najaar hoger omdat de kassen over het algemeen warmer zijn en omdat er meer blad en/of stengelbiomassa is aan de vruchtgroenteplanten. De verhouding tussen de straling en de gemiddelde temperatuur heeft een effect op het assimilatenaanbod en de assimilatenvraag. In het najaar veroorzaken de hoge buitentemperatuur en de hoge absolute vochniveaus dat het kasklimaat minder goed te sturen is omdat er minder verschil is tussen de warme en vochtige kaslucht en de buitenlucht. Dit veroorzaakt een minder gunstige verhouding tussen de straling en de gemiddelde temperatuur in het najaar ten opzichte van het voorjaar.

Het CO₂-niveau is in een open kas in het najaar lager dan in het voorjaar omdat er meer gelucht wordt in het najaar in verband met hogere luchtvochtigheid in de kas. Dit zal bijdragen aan een terugval van de productie in het najaar maar de daadwerkelijke terugval lijkt groter te zijn dan verklaard kan worden door de werkelijke verlaging van het CO₂-niveau.

Veranderingen in het wortelmilieu kunnen ook bijdragen aan een terugval van de productie in het najaar. Door een hogere luchtvochtigheid in het najaar is er per eenheid straling wat minder verdamping dan in het voorjaar. Watergift wordt meestal geregeld op basis van instraling, waarbij de regeling in voorjaar en najaar vaak gelijk is. Dit kan er toe leiden dat substraatmatten in het najaar vaak wat natter zijn dan in het voorjaar. Het lijkt alsof de nutriëntenopname in het najaar ook lager ligt dan in het voorjaar maar waar dit aan ligt is moeilijk te zeggen. Wat voor effect dit heeft op andere processen in de plant is niet duidelijk. In een gesloten kas is er minder verdamping door de plant dan in een open kas en door minder te verdampen kan het substraat natter worden en het wortelmilieu eronder lijden. Ook door koeling onderin de kas in een (semi-) gesloten teelt kan het wortelmilieu veel kouder worden dan de kas. Ook zou de lengte van de stengel (langer in najaar dan voorjaar) een effect kunnen hebben op het transport en verdeling van hormonen en nutriënten uit de wortels naar andere delen van de plant.

De verdeling van de assimilaten gedurende het jaar speelt waarschijnlijk ook een rol in het verlagen van de lichtbenuttingsefficiëntie in het najaar omdat in het najaar problemen met vruchtzetting door abortie (te hoge assimilatenvraag) zorgen dat er een kleinere fractie van de assimilaten aan de vruchten worden toebedeeld dan in het voorjaar. Tegelijkertijd is er in het najaar een hogere Brix-waarde in de vruchten en dit wordt meestal verklaard door een hogere drogestof percentage en ook meer assimilatenvraag. Hierdoor wordt ook de lichtbenuttingsefficiëntie, uitgedrukt in kg vers product per eenheid licht, verlaagd.

De gemiddelde instraling is iets lager in het voorjaar dan in het najaar maar er is wel meer bewolking in het voorjaar, waardoor het percentage diffuus licht hoger is. Instraling heeft het meeste effect op productie in een kas maar alleen de hoeveelheid instraling opgevangen door de plant draagt bij aan de fotosynthese en dus productie. Een hogere LAI na de langste dag zou bij kunnen dragen aan het verhogen van de efficiëntie.

1 Aanleiding, opzet en doelstellingen

Is er in de teelt van tomaat sprake van terugval van de productie na de langste dag? Hiermee wordt bedoeld dat er in het najaar per eenheid licht minder geproduceerd wordt dan in het voorjaar (lagere lichtbenuttingsefficiëntie). Komt deze terugval ook voor bij andere vruchtgroenten zoals paprika en komkommer? Terugval lijkt sterker naar voren te komen in gesloten kassen. Dit lijkt vreemd omdat een mogelijke reden voor terugval (lagere CO₂ concentratie in de herfst door meer luchten) zich in een gesloten kas nu juist niet voordoet.

Als er terugval in productie na de langste dag bestaat, geeft dit mogelijk aan dat we nog productie laten liggen. Waardoor wordt terugval na de langste dag veroorzaakt en beïnvloed? Is de terugval in productie sterker dan op grond van de lichtcurve mag worden verwacht? Treed deze terugval op bij alle gewassen of zijn er verschillen. In dit onderzoek worden geschikte datasets, literatuuronderzoek en interviews gebruikt om het fenomeen 'terugval' te bewijzen en te verklaren. Ook worden de mogelijke verklaringen aangegeven door de geïnterviewden en de literatuur onderbouwd en wel of niet gegrond verklaard.

In hoofdstuk 2 is een opsomming van de mogelijke oorzaken van terugval in de lichtbenuttingsefficiëntie van een vruchtgroenteteelt. Deze punten zijn samengesteld uit interviews en uit literatuur.

In de hoofdstukken 3 en 4 wordt op ieder van deze punten nader ingegaan. In de kaders zijn heel kort conclusies getrokken die betrekking hebben op open en (semi-)gesloten kassen.

Hierna volgt hoofdstuk 5 waarin een analyse gemaakt is van beschikbare data van in totaal 16 voorbeelden van open en (semi-)gesloten tomatenteelten. Met behulp van een hier voorgestelde methodiek wordt voor deze 16 datasets getoetst of er in het najaar wel sprake is van een terugval in productie na de langste dag. In Bijlage I zijn de resultaten van de bedrijven 2 tot en met 7 geïllustreerd. In Bijlagen II en IV worden aan de hand van simulaties de terugval onder verschillende omstandigheden berekend. In Bijlage III worden de productie van beschikbare simulaties van 6 van de 16 datasets gepresenteerd.

In hoofdstuk 6 worden aan de hand van de mogelijke oorzaken en de data analyse conclusies getrokken.

2 Mogelijke oorzaken van een terugval in lichtbenuttingsefficiëntie na de langste dag

Onderzoek speciaal gericht op de mogelijke oorzaken van een terugval in productie na de langste dag is niet beschikbaar. Op basis van interviews met telers en adviseurs, literatuuronderzoek en een analyse van beschikbare datasets is de volgende lijst opgesteld van mogelijke oorzaken voor een lagere productie per eenheid licht (lichtbenuttingsefficiëntie) in het najaar dan in het voorjaar.

Klimaatomstandigheden

- De kwaliteit van het licht is anders in het najaar o.a. als gevolg van meer vocht in de lucht. Een heldere hemel komt minder voor in het najaar.
- Tot de langste dag worden de dagen steeds langer en daarna korter; toe- (voorjaar) of afnemende (najaar) daglengte zou gewasgroei en productie kunnen beïnvloeden.
- Temperatuur en vochniveaus in de buitenlucht zijn minder gunstig in de herfst dan in het voorjaar.
- Het kasdek kan in het najaar vies zijn.
- Licht kwantiteit is niet gelijk in het voor- en najaar. Dit punt is echter geen verklaring voor een lagere productie per eenheid licht. Minder licht geeft bij een gelijke lichtbenuttingsefficiëntie ook minder productie en dit wordt niet als terugval geassocieerd.
- Te lage CO₂-niveaus in het najaar.

Gewaskenmerken

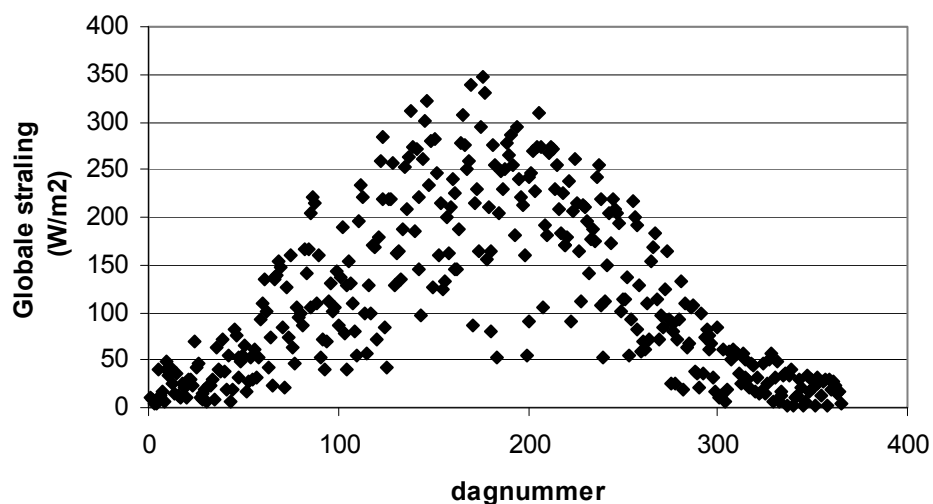
- Plantleeftijd
 1. De lichtbenuttingsefficiëntie (kg productie per eenheid licht) neemt af in de herfst omdat de plant ouder is (veroudering).
 2. Een hogere onderhoudsademhaling is nodig om meer gewas in leven te houden.
 3. Transportweerstand voor assimilaten gaat een rol spelen (zeer lange stengels van bijvoorbeeld tomaat in de herfst).
- Plantarchitectuur in de herfst geeft minder lichtonderschepping dan in voorjaar.
- De productie in totale drogestof per eenheid licht verschilt niet tussen voor- en najaar maar de verdeling van assimilaten is anders in de herfst
 1. De aanmaak (source) en het gebruik (sink) van assimilaten loopt in de herfst 'spak'; aanmaak van vruchten is afgestemd op een bepaalde source, maar even later is de lichthoeveelheid afgenomen en zit de plant met een te hoge sink. (zetting). Uiteindelijk gaat er een lagere fractie van de assimilaten naar de bloemen/vruchten toe.
 2. Vruchten hebben een hoger drogestofgehalte in de herfst.
- Het gewas neemt minder nutriënten op in de herfst.
- Het wortelmilieu is in het najaar minder gunstig dan in het voorjaar (hoge temperatuur en meer vocht).

3 Klimaatomstandigheden

Lichtintensiteit

Licht is één van de belangrijkste factoren voor de groei van planten en de productie. Door fotosynthese maakt de plant bouwstoffen voor de groei uit water en CO_2 . De benodigde energie hiervoor wordt geleverd door licht. Naarmate de dagen langer worden en de lichtintensiteit toeneemt, neemt de aanmaak van assimilaten in de plant toe. Het aanbod van assimilaten is de hoeveelheid suikers aangemaakt minus suikers nodig voor ademhaling. Aanmaak wisselt per dag en is vooral afhankelijk van de lichtomstandigheden. Het verloop van lichtkwaliteit en daglengte over het jaar staat beschreven in het rapport 'Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw' (Hemming *et al.*, 2004). De globale straling verandert door de zonnestand en dit is afhankelijk van de geografische breedte, het seizoen, het tijdstip van de dag en de mate van bewolking.

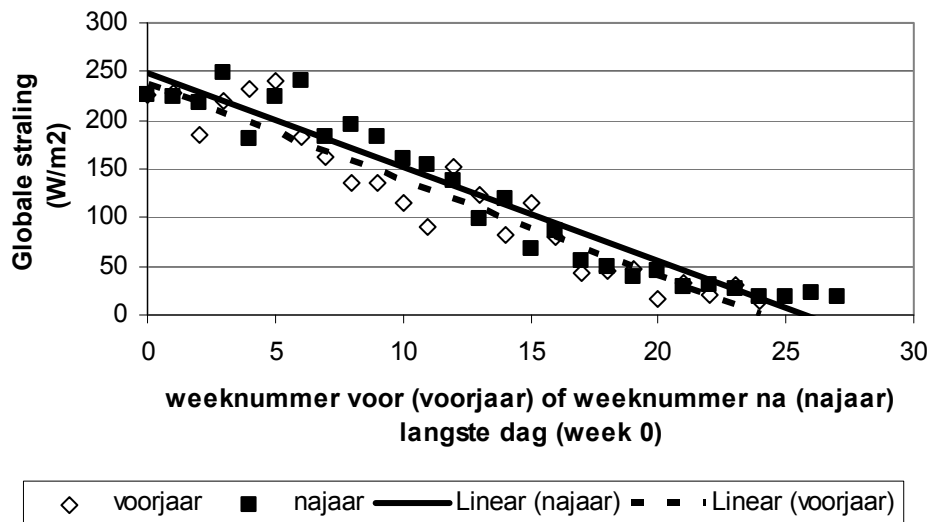
In de volgende voorbeelden wordt gebruik gemaakt van een referentiejaar SEL-jaar (Breuer & van de Braak, 2002). Dit is in 2000 bijgesteld uit de jaren 1990 tot 2000. Een aantal 'typische' maanden uit deze periode zijn gekozen en gebruikt voor een referentiejaar (Fig. 1).



Figuur 1. Globale straling per dag (W/m^2) (♦) uitgezet tegen dagnummer. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

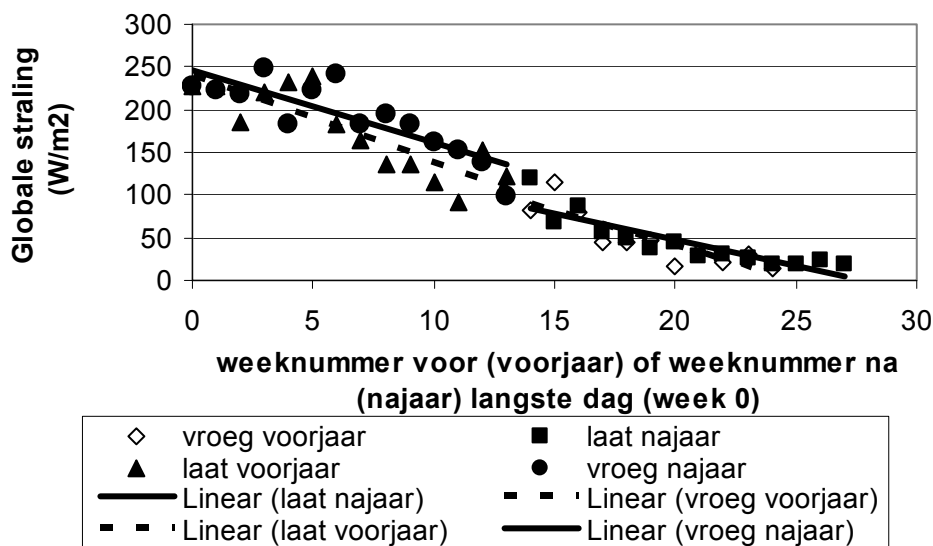
In een literatuuroverzicht zijn de effecten van lichtafname op het gewas uitvoerig omschreven (Marcelis *et al.*, 2004). In dit verslag is het lichtregel – 1% licht = 1% productie – onder de loep genomen. Voor de meeste gewassen was dit een overschatting en lichtafname of -toename resulteert niet in een gelijk percentage productie afname of toename. De effecten van licht op productie zijn afhankelijk van het heersende lichtniveau. Hoe lager het huidige lichtniveau, hoe groter het effect van meer licht. Als er relatief veel licht is, draagt meer licht relatief weinig bij aan de productie. Daarnaast zijn er de effecten van leeftijd gewas, temperatuur en CO_2 die in een tomatenteelt ook gerelateerd zijn aan straling (de Koning, 1994).

De verdeling van de lichtintensiteit over het jaar lijkt symmetrisch rondom de langste dag (21 juni) maar de gemiddelde globale instraling per dag is niet gelijk in het voorjaar en najaar (Fig. 2). Als er uitgegaan wordt van een gelijke lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) van de plant in het voor- en najaar zou er een hogere productie na de langste dag moeten optreden. Over de periode vanaf week 2 (ongeveer de 8 weken voor de eerste week van productie) tot en met week 43 (laatste week van productie) is er een iets hogere gemiddelde instraling per week in het najaar.



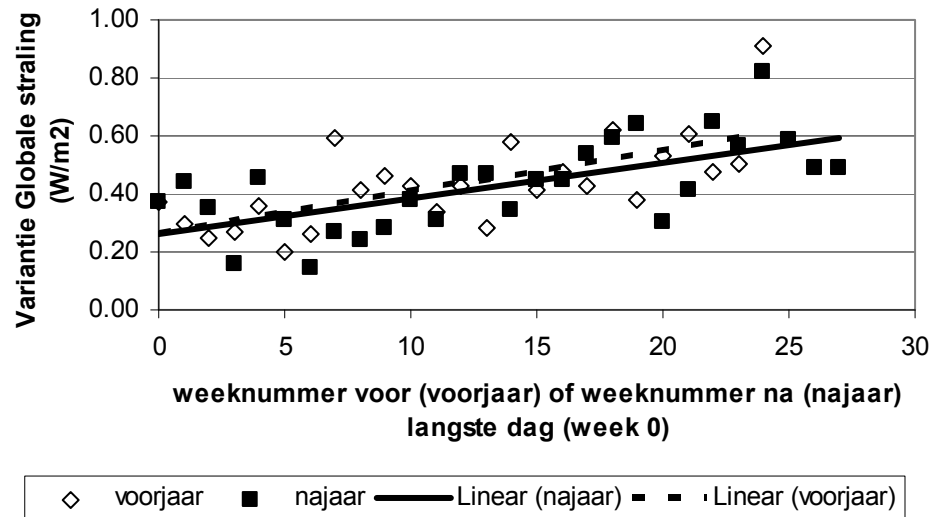
Figuur 2. Globale straling per dag (W/m²) uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. De wekelijkse gemiddelde lichtsommen per dag (W/m²) zijn uitgezet tegen de aantal weken vóór de langste dag (voorjaar) of het aantal weken na de langste dag (najaar). Langste dag = weeknummer 0. De lijn in het voorjaar is lager dan die in het najaar. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

Als het voor- en najaar nog verder opgesplitst worden (Fig. 3) is er in het late voorjaar in de weken voor de langste dag een lagere instraling ten opzichte van de weken net na de langste dag in het vroege najaar. In het vroeg voorjaar en late najaar is de instraling redelijk gelijk.



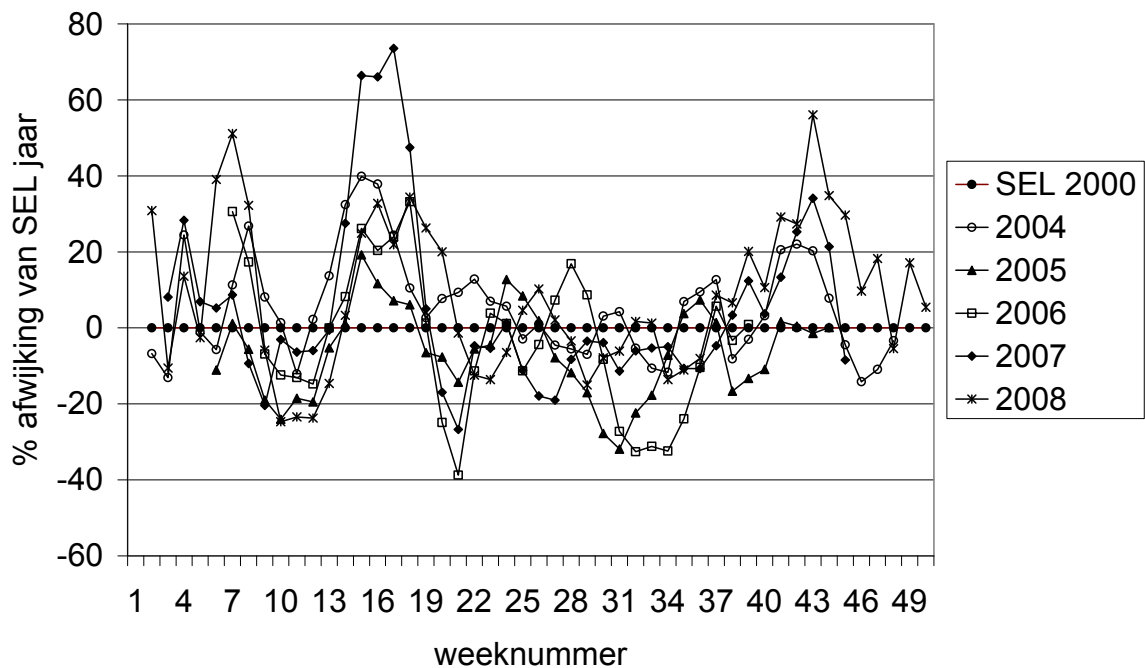
Figuur 3. Globale straling (W/m²/week) uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. Het voorjaar en het najaar zijn opgesplitst in vroeg en laat. Gegevens van SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

De variatie in de straling over de SEL jaar is tussen het voor- en najaar niet verschillend (Fig. 4). De variatie in lichtsom binnen een week neemt toe in het vroege voorjaar en late najaar.



Figuur 4. Variatie per week (W/m²) uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. De variatie per week is gebaseerd op een standaarddeviatie van de dagsommen gedeeld door een gemiddelde van 7 dagsommen. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

Het SEL-jaar is een gemiddeld jaar maar de lichtverdeling over elk jaar is natuurlijk iets anders. Vooral net na de langste dag ligt het niveau van de globale straling van de jaren 2004 tot en met 2008 lager dan het gemiddeld SEL-jaar (Fig. 5). Vooral in de jaren 2005 en 2006 is de straling na de langste dag laag vergeleken met SEL-jaar.



Figuur 5. Wekelijkse afwijkingen in lichtsom (gemiddelde per 3 weken) voor de jaren 2004 tot en met 2008 ten opzichte van een referentiejaar (SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000).

Lichtintensiteit in de kas

Het licht heeft een gelijk patroon in de kas als daarbuiten maar het is mogelijk dat de transmissiewaardes van de kas afnemen in het najaar in verband met een vies kasdek. Over het algemeen wordt in het najaar bij de teeltwisseling het dek gereinigd. Kasconstructie en inrichting zouden geen verschillen in hoe het licht de kas binnenkomt in het voor- of najaar veroorzaken.

Conclusies

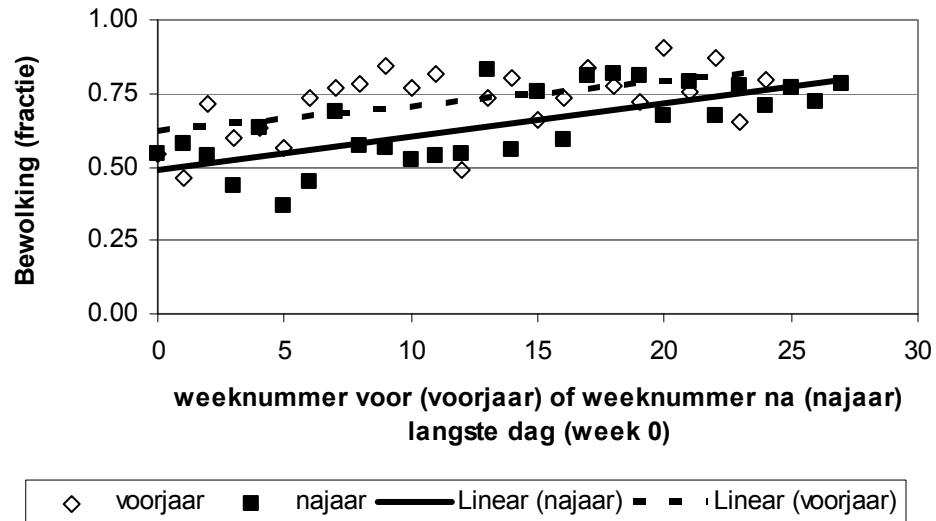
- Volgens het SEL-jaar is er in het voorjaar minder instraling (energie) dan in het najaar dus op basis van globale instraling zou er meer productie in het najaar moeten zijn.
- Een kasdek vervuult vaak wat gedurende het jaar, waardoor de instraling in de kas vaak wat minder is; hierdoor kan een terugval in productie t.o.v. straling buiten mogelijk zijn.

Lichtkwaliteit

Globale straling bestaat uit directe en diffuse straling. De directe straling valt op de aarde in een hoek gelijk aan de stand van de zon terwijl de diffuse straling onder verschillende hoeken tegelijk op de aarde valt. Doordringing hangt van zonnestand af. Bij diffuse straling is er relatief iets meer licht dat een hoge invalshoek heeft waardoor een betere doordringing ontstaat. Het percentage diffuus licht is gerelateerd aan de transmissie van de totale globale straling door de atmosfeer. De relatie tussen het percentage diffuus licht in de globale straling en de atmosferische transmissie is lineair tussen transmissies van 0.35 tot 0.85 (Spitters, 1986). Onder lage transmissies is bijna alle globale straling diffuus. De invloed van de seizoenen op het diffuse onderdeel is klein (De Jong, 1980) maar er zijn verschillen in bewolking in het voor- en najaar. Uit de SEL-data blijkt het percentage diffuus licht in het voorjaar 39%, en in het najaar 32% is. Ook in de overgang van licht naar donker is er meer diffuus licht omdat de transmissie lager is; 's ochtends is de atmosfeer meer heig is en 's middags is er meer bewolking. Dit effect is groter dan de toename van de lengte van de straling door de atmosfeer bij een lagere zonnestand (Spitters *et al.*, 1986).

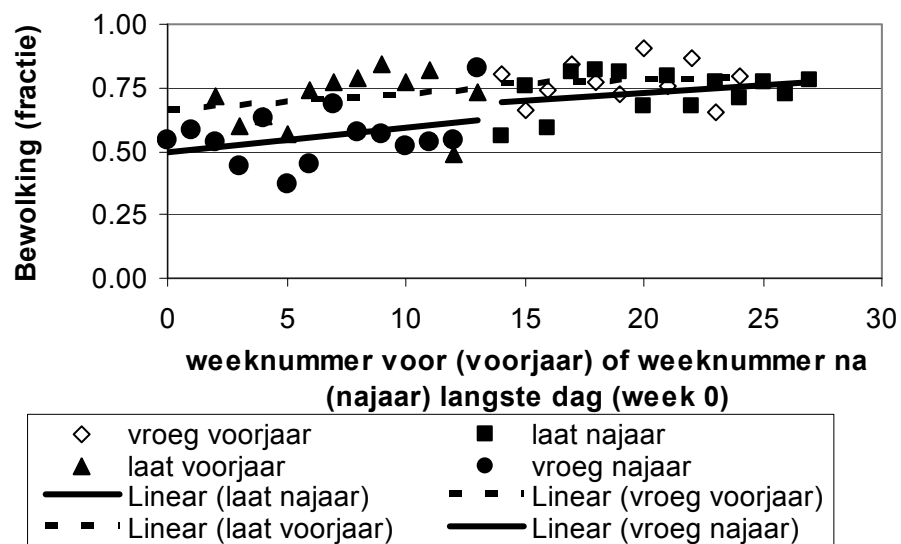
Hoe verder weg van de langste dag hoe hoger de bewolkingsfractie. (Fig. 6). In het voor- en najaar neemt het percentage bewolking toe, of af, van 50% rondom de langste dag tot 80% rond de jaarwisseling. Over het hele jaar genomen is er in het voorjaar gemiddeld 10% meer bewolking dan in het najaar. De bewolking in het voorjaar is echter wel anders dan in het najaar want in het voorjaar zijn er meer 'witte' wolken tegen een blauwe hemel terwijl in het najaar is er meer vocht in de lucht en is de hemel minder helder. Het is moeilijk aan te geven hoe dit de diffuse straling beïnvloedt en volgens Spitters *et al.* (1986) is het niet juist alleen de fractie bewolking te gebruiken om diffusiteit te berekenen.

Wat ook speelt bij de berekeningen van diffuus licht, is het feit dat de fractie diffuus licht bij een helder hemel in het PAR-gedeelte 1.3 keer groter is dan de fractie diffuus licht in de globale straling (Spitters *et al.*, 1986, Gijzen, 1994).



Figuur 6. Fractie bewolking per week uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. Gegevens gebaseerd op SEL-jaar (referentiejaar voor de periode 1990 – 2000).

Als het voor- en najaar verder opgedeeld worden is het duidelijk dat het late voorjaar en vroege najaar grote verschillen tonen in percentage bewolking (Fig. 7). In het late najaar en het vroege voorjaar is de bewolking rondom de 75%. Rondom de langste dag is de bewolking 50%. Echter in de periode voor en na de langste dag is de bewolking over het algemeen veel hoger in het voorjaar dan in het najaar. Dit komt overeen met Figuur 3 waarin de straling in het late voorjaar lager is dan de instraling in het vroege najaar.



Figuur 7. Fractie bewolking per week uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. Het voorjaar en het najaar zijn opgesplitst in vroeg en laat. Gegevens van SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

Dit is relevant voor de tomatenteelt omdat er in november wordt geplant (komt overeen met week 16 na de langste dag) en omdat de oogst van de eerste tomaten plaatsvindt in week 10 (komt overeen met week 15 voor de langste dag).

dag). Het gewas wordt rondom week 43 gerooid en dit komt overeen met week 18 na de langste dag. De productie in de tomatenteelt vindt grotendeels plaats in het gedeelte van het jaar met grote verschillen in bewolking tussen het voor- en najaar. In deze periode is er 17% meer bewolking en circa 10% meer diffuus licht in het voorjaar.

Diffuus licht komt meer voor in het voorjaar omdat er over het algemeen meer bewolking in het voorjaar is dan in het najaar. Diffuus licht geeft een betere doordringing in het gewas. Proeven met komkommers in een kas met een kasdek van diffuus glas tonen een 9% productieverhoging aan (proef 2008, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk). Een diffuus kasdek zorgt voor een betere lichtdoordringing in het gewas. Meer diffuus licht in het voorjaar zou voor een betere lichtdoordringing in het gewas kunnen zorgen waardoor de productie per MJ licht hoger is dan in het najaar. Dit kan dus een oorzaak zijn van terugval in de herfst.

Spectrale samenstelling van het zonlicht dat het aardoppervlak bereikt is vrij constant, het wordt nauwelijks beïnvloed door bewolking of door de zonnestand (Tabel 1). Alleen bij een invalshoek van minder dan 10 graden zoals in de ochtend en avondschemering en in het vroege voorjaar en het late najaar, zijn er lichte spectrale verschuivingen. In het voorjaar neemt de bewolking langzaam af en in het najaar neemt het toe.

Tabel 1. Kengetallen van de gemiddelde globale straling over de dag in het voor- en najaar met en zonder bewolking PAR uitgedrukt in W/m², blauw, rood en UV licht uitgedrukt in percentages van energie-inhoud (W/m²) en rood/verrood verhouding (afgeleid van Hemming et al., 2004).

%	bewolkingsgraad				
	0	3	10	30	100
PAR	217,5	198.8	141.4	78.3	28.3
Blauw	33%	34%	35%	36%	37%
Rood	31%	31%	30%	30%	29%
UV	12%	13%	14%	15%	17%
R:VR	1,21	1,29	1,66	1,97	3,30

De R:VR (Rood/Verrood) verhouding onder een bewolkte hemel is wel beïnvloed door bewolking die relatief meer voorkomt in het voorjaar dan in het najaar. De rode straling neemt relatief gezien toe en de R:VR verhouding neemt toe van 1,21 onder een heldere hemel tot 3,30 bij een dichtbewolkte hemel (Tabel 1). Het effect van deze verschuivingen op de productie van vruchtgroenten is niet bekend.

Lichtkwaliteit in de kas

Lichtkwaliteit in de kas wordt beïnvloed door het kasdek maar er is geen verschil tussen het voor- en najaar. De spectrale samenstelling van het licht binnen de kas is sterk afhankelijk van het wel of niet beschaduen van de planten zowel onderling als binnen een plant. Voor de vruchtgroenteteelt, o.a. tomaat en paprika is het beschaduen meer van toepassing in het najaar dan in het voorjaar. In de schaduw komt relatief meer verrood licht voor en de R:VR verhouding neemt af. Dit remt de vorming van zijscheuten en stimuleert stengelstrekking. Een toename van R:VR zoals onder bewolking (Tabel 1) reduceert bladdikte. Echter bij het beïnvloeden van de lichtkwaliteit moet rekening gehouden worden met negatieve effecten op productie door vermindering van de totale lichthoeveelheid. De relatie tussen lichtkwaliteit en lichtkwantiteit is nog niet voldoende bekend.

Conclusies

- De totale instraling is minder in het voorjaar dan in het najaar en dit komt overeen met het feit dat er meer diffuse straling is in het voorjaar.
- In het voorjaar is er 12% meer bewolking (meer diffuse straling) dan in het najaar
- In het voorjaar is er 33% minder directe straling dan in het najaar.
- Vooral in de weken 13 tot 26 is er duidelijk meer bewolking (diffuus licht) dan in de weken 26 tot 39. Dit is een mogelijke verklaring voor terugval in de productie per eenheid licht in de herfst t.o.v. het voorjaar.

Daglengte

Een belangrijke factor voor de planten is de daglengte, dus de duur waarin straling beschikbaar is voor de plant. Dit wordt waargenomen door de instabiele vorm van fytochroom (Pfr). De daglengte varieert afhankelijk van het seizoen en de geografische breedte. In het voor- en najaar is de daglengte gelijk maar met het verschil dat in het voorjaar de daglengte toeneemt en in het najaar afneemt. Of dit gevolgen heeft voor de lichtbenuttingsefficiëntie is niet bekend.

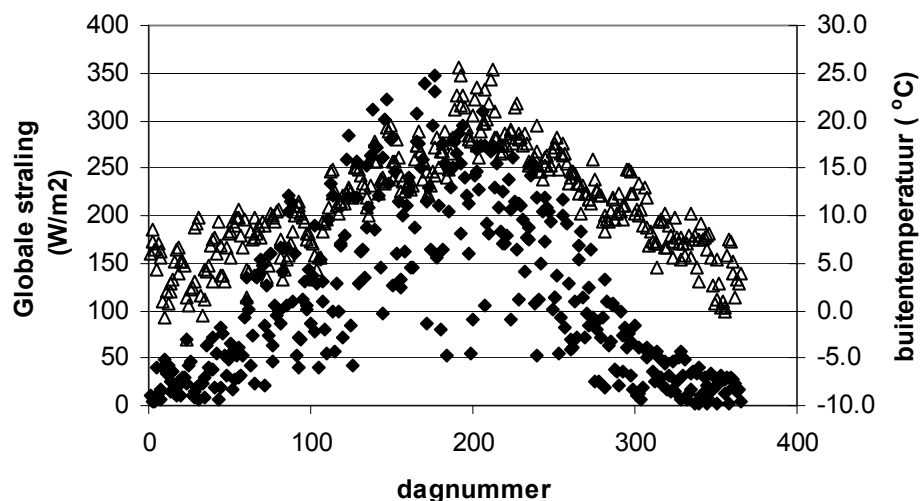
Conclusie

- Er is geen verschil in daglengte tussen voor- en najaar.

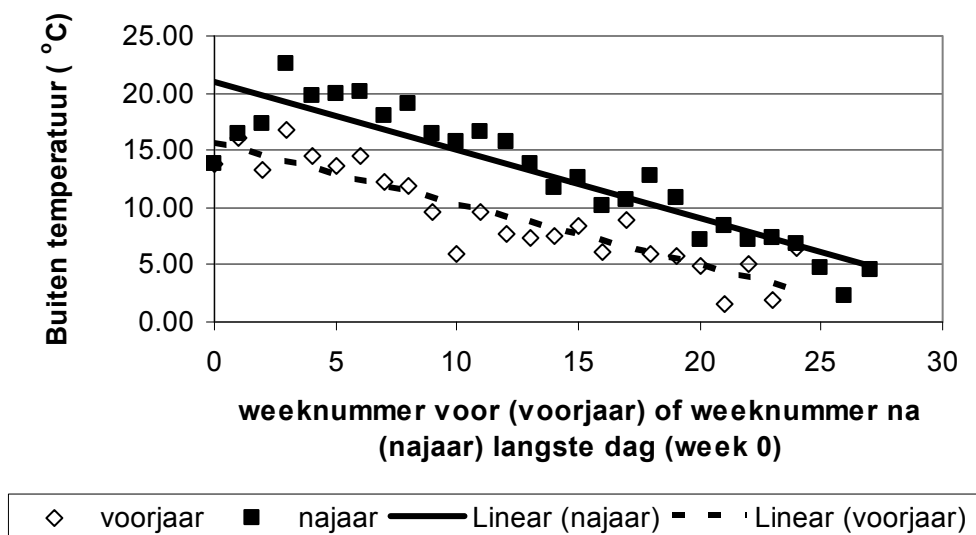
Temperatuur buitenlucht

Terwijl de globale straling bijna symmetrisch is rondom de langste dag, ijlt de temperatuurcurve hierbij na (Fig. 8). De buitentemperatuur in het najaar is hoger dan in het voorjaar (Fig. 9) met een gemiddelde in het voorjaar van 9.2 °C en in het najaar van 12.9 °C.

Na de langste dag is de gemiddelde temperatuur dus enkele graden hoger dan in een vergelijkbare periode in het voorjaar.



Figuur 8. De instraling (W/m^2) en de buitentemperatuur ($^{\circ}C$) uitgezet tegen dagnummer. De instraling (◆) heeft een redelijke symmetrisch verloop rondom de langste dag. De buitentemperatuur (▲) heeft een symmetrisch verloop maar niet rond de langste dag. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.



Figuur 9. De buitentemperatuur (°C) uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de buitentemperatuur lager dan in het najaar. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

Temperatuur in de kas

Temperatuur is vooral van invloed op de trosafplitsing, het rijpingsproces, de vruchtkwaliteit en de ademhaling van de plant. In het voorjaar is de temperatuur in de kas eenvoudiger te handhaven dan in het najaar. Het is mogelijk om op de hoge instraling te reageren door weinig te luchten (groot koelingeffect door lage buitentemperaturen vooral 's nachts) en het CO₂-niveau en vochniveau op peil te houden. In het najaar als het temperatuurverschil tussen de kas en buiten kleiner wordt, is het moeilijk de gewenste temperatuur (en vochniveau) in de kas te handhaven door te luchten.

De verschillen tussen de dag- en nachttemperatuur (DIF) in het voor- en najaar zijn niet groot maar in het voorjaar is de DIF vaak groter dan in het najaar. In een proef (Wageningen UR, 2008) is er in het voorjaar een verschil van gemiddeld 2°C tussen het voor- en najaar maar het is niet duidelijk of dit een negatief invloed heeft op de productie in het najaar.

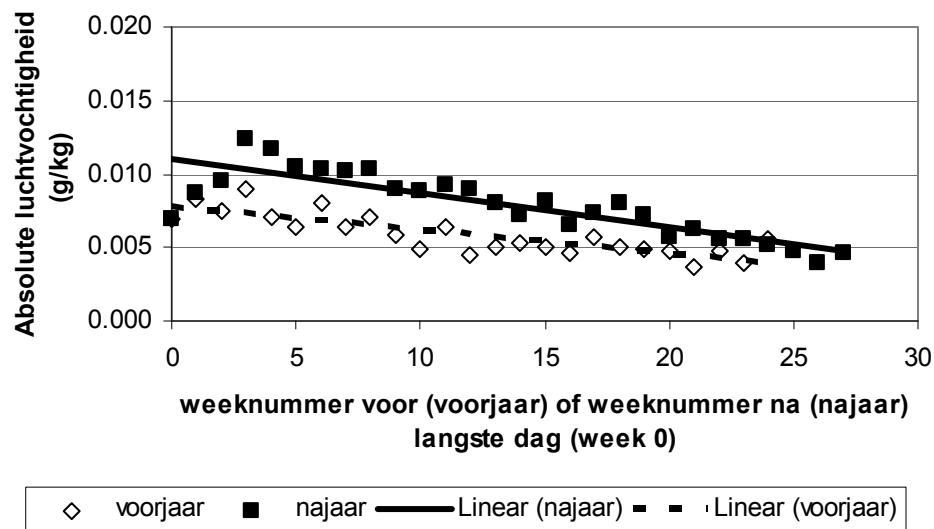
Wat ook mogelijk speelt, zijn de grote schommelingen in straling en dus kastemperatuur in de zomerperiode. Als bloemknoppen of vruchten van tomaat verwarmd worden tijdens verschillende ontwikkelingsstadia bleek een graaddagenmodel een slechte voorspelling te geven van de tijd nodig voor het rijpen (de Koning, 1994). Een snellere ontwikkeling in voornamelijk de afrijping van de tomatenvruchten kan grote schommeling in de opbrengst veroorzaken en dit werd bevestigd door Adams *et al.* (2001a) omdat hogere weekopbrengsten waren veroorzaakt door het versnellen van de vruchtontwikkelingsperiode. Deze schommelingen vinden voornamelijk plaats midden in de zomer als de instraling en dus energie in de kas een grote variatie heeft. In de periode na deze schommelingen (vroeg najaar) zou de weekopbrengst kunnen afnemen omdat alle bijna rijpe vruchten door een temperatuurverhoging al rijp geworden waren. Het is onduidelijk of dit fenomeen een nadelige invloed heeft op de zetting en opbrengst in het najaar.

Conclusies

- In het voorjaar is de buitenlucht gemiddeld koeler dan in het najaar zodat in het voorjaar het kasklimaat eenvoudiger te handhaven is.
- Grote schommelingen in temperatuur in de kas hebben een effect op de weekopbrengsten en dit zou mogelijk een negatief effect kunnen hebben op productie in het najaar.

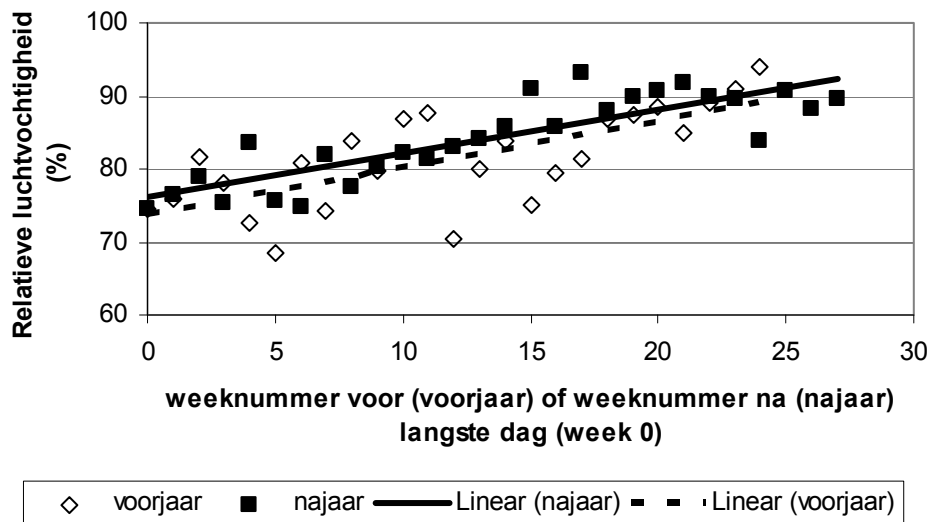
Luchtvochtigheid buitenlucht

De absolute vochtigheid is in het najaar veel hoger dan in het voorjaar (Fig. 10). Doordat de temperatuur in het najaar hoger is bevat de lucht normaal gesproken meer vocht (absolute vochtgehalte). Daarnaast loopt de opwarming van het zeewater niet gelijk met de instraling en is er in het vroege voorjaar een aanvoer van koude en droge lucht vanuit het westen. In het najaar is de zee warmer en over het algemeen neemt het vochniveau van de buitenlucht toe.



Figuur 10. De absolute vochtigheid (g vocht per kg lucht) van de buitenlucht uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de absolute vochtigheid lager dan in het najaar. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

De relatieve vochtigheid in de buitenlucht is in het najaar iets hoger dan in het voorjaar (Fig. 11) en er zijn in het voorjaar een groot aantal dagen met een lage relatieve luchtvochtigheid. Alle telers die geïnterviewd zijn, merkten op dat dagen van veel instraling in het voorjaar vaak samenlopen met koude en droge buitenlucht. Het is dan eenvoudig om op de hoge instraling te reageren omdat door de droge en koele buitenlucht er weinig hoeft gelucht hoeft te worden. Daardoor blijft zowel vocht als het CO₂-niveau op peil. In het najaar veroorzaken de hoge buitentemperatuur en -absolute vochniveaus dat het kasklimaat minder goed te sturen is omdat er minder verschil is tussen de warme en vochtige kaslucht en de buitenlucht. Ramen moeten meer open om warmte en vocht kwijt te raken en hierdoor daalt het CO₂-niveau.



Figuur 11. De relatieve luchtvochtigheid (%) van de buitenlucht uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de relatieve luchtvochtigheid lager dan in het najaar. SEL-jaar gebaseerd op de periode 1990 – 2000.

Luchtvochtigheid in de kas

Alleen bij extreme waarden (dampdrukverschil tussen 1.0 en 0.2kPa) heeft de luchtvochtigheid een direct effect op gewasgroei (Dieleman, 2008). Vochtigheid in de kas is niet alleen het gevolg van de verdamping maar het beïnvloedt ook de verdamping. De luchtvochtigheid in de kas in het vroege voorjaar is over het algemeen redelijk hoog omdat de luchtramen en de schermen dan grotendeels dicht blijven maar het gewas draagt weinig bij. Later in het voorjaar is de luchtvochtigheid redelijk goed in de hand te houden omdat er een groot verschil is tussen vochniveaus binnen en buiten de kas. In het najaar is er meer gewas in de kas maar ook meer vocht in de buitenlucht. Ventilatie is minder effectief in het verlagen van de luchtvochtigheid. Hierdoor loopt de luchtvochtigheid in de kas op. Dit kan meer ziekten (Botrytis) geven maar vanuit de gewasfysiologie valt niet te verwachten dat hogere RV rechtstreeks tot een lagere LBE in herfst dan voorjaar zou leiden.

Conclusies

- In het najaar is de absolute vochtigheid van de buitenlucht hoger dan in het voorjaar.
- De luchtvochtigheid in de kas neemt toe in het najaar.

CO₂-niveau

Het CO₂-niveau van de buitenlucht schommelt enigszins met de seizoenen. Vooral in het noordelijke halfrond is dit veroorzaakt door plantgroei, in het noordelijke voorjaar neemt het niveau eerst toe. Na de langste dag is het niveau aan het dalen omdat planten de gassen opnemen voor fotosynthese. Omdat dit verschil erg klein is, en omdat in de kassen hoge CO₂-niveaus aangehouden worden is het verschil in CO₂-niveau in de buitenlucht niet van invloed op een kasgewas.

CO₂-niveau in de kas

Sinds de zeventiger jaren van de vorige eeuw hebben gewassen in kassen geprofiteerd van het toedienen van CO₂-bemesting (Hand, 1990). Een productieverhoging van 20-40% in het vroege voorjaar was mogelijk (1000 t.o.v. 350

ppm) maar in de zomer was dit niet mogelijk i.v.m. ventilatie (Hand, 1984). Al in 1979 is er geopperd dat koeling in plaats van ventilatie gebruikt zou kunnen worden om de luchttemperatuur te verlagen zodat het CO₂-niveau hoog kan blijven (Kimball & Mitchell, 1979). CO₂-bemesting in combinatie met hoge straling en hoge temperaturen verhoogt de productie nog meer. Hoewel een hoger drogestofpercentage wordt bereikt, wordt de kwaliteit of kilogramproductie niet altijd verhoogd. Als CO₂ gedoseerd wordt, moet dit ook nog opgenomen worden door de plant.

In open kassen is het in het voorjaar mogelijk deze hoge CO₂-concentraties aan te houden omdat het buitenklimaat koeler en droger is dan het kasklimaat. In de huidige (semi-) gesloten kassen is er zowel in het voor- als in het najaar een hoog CO₂-niveau mogelijk. In verband met het verschil in buitenklimaat tussen het voor- en najaar en de consequenties voor beluchting is er vaak ook een verschil in de gemeten CO₂-waardes in een open kas tussen het voor- en najaar. CO₂-afname in het najaar is wel één van de mogelijke oorzaken voor een terugval van productie na de langste dag in open kassen. Echter de terugval zoals gemeten in de voorbeelden is niet helemaal te verklaren door verlaging van de CO₂-niveaus. Dit is getest door gebruik van een model (zie sectie 5.5).

Een mogelijkheid zou kunnen zijn dat er aanpassing van de planten optreedt aan langdurig hoge CO₂-concentraties zoals in het voorjaar voorkomt, waardoor de CO₂ na enige tijd minder efficiënt benut wordt. Hieraan is in de periode 1980 – 1995 onderzoek gedaan, met name in Canada, Engeland en Nederland. Deze aanpassingen kunnen bestaan uit een verminderde efficiëntie van het fotosyntheseproces of een reductie van de bladoppervlakte (kleinere, dikkere bladeren) waardoor minder licht opgevangen wordt. Hoewel deze effecten voor onder andere paprika (Nederhoff, 1994), tomaat (Besford *et al.*, 1990; Yelle *et al.*, 1990), komkommer (Aoki & Yabuki, 1977) en chrysant (Mortensen, 1984) in de literatuur beschreven zijn, is er nog geen eenduidig bewijs dat adaptatie leidend tot groeivermindering daadwerkelijk optreedt bij kasgewassen zoals ze in Nederland geteeld worden.

Conclusies

- In een open kas is het lage CO₂-niveau in het najaar één van de mogelijke oorzaken voor een terugval in productie.
- Planten zouden kunnen aanpassen aan langdurig hoge CO₂-concentraties.

Interactie licht en temperatuur

De kwaliteit van een gewas hangt o.a. af van de balans tussen licht en temperatuur. Temperatuur bepaalt de ontwikkelingssnelheid terwijl licht bepalend is voor biomassa. In het voorjaar neemt de lichtintensiteit toe en in de kas kan de gewenste temperatuur gehandhaafd worden. In de zomer kunnen scherpe schommelingen in lichtintensiteit optreden en in het najaar loopt de lichtintensiteit af terwijl de temperatuur in de kas niet voldoende verlaagd kan worden. Vaak wordt een hogere nachttemperatuur aangehouden in verband met hoge luchtvochtigheid. Eigenlijk wordt er een (te) hoge temperatuur aangehouden ten opzichte van de stralingssommen. Hoewel het gewas vaak in november wordt gerooid veroorzaakt deze onbalans tussen temperatuur en straling in het najaar een lagere kwaliteit en productie per eenheid licht. Liu & Heins (1997) gebruiken in dit verband de term RRT (de ratio tussen instraling en temperatuur – *ratio radiant energy to thermal energy*) en concluderen dat dit een belangrijk criterium is voor kwaliteit en productieniveaus. Er is een lineair verband tussen RRT en drooggewicht. Dit onderzoek is gedaan met potplanten maar het is duidelijk dat voor alle gewassen licht en temperatuur in balans moeten zijn.

Uit de datasets van Bedrijf 1 in 2004 en Bedrijf 5 in 2008 is de gemiddelde RRT in beide gevallen in het voorjaar hoger dan in het najaar, dus er is in verhouding meer licht ten opzichte van temperatuur in het voorjaar. Dit is het ook het geval als er bijvoorbeeld bij Bedrijf 1 de RRT berekend wordt met de temperatuur van de kop van de plant alsook de temperatuur onderin het gewas. Hier is de RRT in het voorjaar weer groter dan die in het najaar maar de verschillen blijven klein en de spreiding van de dagelijkse RRT-waardes zijn groot.

De verschillen in RRT lijken wel een aannemelijke oorzaak voor een terugval in productie in het najaar ten opzichte van het voorjaar. De temperatuur overdag in de kas is over het algemeen redelijk gelijk in het voor- en najaar maar de nachttemperaturen zijn iets hoger in het najaar. Een hogere RRT in een gesloten kas gedurende het voor- of najaar is niet getoond. Naast het koelen in een gesloten kas wordt de temperatuur op andere momenten juist hoger

dan in de open kas. Uiteindelijk zijn in deze voorbeelden de gemiddelde temperaturen tussen open en gesloten kassen redelijk gelijk. Hier rijst de vraag of koelen bij hoge instraling en het toelaten van hogere temperaturen bij eventuele lage instraling altijd bevorderlijk is voor de drogestof productie! (Het CO₂-niveau en de luchtvochtigheid zijn in gesloten kassen natuurlijk wel beter beheersbaar dan in een open kas.)

In een jaarrond teelt zoals roos is de temperatuur/lichtverhouding in het najaar belangrijk voor de productie van het gewas in het daarop volgend jaar. Als er te hoge temperaturen aangehouden worden in het najaar om productie te stimuleren, gaat dat zeker ten koste van de teelt in de volgende winter en vroege voorjaar. (Van Hulst, pers. med.) Een balans tussen licht en temperatuur is belangrijk voor de kwaliteit van het gewas en daardoor op de lange termijn ook voor de productie.

Conclusies

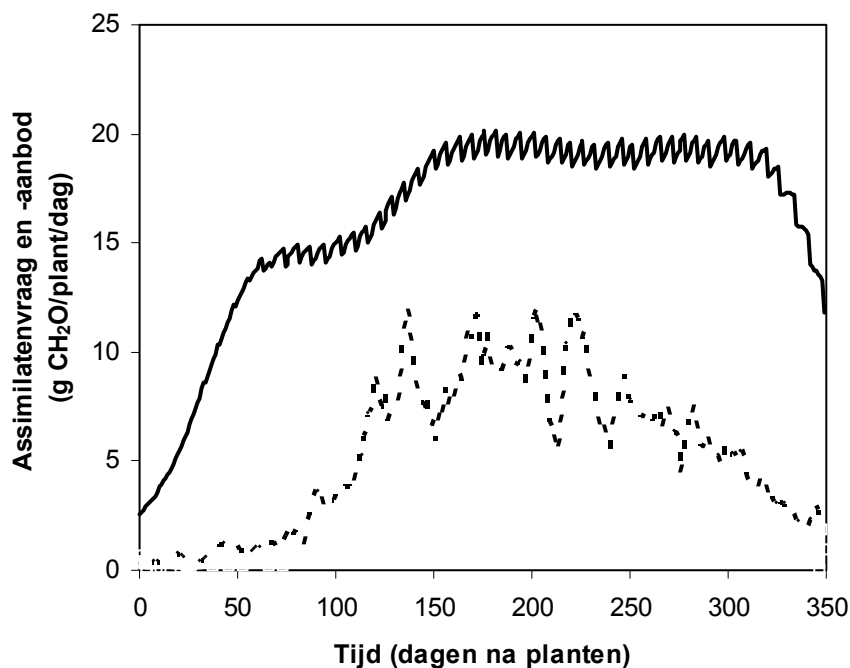
- In het voorjaar is het hanteren van een 'goede' balans tussen licht en temperatuur eenvoudiger dan in het najaar. Dit feit kan bijdragen aan terugval in de herfst.
- Er worden teeltmaatregelen genomen in meerjarige gewassen om de effecten van afnemend licht en relatief hoge temperatuur in het najaar tegen te gaan.
- Als de verhouding tussen gemiddelde PAR-lichtsom per etmaal en gemiddelde kastemperatuur per etmaal berekend wordt, is er gemiddeld in het voorjaar meer licht per graad dan in het najaar.

4 Gewas

De belangrijkste factoren die invloed hebben op de productie van vooral **kastomaten** en hun relatie met de lichtomstandigheden in het voor- en najaar worden beschreven.

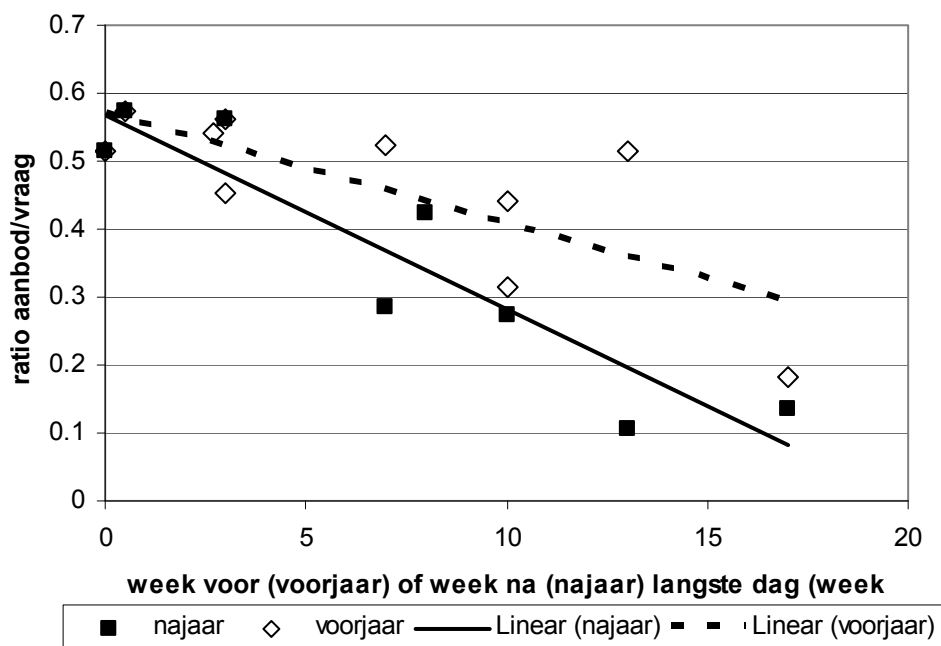
Assimilatenvraag en -aanbod

Na het planten in december, neemt de aanmaak van assimilaten pas toe als de dagen langer worden en de LAI toeneemt. Het aanbod van assimilaten wordt berekend als de hoeveelheid suikers die aangemaakt zijn via de fotosynthese minus de suikers die nodig zijn voor de ademhaling. De aanmaak wisselt sterk per dag, afhankelijk van de hoeveelheid straling. In het voorjaar neemt de vraag naar assimilaten snel toe. Het aanbod neemt ook snel toe maar loopt niet gelijk met de vraag. Na de langste dag neemt het aanbod af terwijl de vraag hoog blijft en er niet genoeg assimilaten voor alle organen beschikbaar zijn (Fig. 11 waar de langste dag hier gelijk is aan 203 dagen na het planten). Dit maakt 'van het licht af telen' lastig. De assimilatenvraag en -aanbod wordt in de teelt vertaald naar plantbelasting (# vruchten per m² die aan de planten aan het ontwikkelen zijn). Vanaf dag 50 tot dag 150 na het planten neemt het aantal vruchten aan de plant snel toe en tot dag 300 blijft dit aantal vrij constant (Fig. 12).



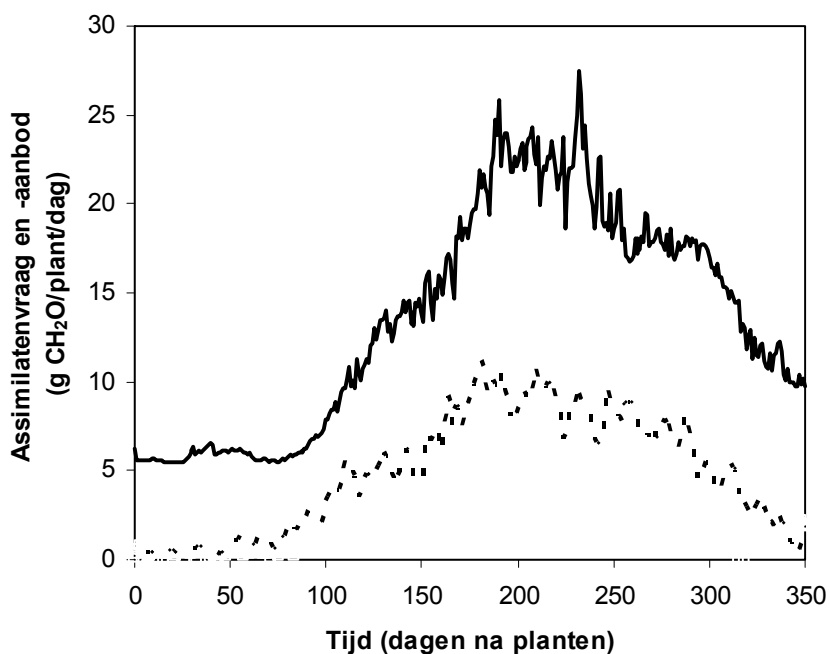
Figuur 12. Gesimuleerde verloop van het assimilatenaanbod (voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen – gebroken lijn) en de assimilatenvraag (op dag basis – zwarte lijn) van tomatenplanten gedurende het teeltseizoen (teelt start op 1 december). (Dieleman et al., 2007). Grote sprong in het voorjaar (dag 115) is het aanhouden van een extra stengel.

De Koning (1984) schatte dat de vraag naar assimilaten van een tomatenplant gemiddeld genomen ongeveer twee keer zo groot is als het assimilatenaanbod. Dit is verduidelijkt in Figuur 13 waar in het voorjaar de verhouding aanbod:vraag oploopt van 0.2 tot 0.6 rondom de langste dag. In het najaar loopt het af van 0.6 tot 0.1 in week 17 na de langste dag. In de periode van week 12 voor de langste dag tot week 8 na de langste dag is er sprake van een verhouding van 0.5 aanbod t.o.v. vraag. Dit komt overeen met de schatting van De Koning.



Figuur 13. Ratio aanbod/vraag gebaseerd op simulatie in Fig. 11 van een tomatenteelt. De ratio is uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de ratio aanbod/vraag hoger dan in het najaar.

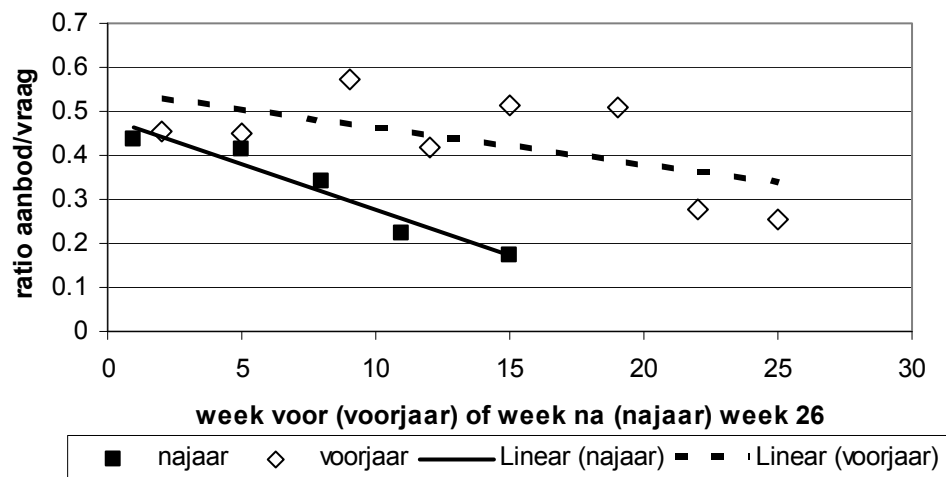
In de paprikateelt (Fig. 14) is in het vroege voorjaar de vraag constant, daarna nemen vraag en aanbod toe maar na de langste dag (213 dagen na het planten) nemen het aanbod en de vraag redelijk gelijk af.



Figuur 14. Gesimuleerde verloop van het assimilatenaanbod (voortschrijdende gemiddelde over 7 dagen – gebroken lijn) en de assimilatenvraag (op dag basis – zwarte lijn) van paprika gedurende het teeltseizoen (teelt start op 20 november). Langste dag is dagnummer 213. (Dieleman et al., 2007).

Vruchtzetting in tomaat neemt af met minder licht in het najaar maar het neemt ook af met meer plantbelasting. Dit beeld is nog sterker in de paprikateelt. Een afname in vruchtzetting heeft te maken met de beschikbaarheid van assimilaten. Een mogelijke verklaring voor deze min of meer constante verhouding tussen vraag en aanbod in paprika is het feit dat er meer jonge paprikavruchten aborteren als er weinig assimilaten beschikbaar zijn, waardoor vraag naar, en aanbod van assimilaten min of meer in evenwicht zijn (Dieleman *et al.*, 2007).

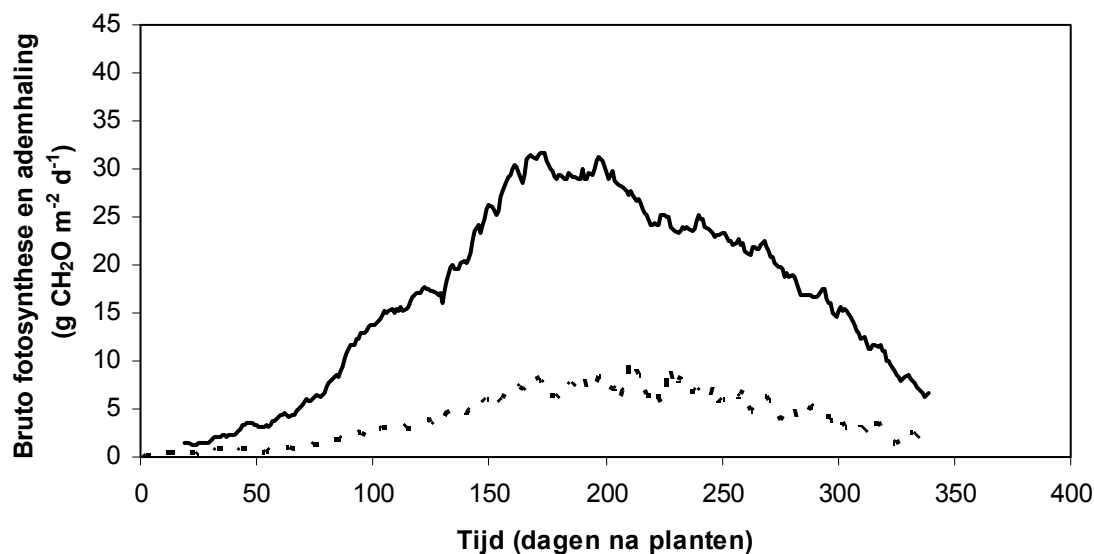
In de paprikateelt neemt de ratio van aanbod/vraag ('source/sink') toe naar de langste dag en neemt af na de langste dag (Fig. 15). In het voorjaar is er een minder sterke toename in de ratio dan in tomaat. In het najaar is de afname in ratio minder sterk dan in tomaat. Dit wordt wellicht verklaard door het feit dat paprika gevoeliger is en meer bloemen of jonge vruchten aborteren als er minder aanbod is. Zo houdt de plant zichzelf meer in evenwicht dan tomaat. In het najaar aan het eind van de paprikateelt is de plantbelasting (vertaald naar de assimilatenvraag) zeer belangrijk voor het wel of niet oogsten van de laatste zetting. Het verloop van de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag is bij paprika en komkommer vergelijkbaar (Dieleman *et al.*, 2004). In de komkommerteelt wordt drie keer jonge planten geplant en de assimilaten aanbod is hoog aan het begin van de zomer- en herfstteelt terwijl de vraag laag is.



Figuur 15. Ratio aanbod/vraag gebaseerd op simulatie in Figuur 13 van een paprikateelt. De ratio is uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de ratio aanbod/vraag hoger dan in het najaar.

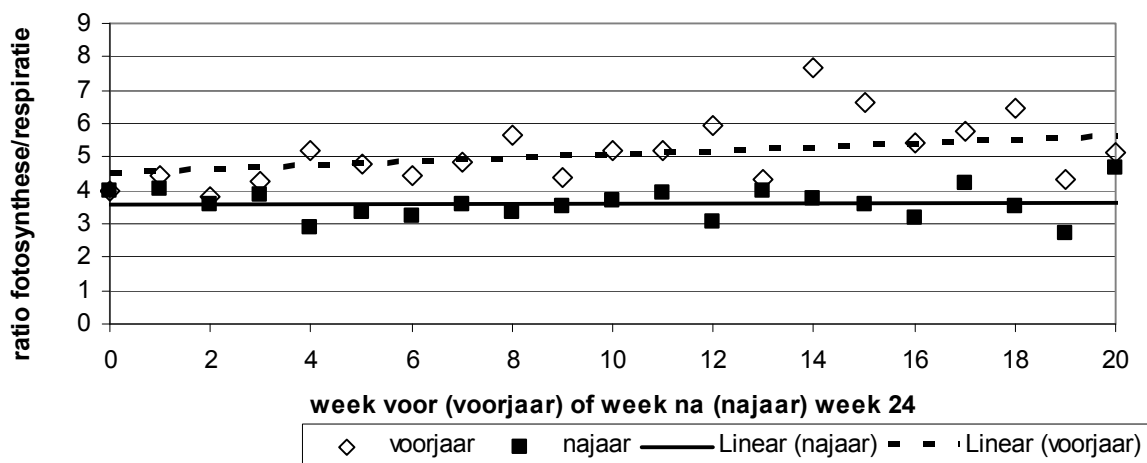
Fotosynthese

Over het algemeen verloopt het niveau van fotosynthese zoals de lichtintensiteit, zowel binnen de dag als over het jaar (Fig. 16). Absorptie van licht brengt fotosynthese op gang maar doordat de biomassa per m² sterk toeneemt wordt de ademhaling verhoogd. In het vroege voorjaar is een groot deel van de assimilaten bestemd voor groeiademhaling en tegen het eind van de teelt is onderhoud relatief belangrijker geworden.



Figuur 16. Gesimuleerde verloop van de bruto fotosynthese (zwarte lijn) en de ademhaling (voortschrijdende gemiddelde over 5 dagen – gebroken lijn) in tomaat gedurende het teeltseizoen (teelt start op 1 december). (Dieleman et al., 2007). Langste dag is 203 dagen na het planten.

In het voorjaar is er relatief meer fotosynthese dan ademhaling (ratio fotosynthese/ ademhaling in $\text{g CH}_2\text{O m}^2 \text{d}^{-1}$) dan in het najaar (Fig. 17).

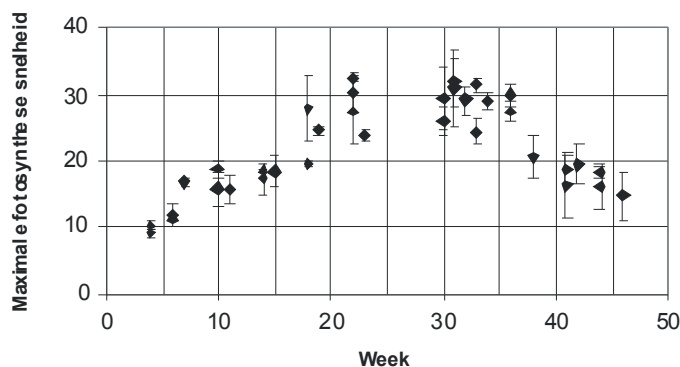


Figuur 17. Ratio fotosynthese/ademhaling gebaseerd op simulatie in Figuur 15 van een tomatenteelt. De ratio is uitgezet tegen weeknummer voor of na de langste dag. In het voorjaar is de ratio hoger dan in het najaar; in het voorjaar is er relatief meer fotosynthese dan ademhaling dan in het najaar.

Fotosynthese capaciteit

Het seizoen beïnvloedt de maximale fotosynthesesnelheid van een blad (Fig. 18). De toe- en afname over het jaar verliepen redelijk synchroon met de toe- en afname van de hoeveelheid globale straling, waaruit af te leiden is dat de bladeren zich aanpassen aan de hoeveelheid straling in de recente afgelopen periode door een verhoogde of

verlaagde fotosynthese-capaciteit. In het najaar is er een iets hogere maximale fotosynthesesnelheid en dit kan te maken hebben met het feit dat de bladeren in het najaar efficiënter met het licht omgaan. Een plant heeft over het algemeen een hogere fotosynthese efficiëntie onder lagere lichtniveaus dus in het voor- en najaar. Echter een plant opgekweekt bij lage lichtniveaus heeft een lagere efficiëntie onder hoge lichtniveaus, dan een plant opgekweekt onder hoge lichtniveaus (Mortensen, 2004).



Figuur 18. Maximale fotosynthesesnelheid (umolCO₂ m⁻².s⁻¹) in de loop van het groeiseizoen 2001 voor de bovenste bladlaag in een paprikagewas (van Marcelis et al., 2006).

In het geval van tomaten zijn de bladeren gevormd in het vroege voorjaar bij een laag lichtniveau, minder efficiënt bij toenemend licht naar de langste dag toe. Rondom de langste dag worden de bladeren gevormd onder hoog licht en deze zijn wel in staat om bij veel licht een hoge efficiëntie te bereiken. In de tomatenteelt is dit fenomeen moeilijk te koppelen met een terugval in productie na de langste dag omdat 'oude' bladeren verwijderd worden.

In de paprikateelt worden bladeren niet verwijderd maar in de loop van het jaar vangen ze onderin steeds minder licht op. Fotosynthesemetingen in de paprikateelt (Dueck *et al.*, 2006) in een gewas waar het bladoppervlak in het najaar een leaf area index (LAI) van 8 bereikte, geven aan dat vanaf augustus de netto fotosynthese in de onderste helft van het gewas negatief was. Het is niet bekend wat voor inbreng deze bladeren hebben op de assimilatenvraag en of dit van invloed is op de productie per eenheid licht. Deze opmerkingen gelden ook voor roos.

Na de zomerperiode met hoge instraling is het ook interessant om er achter te komen of er schade is opgelopen aan de fotosystemen aan het einde van de dag en of deze gedurende de nacht weer voldoende hersteld kan worden (Steven Driever, pers. med.). Dit zou van belang zijn indien beschadiging leidt tot een afname in fotosynthesecapaciteit naar het najaar toe.

Conclusies

- De verhouding tussen assimilatenaanbod en assimilatenvraag is groter in voorjaar dan najaar; dit kan een rol spelen bij terugval in het najaar.
- Bladeren zijn efficiënter in het lichtgebruik in het najaar ten opzichte van het voorjaar. Dit zou een terugval in productie tegengaan.

Onderhoudsademhaling

Het is een grote vraag hoe de onderhoudsademhaling door het jaar heen precies verloopt als fractie van de fotosynthese. In het voorjaar is er minder biomassa aanwezig dan later in het seizoen. Een hogere biomassa zou voor onderhoud een hogere ademhaling vragen, vooral de stengel neemt in gewicht toe. Het is de vraag of een stengel in het eigen onderhoud kan voorzien (Poorter, pers. med.). Het oppervlak van een stengel kan ruim 6 m²

bereiken en het draagt bij aan de fotosynthese (Poorter, pers. med.). De fotosynthese en ademhaling van de stengel is (nog) niet in kaart gebracht maar de stikstofpercentages in de stengel zijn 50% lager dan in het blad of vrucht (Voogt, 1993). Dit geeft aan dat de onderhoudsademhaling in de stengel niet hoog is (Penning de Vries, 1989) en dus heeft een steeds langer wordende stengel mogelijk slechts een beperkte bijdrage in de onderhoudsademhaling.

Een hogere gemiddelde temperatuur in het najaar zou ook meer onderhoudsademhaling vergen zo ook hogere temperaturen in een gesloten kas. Onderzoek in tomaat (Gary *et al.*, 2003) toont een verschil in ademhaling aan na periodes van hoge of lage lichtniveaus. Deze respons was ook omschreven door Amthor (1984). Op de korte termijn, na een afname in beschikbare assimilaten zoals in het najaar, ontstaat een signaal om metabolisme te limiteren. De groei (productie van nieuwe cellen) gaat door zolang de netto fotosynthese hoger is dan onderhoudsrespiratie. Wanneer dit niet zo is, komen mobiele koolhydraten in actie om het onderhoudsademhaling-apparaat te ondersteunen. Op de lange termijn veroorzaakt deze afname in assimilaten een aanpassing van de groeiademhaling naar een lager niveau. Dit vindt plaats in het najaar. De plant kiest ervoor vooral in de vruchten een redelijk stabiele koolhydratenconcentratie aan te houden terwijl de groei van vegetatieve organen wordt geremd. Hierdoor zou het bladoppervlak kunnen afnemen en op lange termijn de productie (Gary *et al.*, 2003).

De onderhoudsrespiratie van de wortels blijft gelijk bij toenemend licht (Poorter *et al.*, 1991).

In het najaar met herfstkommers en -tomaten zal onderhoudsademhaling op donkere dagen beperkt moeten zijn anders is er geen groei. Door de temperatuur dan te verlagen wordt de onderhoudsademhaling minder.

Conclusies

- Een hogere onderhoudsademhaling in de herfst t.o.v. voorjaar kan bijdragen aan terugval.
- Deze hogere onderhoudsademhaling in de herfst kan veroorzaakt worden door (1) meer stengelbiomassa (hogedraadteelt) in herfst dan voorjaar en (2) een hogere kastemperatuur in de herfst.

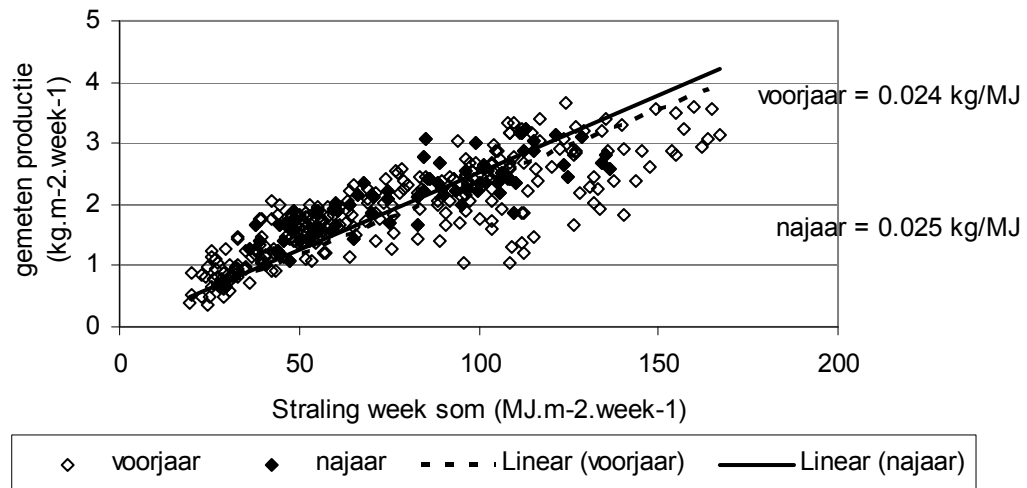
Lichtbenuttingsefficiëntie

Wat ook speelt bij fotosynthese is de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE). Zodra een gewas het licht volledig onderschept ($LAI > 3$) kan bekeken worden hoe efficiënt een gewas omgaat met licht en berekend worden hoeveel productie wordt gerealiseerd met een bepaalde eenheid licht. Voor dit project zijn de LBE's van een aantal gewassen in het voor- en najaar verzameld. Voor vruchtgroenten wordt het versgewicht van de vruchten gebruikt voor deze vergelijking (Tabel 2). In hoofdstuk 5 wordt dieper op dit onderwerp ingegaan voor een jaarrond tomatenteelt in open en gesloten kassen.

Tabel 2. Lichtbenuttingsefficiëntie van tomaten in het voor- en najaar.

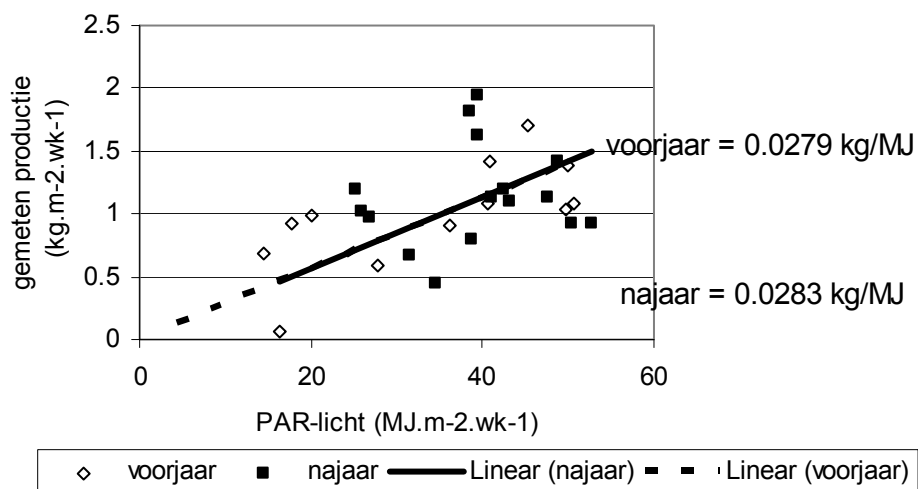
Gewas	LBE voorjaar g per MJ PAR straling	LBE zomer/ najaar g per MJ PAR straling
Tomaat voorbeeld	0.055 kg vers	0.051 kg vers

Een van de mogelijke oorzaken van een terugval in productie is de leeftijd van het gewas maar dit is moeilijk te toetsen omdat leeftijd van een jaarrond tomatenteelt gekoppeld is aan het jaargetij. Om dit te kunnen onderzoeken zullen een aantal teelten gedurende het jaar opgezet moeten worden. In de komkommerteelt wordt drie maal per jaar een gewas geplant. Als de productie in het voorjaar en in het najaar van een aantal komkommerteelten wordt uitgezet tegen gemiddeld licht van de week waarin de komkommers geoogst worden lijkt er geen terugval op te treden (Fig. 19). Of dit ook zal gelden voor een tomatenteelt waar drie keer opnieuw geplant wordt, is niet bekend.



Figuur 19. De productie van komkommers in het voorjaar is 0.024 kg versgewicht per MJ ($\diamond$) en in het najaar 0.025 kg versgewicht per MJ ($\blacklozenge$). In het najaar is er sprake van een hogere LBE dan in het voorjaar (van Marcelis, 1994).

In Figuur 20 is de LBE voor paprika uitgezet en ook hier is er geen terugval in het najaar. De productie in het voorjaar is nagenoeg gelijk als in het najaar. Deze gegevens zijn van een proef bij de Improvement Centre (IC), Bleiswijk, 2008.



Figuur 20. De productie van paprika in het voorjaar is 0.0279 kg versgewicht per MJ ($\diamond$) en in het najaar 0.0283 kg versgewicht per MJ ($\blacksquare$). In het najaar is er sprake van een hogere LBE dan in het voorjaar (van proef IC, 2008).

Sierteelt

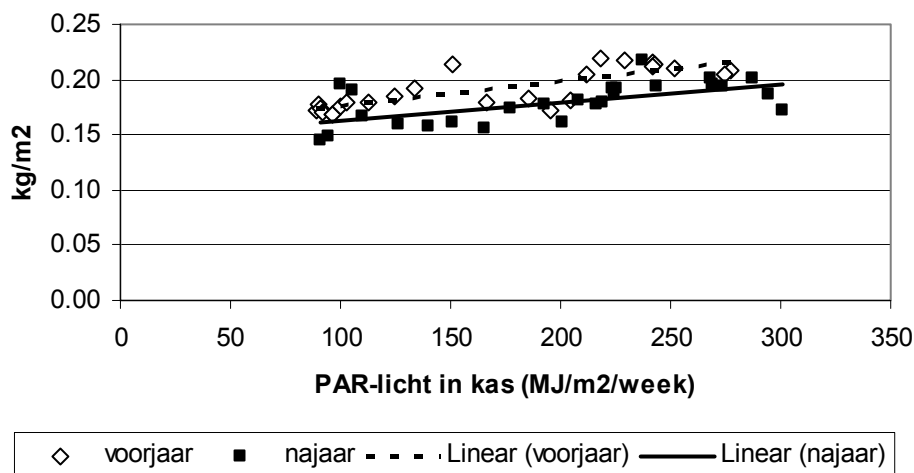
In de sierteelt is de LBE de totale hoeveelheid drogestof per eenheid licht (Tabel 3). Dit heeft bijvoorbeeld in *Kalanchoë* een relatie met kwaliteit omdat het aantal bloemstelen lineair toeneemt met de totale hoeveelheid drogestof (Carvalho *et al.*, 2004). Voor chrysant is in een voor- en najaarsteelt de LBE berekend (van Carvalho, 2003) en als twee teelten in gelijke periodes vóór en na de langste dag worden gebruikt, lijken de LBE-waardes in

het voor- en najaar redelijk gelijk te zijn, 6.42 voor de langste dag en 6.25 na de langste dag (Tabel 3), een verschil van 3%.

Tabel 3. Lichtbenuttingsefficiëntie voor chrysant en kalanchoë.

Gewas	LBE voorjaar g per MJ PAR straling	Start	LBE zomer/ najaar g per MJ PAR straling	Start	
Chrysant	6.42 g droog	Dagno. 124	6.25 g droog	Dagno. 273	belicht
6 cv Kalanchoë	2.42 – 3.01 g droog	dec.	1.55 – 2.14 g droog	april	belicht

Voor een rozengeas is de productie per lichtsom in de voorgaande 6 weken door Vermeulen (in concept) ook berekend (Fig. 21). Hier is een lager LBE in het najaar ten opzichte van het voorjaar. Bij roos wordt belicht en dit maakt een strakke vergelijking tussen voor- en najaar wat ingewikkelder.



Figuur 21. Productie van roos (kg/m²) per eenheid PAR-licht (J/cm²) in voor- en najaar.

Bladoppervlak per m²

Instraling heeft het meeste effect op productie in een kas maar alleen de hoeveelheid instraling opgevangen door de plant draagt bij aan de fotosynthese en dus productie (Heuvelink *et al.*, 2005). De hoeveelheid opgevangen licht is afhankelijk van de hoeveelheid blad per m² (LAI) en met een LAI van 3 wordt ca. 90% van het licht opgevangen (Heuvelink, 1996). Er is echter geen duidelijk optimum voor LAI omdat boven een LAI van 4, bruto fotosynthese en onderhoud weinig veranderen (Heuvelink *et al.*, 2005). In de praktijk wordt tomatenblad verwijderd onder de oogstrijpe trossen om ziekte tegen te gaan en omdat trossen sneller kunnen rijpen en eenvoudiger geoogst kunnen worden. Omdat het aantal bladeren aan de stengel in juli behoorlijk afneemt door het bladplukken, bestaat de kans op te weinig lichtonderschepping in juli en augustus. Tegenwoordig hanteren bedrijven een hogere LAI dan 20 jaar geleden. Dit komt ten goede van de lichtopvang. Ook wordt vanaf het voorjaar extra stengels aangehouden en dit verhoogt ook de LAI. De voor de productie en vruchtkwaliteit optimale stengeldichtheid voor kastomaten in Nederland wordt in het voorjaar en vroege zomer bepaald door het aantal vruchten dat nodig is om de voor vrucht-groei beschikbare assimilaten te benutten. In de nazomer en het najaar daarentegen, zijn voldoende stengels nodig voor een redelijke hoeveelheid blad (de Koning, 1994). Het aanhouden van extra stengels kan in sommige gevallen

ook de kans op aantasting door *Botrytis* vergroten. Aan het eind van de tomatenteelt wordt de kop eruit gehaald en dit heeft ook een nadelige invloed op lichtopvang. In hoeverre dit bijdraagt aan een terugval is niet bekend. In een gesloten kas kan in de zomer (te) klein blad voorkomen (Kaarsemaker & Van Telgen, 2006). Dit kon deels voorkomen worden door matverwarming. Blijkbaar zorgde koeling van onderen voor een te lage mattemperatuur.

Conclusies

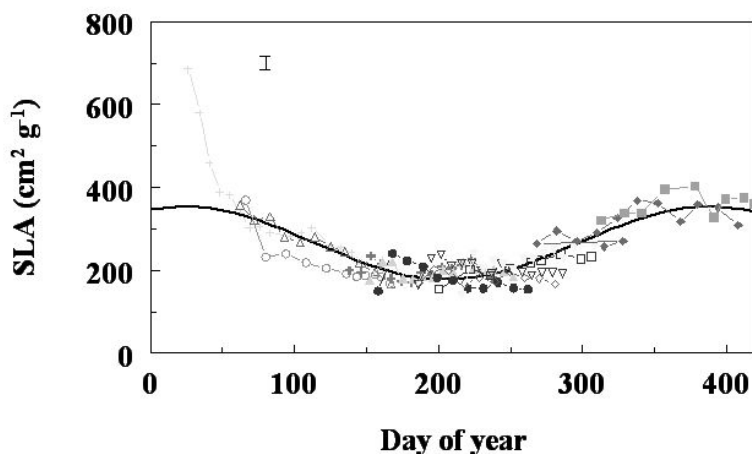
- Een lagere LBE in het najaar kan veroorzaakt worden door een lagere LAI in het najaar dan in het voorjaar.
- Het toppen van de plant in het najaar rondom week 36 verlaagt de lichtonderschepping.
- Een te hoge LAI in het najaar verhoogt de kans op *Botrytis* waardoor er minder bladoppervlakte beschikbaar is voor fotosynthese.
- De LBE gedurende een jaar in drie opeenvolgende komkommerteelten laat geen terugval zien. Of dit een duidt op veroudering als de enige oorzaak van terugval is nog niet duidelijk. Er zijn gelimiteerde gegevens.
- In de zomer kan in gesloten kassen te klein blad voorkomen veroorzaakt door lage mattemperaturen en dit kan een negatief effect hebben op de LAI in het najaar.

Specifieke bladoppervlak

De hoeveelheid bladoppervlak die een plant maakt met een gegeven hoeveelheid drogestof voor bladgroei hangt af van het specifieke bladoppervlak, de SLA. Planten die onder laag licht gekweekt worden, compenseren deels de lagere fotosynthesesnelheid door meer bladoppervlak per gram drogestof te maken (o.a. Evans & Poorter, 2001). Dit is duidelijk in tomaat (Fig. 22). Specifiek bladoppervlak, nutriëntencontent van het blad en het chlorofyl: stikstof verhouding zijn de factoren in een blad die het meest veranderen met veranderende straling. Deze factoren zijn belangrijk voor het maximaliseren van de fotosynthese capaciteit en de koolstof balans van de plant (Rozendaal *et al.* 2006). Bladeren van tomaten ontwikkelen vaak onder hoge lichtomstandigheden en daarna neemt het licht af als de bladeren in de schaduw vallen van nieuwe bladeren. Evans & Poorter (2001) melden dat in alle gevallen van gewassen met een verticale opbouw er een sterke gradiënt is in bladanatomie en stikstof concentratie per eenheid oppervlak. Dit komt overeen met de lichtgradiënt en dit zorgt voor een efficiënt gebruik van de geïnvesteerde stikstof. Deze relatie tussen het oppervlak en nutriëntencontent van het blad wordt ook beïnvloed door de beschikbaarheid van de elementen in de voeding en in de opnamecapaciteit van de plant.

Onder hoog licht zijn de bladeren dikker met meer fotosynthesecapaciteit (meer bladgroen) maar minder oppervlak om het licht op te vangen. Deze toegenomen fotosynthetische capaciteit in het blad is bij laag licht niet effectief omdat het oppervlak waar licht opgevangen wordt, kleiner is (o.a. Poorter & Nagel, 2000). Trossen naast kleinere bladeren gaven kleinere vruchten (Holder *et al.*, 1990).

Rondom en direct na de langste dag worden bladeren aangemaakt onder een lichtniveau dat gemiddeld genomen hoger is dan het opgevangen lichtniveau van de bladeren die aan de plant zijn. Dit zou kunnen betekenen dat de plant eigenlijk te dik blad heeft aangemaakt dat minder effectief is bij afnemend licht.



Figuur 22. Specifieke bladoppervlak gedurende het jaar (Heuvelink et al., 2005).

De SLA is, naast de lichtomstandigheden ook afhankelijk van het dampdrukdeficit in de kas. Laag dampdrukdeficit (minder dan 0.5 KPa) kan op lange termijn ook de SLA negatief beïnvloeden. De plant verdampt minder en Ca^{++} gebrek kan optreden, met negatieve effecten op de LAI. Bladeren in een gesloten kas waarbij de koeling van onder het gewas plaatsvindt, hebben een lagere SLA dan bladeren in een open kas vanwege lage mattemperaturen (Kaarsemaker & Van Telgen, 2006); de bladeren zijn dikker. Dit is alleen van belang als de LAI laag is, bijvoorbeeld bij een lagere stengeldichtheid dan optimaal zou zijn.

Conclusies

- Specifiek bladoppervlak lijkt een belangrijk kenmerk voor de plant in de aanpassing naar meer licht in het voorjaar en minder licht in het najaar maar het is niet duidelijk of het een terugval in productie kan veroorzaken.
- Of er een relatie is tussen de aanpassing van de nutriënten in de bladeren in de tijd en een mogelijke terugval is moeilijk te zeggen.
- De SLA kan kleiner worden door een laag VPD vooral door Ca^{++} gebrek.
- Bladeren ontwikkelen zich onder hoge lichtomstandigheden en daarna neemt het lichtniveau sterk af als de bladeren onder nieuwe bladeren vallen.
- Een lager LBE kan in een gesloten kas veroorzaakt worden door een lage SLA vanwege te lage mattemperaturen.

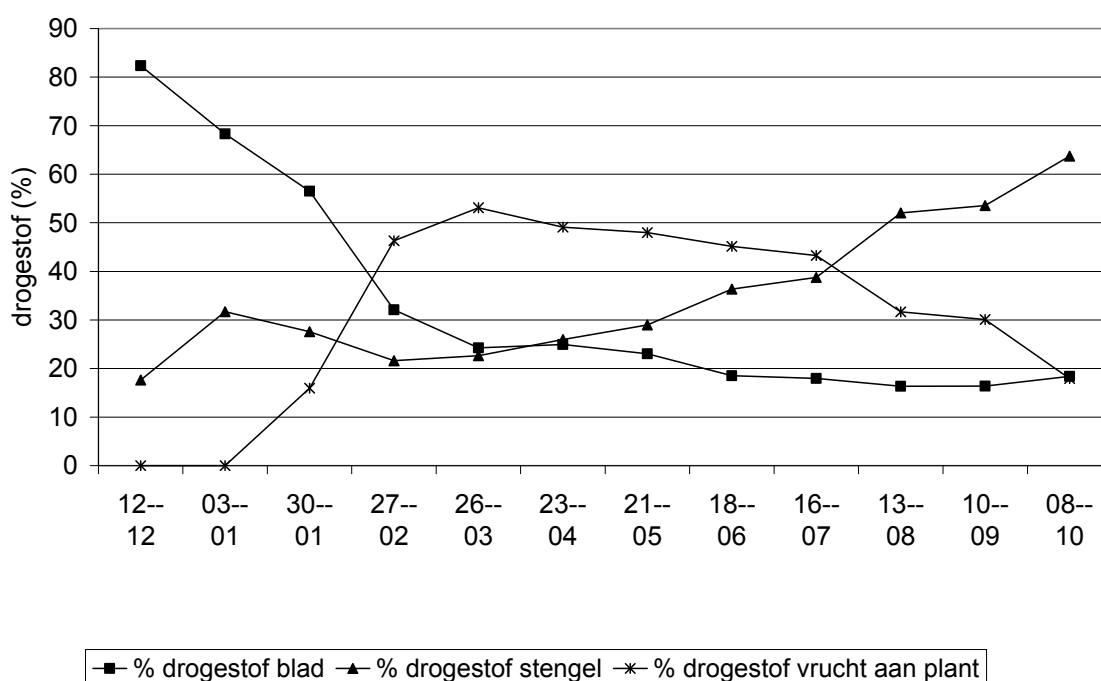
Drogestofverdeling en kwaliteit vruchten

Drogestof kan uitgedrukt worden in percentage drogestof per gewasonderdeel of als percentage drogestofverdeling binnen de plant. Er zijn twee manieren om de drogestofverdeling binnen de plant te meten; als cumulatieve waardes waarbij de totale gewasproductie gemeten wordt (ook geplukte bladeren en vruchten) of als een momentopname van het gewas dat aanwezig is aan de plant. Totaal drooggewicht heeft een relatie met plantdatum en was het hoogste voor experimenten geplant vóór de langste dag (Heuvelink, 1995). De totale drogestofverdeling tussen blad en stengel aan het eind van een teelt van ongeveer 100 dagen was constant ongeacht het jaargetij (Tabel 4). Wat betreft de bladeren en vruchten was er weinig verschil na 100 dagen in verdeling tussen het voor- en najaar maar voor de late opplantingen in de herfst (geen praktijk situatie) was de drogestofverdeling naar de vruchten slechts 35-38%. De stengel van een gewas geteeld in het najaar had een lager drogestofpercentage na 100 dagen (resultaten niet gepresenteerd) dan een teelt in het voorjaar.

Tabel 4. Totale drogestofverdeling tussen blad en stengel aan het eind van 100 dagen tomatenteelt (Heuvelink, 2005).

	Voorjaar				Najaar			
	% drogestof (totaal gewas) na 100 dagen				% drogestof (totaal gewas) na 100 dagen			
	blad	stengel	vrucht	blad/stengel	blad	stengel	vrucht	blad/stengel
Gem.	30.70	12.93	56.37	2.38	29.12	11.87	58.61	2.46
Std.	1.39	0.53	1.50	0.14	2.04	0.36	2.78	0.22

Als een momentopname van de drogestofverdeling gemaakt wordt (Fig. 23) neemt aan het eind van de teelt de stengel 60% van de drogestof voor zijn rekening. Dit komt omdat zowel bladeren als vruchten van het gewas verwijderd worden.



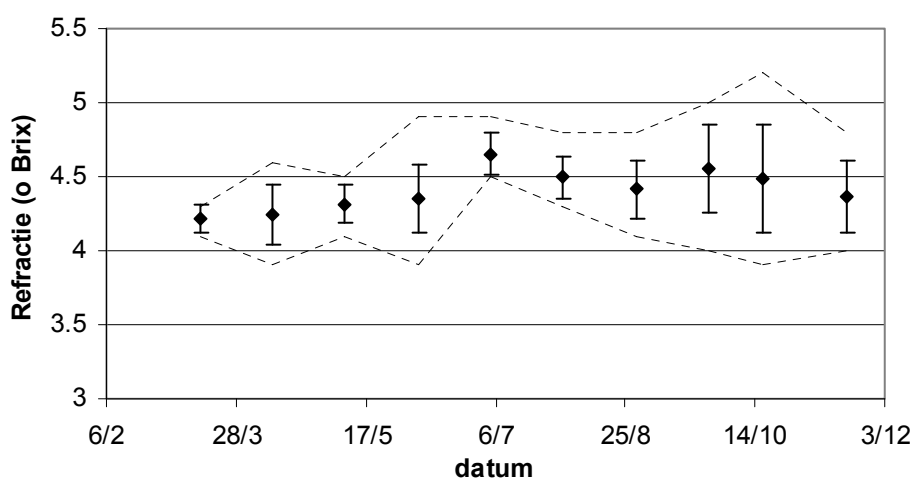
Figuur 23. Het verloop van de verdeling van drogestof over de bovengrondse plantendelen van een tomatengewas (Raaphorst, pers. med.).

Drogestofverdeling naar de vruchten is gerapporteerd als 64% na 120 dagen teelt (Heuvelink, 1995a) maar ook 72% bij een volledige teelt is genoemd (de Koning, 1994). Hoe meer vruchten per tros, hoe meer verdeling naar de vruchten (Heuvelink, 1995b).

De afsplitsingsnelheid van de trossen is vrij constant onder de omstandigheden in een open tomatenkas (Heuvelink, 1995a). In gesloten kassen zorgt de temperatuurgradiënt in de kas voor verschillen in vruchttemperatuur. Als de koppen koel blijven terwijl onderaan de plant het wat warmer is, zou dit ervoor zorgen dat assimilaten naar de vruchten gaan. (pers. med. Raemakers). Aan de andere kant als de planten van onderaf gekoeld worden, zijn het de onderste trossen die koeler worden en daardoor langzamer rijpen (Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 2008).

Er is geen effect van seizoen op het drogestofpercentage van de vruchten gevonden (Heuvelink, 1995a) in een teelt van 100 dagen maar fluctuaties in waterhuishouding kan ook het drooggewicht van de vruchten beïnvloeden. De drogestof van de vruchten heeft o.a. een relatie met de kwaliteit van de vruchten. Hoe meer drogestof, meestal in de vorm van suikers, hoe beter de smaak van de vrucht. In een jaarrondteelt is in het voorjaar over het algemeen de refractie waarde (° Brix) lager dan in het najaar en dit betekent dat de vruchten na de langste dag een betere kwaliteit hebben (Fig. 24). Helemaal aan het eind van de teelt loopt de smaak terug.

In komkommer nam vruchtzetting af bij het verlagen van het lichtniveau. Als gevolg hiervan nam de relatieve verdeling van drogestof naar de vruchten af (Marcelis *et al.*, 2004). Hierdoor kan de productie afnemen. Omdat vruchtzetting een relatief traag proces is, heeft een korte verlaging van licht geen effect op de drogestofverdeling. Op de langere termijn is dit wel het geval. (Marcelis, 1994).



Figuur 24. Het verloop van de refractie gemiddeld over 20 tomatentelers in 2000. De symbolen (♦) geven de refractie aan, de stippellijnen de maximum en minimum waarden. De spreiding is ook aangegeven door balken. De refractie heeft een relatie met de hoeveelheid suikers en daardoor de kwaliteit en drogestof van de vruchten. (Wouter Verkerke, pers. med.).

Tijdens de teelt wordt het gewas steeds groter en de kop bevindt zich steeds verder van de wortels en aan het eind van een tomatenteelt kan de stengel wel 11 m lang zijn. Het is niet bekend hoe de waterpotentiaal in de stengel verandert gedurende het jaar. Lage waterpotentiaal in de stengel zou ook een direct effect hebben op de turgor in het floem en de hoeveelheid suikers die in de vruchten terechtkomen (Ehret & Ho, 1986). Een steeds langere stengel zou ook het transport van nutriënten en hormonen uit de wortels kunnen beïnvloeden.

Conclusies

- De percentage drogestof verdeling naar de vruchten neemt toe als er meer vruchten per tros hangen, bij minder vruchten neemt het af. In het najaar kunnen problemen met de vruchtzetting er voor zorgen dat er een kleinere fractie van de assimilaten aan de vruchten worden toebedeeld dan in het voorjaar. Dit kan bijdragen aan terugval.
- Het relatief groot gewicht van vruchten aan de plant in het najaar vraagt meer assimilaten voor onderhoud en dit zou een terugval kunnen oorzaken.
- Er is in het najaar vaak een hogere drogestof percentage in de vruchten en dus meer assimilaten zijn nodig per kg vers gewicht.
- Het aandeel stengel in de biomassa die in de kas aanwezig is, neemt toe tijdens de gewasontwikkeling maar de effecten ervan op terugval zijn niet duidelijk.

Vochthuishouding

Het effect van het vochniveau in de kas op de verdamping zijn complex. Op de korte termijn neemt de verdamping toe met toenemende instraling. Het dampdrukdeficit (vapour pressure deficit of VPD) tussen blad en lucht is de drijvende kracht hierachter. Over het algemeen kan de verdamping flink omlaag voordat productie beïnvloed wordt (Bakker *et al.*, 1987). De effecten van luchtvochtigheid op opbrengst was duidelijk anders in tomaat dan in komkommer of paprika. Terwijl een komkommeroogst verhoogd werd door hoge luchtvochtigheid was die van tomaat lager. De vegetatieve groei van tomaat was ook negatief beïnvloed (Ca^{++} gebrek) door hoge luchtvochtigheid. Dieleman (2006) concludeert dat op de lange termijn een zeer hoge luchtvochtigheid (VPD van 0.4 tot 0.1 kPa) tot een lagere productie kan leiden omdat bij een zeer hoge luchtvochtigheid de verdamping van een tomatengewas laag is. Hierdoor is de opgenomen hoeveelheid water en daarmee ook calcium (te) laag en bladeren blijven klein zodat minder licht opgevangen wordt. Dit zou voor kunnen komen onder energieschermen vooral in het najaar maar kan ook optreden in gesloten kassen met verneveling.

In een zomerproef bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk (2008) waren de bladeren uitgegroeid onder hogere luchtvochtigheid ook kleiner en hoewel dit een praktijkproef zonder een vaste lage VPD betrof, was het effect wel zichtbaar. In dit geval was een VD van 3.5 g/m^3 aangehouden wat overeenkomt met 0.47 kPa (bv. 81.6% bij 20.4°C). De verdamping van deze planten was ook lager dan in de controle kas. Dit alles geeft aan dat de onvermijdelijke lage VPD waarden in het najaar wel degelijk effecten te verwachten zijn in het gewas.

Er is meer kans op Botrytis in vochtige kassen en in een gesloten kas is de kans op Botrytis vanwege de hogere vochniveaus altijd aanwezig. In het late najaar zorgt een hoge luchtvochtigheid voor minder verdamping en het verschijnsel dat vruchten 'op spanning' staan. Hierdoor neemt de drogestof percentage en de kwaliteit van de vruchten af (Janse pers. med.). Dit zou het versgewicht van de geoogste vruchten in het najaar positief kunnen beïnvloeden maar is nadelig voor de kwaliteit.

Conclusie

- In het najaar kan een hoge luchtvochtigheid in de kassen gedurende een langere tijd leiden tot kleinere bladeren en daardoor minder lichtonderschepping.
- Te hoge vochniveaus in het najaar kunnen Botrytis veroorzaken en dit zou een terugval in productie kunnen veroorzaken omdat minder licht onderschept wordt.

Wortelgroei

De groeisnelheid van de wortels in een normaal tomatengewas is het hoogst tijdens bloei van de eerste tros en daarna neemt het af en kan ook helemaal nul bereiken ondanks de oplopende lichthoeveelheden (o.a. Gassim & Hurd, 1986; van Noordwijk, 1990). Deze afname wordt verklaard door concurrentie om assimilaten. Preesman *et al.* (1997) beargumenteren dat ontwikkelende vruchten een effect kunnen hebben op de gehele plant en ook de wortels. Als bewijs hiervoor gaven zij aan dat de koolhydraatconcentratie van de wortels constant bleef en dat ondanks toenemende aantallen bloemen en vruchten de koolhydraten in de bladeren opliepen. Hormonen, een factor vanuit de bloemen of vruchten zouden dan wortelgroei beïnvloeden.

Negatieve effecten van een hogere worteltemperatuur in het najaar op productie is genoemd in de interviews. Het na-ijlen van het substraat op de ruimte temperatuur was genoemd. Wel is bekend dat bij hogere worteltemperatuur de bladgrootte toeneemt maar ook de respiratie en het worteldruk neemt toe. De pH in het wortelmilieu wordt o.a. beïnvloed door de kationen- anionenopnameverhouding. Maar een pH-daling zou veroorzaakt kunnen worden als er meer CO_2 -afgifte in het wortelmilieu plaatsvindt door bijvoorbeeld meer respiratie. Een daling in pH heeft een negatief invloed op de opname van molybdenum, calcium en boron.

Aan de andere kant kan in gesloten kassen het inzetten van koeling onderin het gewas (te) koude wortels veroorzaken. Weinig wortelactiviteit kan dan ook de opname van ionen beïnvloeden. Naar aanleiding van onderzoek bij wortelverwarming in een gesloten kas is gebleken dat hogere temperaturen het bladoppervlak kan verhogen maar

dat dit afhankelijk is van de ruimtetemperatuur (Kaarsemaker & Van Telgen, 2006). Of de vergroting van het bladoppervlak een gevolg is van de verhoogde turgordruk of van een beïnvloeding van de expansieperiode door een verandering in de hormoonhuishouding als gevolg van het grotere wortelstelsel is niet bekend.

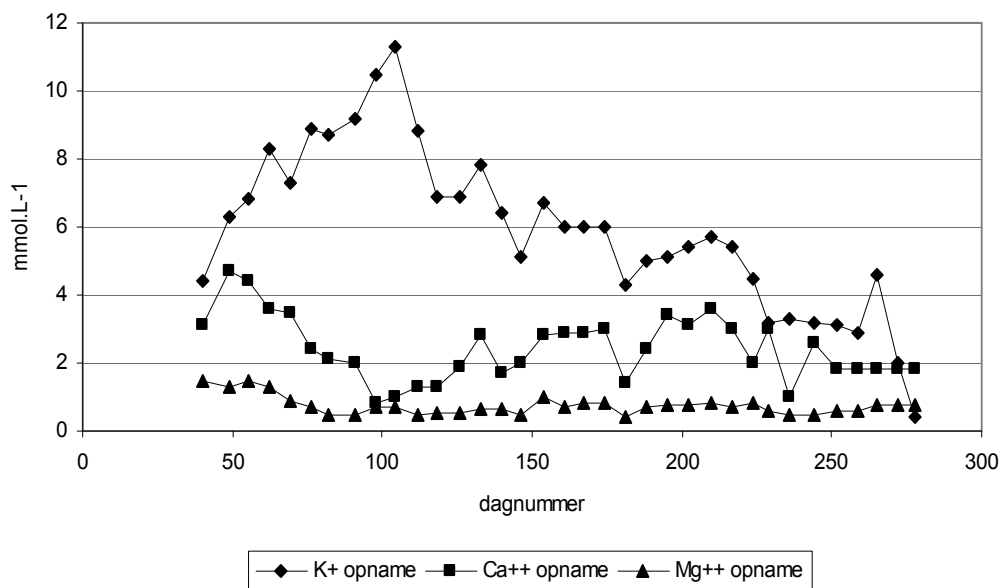
In de praktijk zien we veelal dat de verdamping in het najaar vaak wat lager is dan in voorjaar als gevolg van de hogere luchtvochtigheid. Dit is ook het geval in gesloten kassen (Themato, 2004, Wageningen UR Glastuinbouw, 2008) waar de verdamping in de gesloten kassen lager is dan in de open kassen.

Watergift wordt meestal geregeld op basis van instraling maar ook drainpercentage, waarbij de regeling in voorjaar en najaar vaak gelijk is. Dit kan er toe leiden dat substraatmatten in het najaar wat natter zijn dan in voorjaar omdat de verdamping lager is in het najaar. Een oplopende vochtigheid in het substraat heeft invloed op het zuurstofniveau in het substraat. Een lager zuurstofniveau kan ook accumulatie van ethyleen veroorzaken. Een lagere diffusie van gassen in zeer natte grond kan leiden tot hoge ethyleenconcentraties die wortelstrekking sterk negatief beïnvloeden (Visser & Pierik, 2007). Ook zijn er ervaringen in de paprikateelt met wortelproblemen na de langste dag (Arkesteijn, 2007) en dit werd veroorzaakt door een slechte wortel/luchtverhouding. In dit geval bood een luchtig kokossubstraat (30% lucht) de uitkomst zodat met een hoge watergift er voldoende lucht rondom de wortels bleef. Wortelgroei kan ook beïnvloed worden door leeftijd, inzakken van de planten en de structuur en pH van de matten.

Water- en nutriëntenopname

Gassim & Hurd (1986) toonden aan dat wateropname in tomaat een significant lineair verband heeft met instraling maar gedurende de ontwikkeling van een tomatengewas zijn er significante verschillen in de opnameconcentraties van K^+ , Ca^{++} en Mg^{++} waargenomen. Door van ieder element de concentraties van de gift en de drain te vergelijken met het berekende drainpercentage kan de concentratie van ieder element in het door de water opgenomen water worden bepaald. De opname van voornamelijk K^+ , Ca^{++} en Mg^{++} toont een sterke samenhang met plantstadium en de verdamping. Tijdens de overgang van het vegetatieve naar het generatieve stadium is er een scherpe toename in K^+ -opnameconcentratie (Fig. 25 Voogt, 1993). Op hetzelfde moment is er een verminderde Mg^{++} en Ca^{++} opname en dit wordt verklaard door een hoge kaliumconcentratie in de vruchten ten koste van de Mg^{++} en Ca^{++} . Dit hangt samen met de lagere wortelgroei (minder wortelpuntjes) na de eerste tros. Hierdoor worden specifiek Ca en Mg minder opgenomen (Voogt, 1993; van Noordwijk, 1990). Het is niet duidelijk of deze afname ook bijdraagt aan een terugval in productie na de langste dag. Hoge luchtvochtigheid kan ook de opname van K^+ en Mg^{++} negatief beïnvloeden (Adams, 1993).

Een 15% lagere wateropname in een gesloten kas tussen mei en augustus (Themato, 2004) gaf juist hogere opnameconcentraties in deze periode in de gesloten kas ten opzichte van de open kas. Dit verschilt overigens per element maar omdat er in de gesloten kas een 10% hogere drogestofproductie was gerealiseerd, was de nutriëntenopname per kg drogestof in de gesloten kas lager dan in de open kas. De concentratie van de nutriënten in het jonge blad was lager in de gesloten dan in de open kas. De pH was in het drainwater van de gesloten kas altijd hoger dan in de open kas. Mogelijk kwam dit door de lagere mattemperatuur: minder wortelactiviteit, dus minder CO_2 -afgifte in het water.



Figuur 25. Nutriëntopname/water opname van K, Ca en Mg in een tomatenteelt (Voogt, 1993).

De relatie tussen de opname van bepaalde elementen en het effect op de koolhydraatstatus van de plant is complex. Bijvoorbeeld in jonge tomatenplantjes hangt het vanaf hoe extreem de tekorten van fosfor en stikstof zijn wat voor effecten ze hebben op de plant. (de Groot *et al.*, 2004). In het voorjaar zit relatief veel K⁺ in de vruchten en dit neemt af bij toenemende hoeveelheid licht. Echter in het najaar neemt het niet weer toe en het kan zijn dat de lengte van de stengel het transport van K⁺ negatief beïnvloeden (de Voogt, pers med.). Het in kaart brengen van water- en nutriëntopname in jaarrond open en gesloten teelten en de effecten op gewassenmerken is nog weinig gedaan. Hoe groot de effect van een steeds langer wordende stengel heeft op transport van nutriënten is niet duidelijk.

Conclusie

- In het najaar ijlt de temperatuur van de wortels na en dit kan de worteldruk verhogen. Gekoppeld met een klein vochtdeficit treedt een situatie op met weinig verdamping, een kleiner bladoppervlak en hierdoor mogelijk een lagere LBE.
- Door de hogere luchtvochtigheid in het najaar is er minder verdamping per eenheid straling en hierdoor mogelijk ook een lagere LBE.
- Wortelgroei kan afnemen in het najaar door omstandigheden in de mat zoals te veel vocht, te weinig zuurstof, hoge temperaturen en een (te) laag pH.
- In het voorjaar is de opname van K⁺ veel hoger dan in het najaar en dit hangt samen met een sterkte toename in het aantal vruchten. De effecten van variërende opnameconcentraties van elementen op een terugval is niet duidelijk.
- (Te) lage worteltemperaturen kunnen op den duur nutriëntopname beïnvloeden en dus bladgrootte.
- Wortelgroeisnelheid neemt af na de bloei van de eerste tros en dit is grotendeels terug te voeren op competitie van assimilaten. Wat voor rol deze competitie speelt in de ontwikkeling van de wortels als het assimilatenaanbod afneemt en de assimilatenvraag hoog blijft is niet bekend.

Bestuiving

Bijen kunnen minder goed functioneren bij temperaturen boven de 35°C (PPO-Bijen, 2004). Als de temperatuur hoog oploopt moeten de bijen het bijenvolk ventileren (waaieren met de vleugels waardoor water verdampt). Boven de 90% RV komt condens in het bijenvolk en kunnen schimmels ontstaan. Hierdoor moeten ook geventileerd worden. In een tomatenteelt worden hommels gebruikt en deze zijn niet in staat te ventileren. Luchtvochtigheden van boven de 90% hebben ook invloed op de stuifmeelontwikkeling. Door vochtvorming komt het stuifmeel niet makkelijk los en kunnen de bijen het niet verzamelen. Een RV tussen de 70 en 80% is het beste voor de ontwikkeling van het stuifmeel. In verschillende onderzoeken is gebleken dat temperatuur een effect kan hebben op aantal vruchten, vruchtgewicht en aantal zaden per vrucht (o.a. Peet, 1998; Preesman, 2002).

- Hoge luchtvochtigheden en temperaturen kunnen stuifmeel en bijen en hommels negatief beïnvloeden.

5 Analyse van data

De kwantitatieve relatie tussen productie en licht wordt gebruikt om te beoordelen of er een gelijk effect van licht op de productie in het voor- en najaar bestaat. Het is natuurlijk voor de hand liggend dat bepaalde klimaat- of gewasmaatregelen de oogst zodanig beïnvloeden dat niet alleen licht de bepalende factor is voor productie. Naast licht geabsorbeerd door de bladeren is vooral het CO₂-niveau van belang. Temperatuur heeft een gering effect op totaalopbrengst mits het binnen de grenswaarden voor de teelt gehouden wordt en temperatuurschommelingen worden door het gewas geïntegreerd over de tijd.

5.1 Lichtbenuttingsefficiëntie (LBE)

De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) geeft aan hoeveel drogestof of versgewicht aangemaakt wordt door het gewas per eenheid licht. Cockshull *et al.* (1992) liet zien dat de LBE verandert in de tijd van 2.52 kg verse tomaten /100MJ licht onder 'hoge lichtniveaus' en 2.89 kg vers/100MJ onder licht niveaus van minder dan 1.5 MJ m⁻². Een verandering in de LBE werd ook gerapporteerd voor komkommer door Marcelis *et al.* (2004) waar onder hoge stralingsniveaus in de kas het effect van lichtafname kleiner is dan bij lage stralingsniveaus. De LBE is hoger indien het licht lager is en de afname in LBE is groter bij laag licht. In sectie 5.3 is er een overzicht van LBE-waarden van de verschillende datasets.

5.2 Datasets

De volgende datasets worden in dit rapport gebruikt.

Naam	Jaar	Datasets
Bedrijf 1	2004, 2005	Open en gesloten kas
Bedrijf 2	2006	Open en (semi-) gesloten kas
Bedrijf 3	2004 (2)	Open kas
Bedrijf 4	2006, 2007, 2008	Open en (semi-)gesloten
Bedrijf 5	2008	Open en gesloten kas (semigesloten)
Bedrijf 6	2000	Open kas
Bedrijf 7	2000	Open kas

5.3 Methode

Om te kunnen bepalen of de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) in het najaar lager ligt dan in het voorjaar is de productie per m² per week uitgezet tegen het PAR-lichtniveau per week op gewasniveau in de kas. De helling van deze lijn geeft aan hoeveel kg per m² versgewicht vrucht geproduceerd wordt per MJ /m² PAR-licht. Hoe steiler de helling hoe meer kilo's per MJ licht hoe hoger de lichtbenuttingsefficiëntie. Deze hellingslijn is door de oorsprong gefit omdat er wekelijks wordt berekend en niet cumulatief.

Van week tot week kunnen zowel straling als productie sterk schommelen, daarom is eerst voor beide een voortschrijdend gemiddelde over 3 weken gemaakt, dat wil zeggen dat voor week x de productie en het PAR-lichtniveau wordt vastgesteld als het gemiddelde over week x-1, week x en week x+1. Vervolgens is er rekening mee gehouden dat veel licht in een bepaalde week de vruchtgroei doet toenemen van zowel vruchten die bijna rijp zijn, als van vruchten die net beginnen te groeien. Gemiddeld worden dus de assimilaten die deze week geproduceerd worden pas ongeveer een halve vruchtuigroeiperiode later geoogst. Hoeveel weken een halve vruchtperiode duurt, is

onderzocht door gebruik van een simulatie in TOMSIM (Heuvelink, 1996), zie Bijlage II. Een voorbeeld is gemaakt van de opbrengst in kg/m² in een kas met een gemiddelde temperatuur van 20°C en een CO₂-niveau van 1000ppm. De LAI is op 3 gezet. Deze modelberekening houdt geen rekening met een mogelijke terugval na de langste dag. Bovendien verandert alleen de hoeveelheid licht (SEL-jaar, Breuer & Van de Braak, 2002) en zijn de CO₂-concentratie en temperatuur constant. Het model laat zien dat in het voor- en najaar de opbrengst per lichteenheid gelijk is. Het program berekent drogestofproductie en in dit geval is dit naar versgewicht gecalculeerd gebruikmakend van een drogestofpercentage van de vrucht van 6%. In dit geval is de lichtbenuttingsefficiëntie 5.0 kg versgewicht vrucht per 100MJ licht in het voorjaar en 5.1 kg in het najaar. Het kleine verschil tussen het voor- en najaar zou verklaard kunnen worden door het feit dat in het najaar de vruchten een fractie hoger drogestof percentage hebben.

In dit voorbeeld is een halve vruchtperiode van 4 weken aangehouden en daarom is de productie in week x uitgezet tegen de straling van week x-4 (dus 4 weken eerder). Deze verschuiving past ook bij de waarneming van Adams *et al.* (2001b) in een proef onder constante omstandigheden waarbij één week hogere lichtintensiteit resulteerde in een verhoogde opbrengst 4 tot 6 weken daarna.

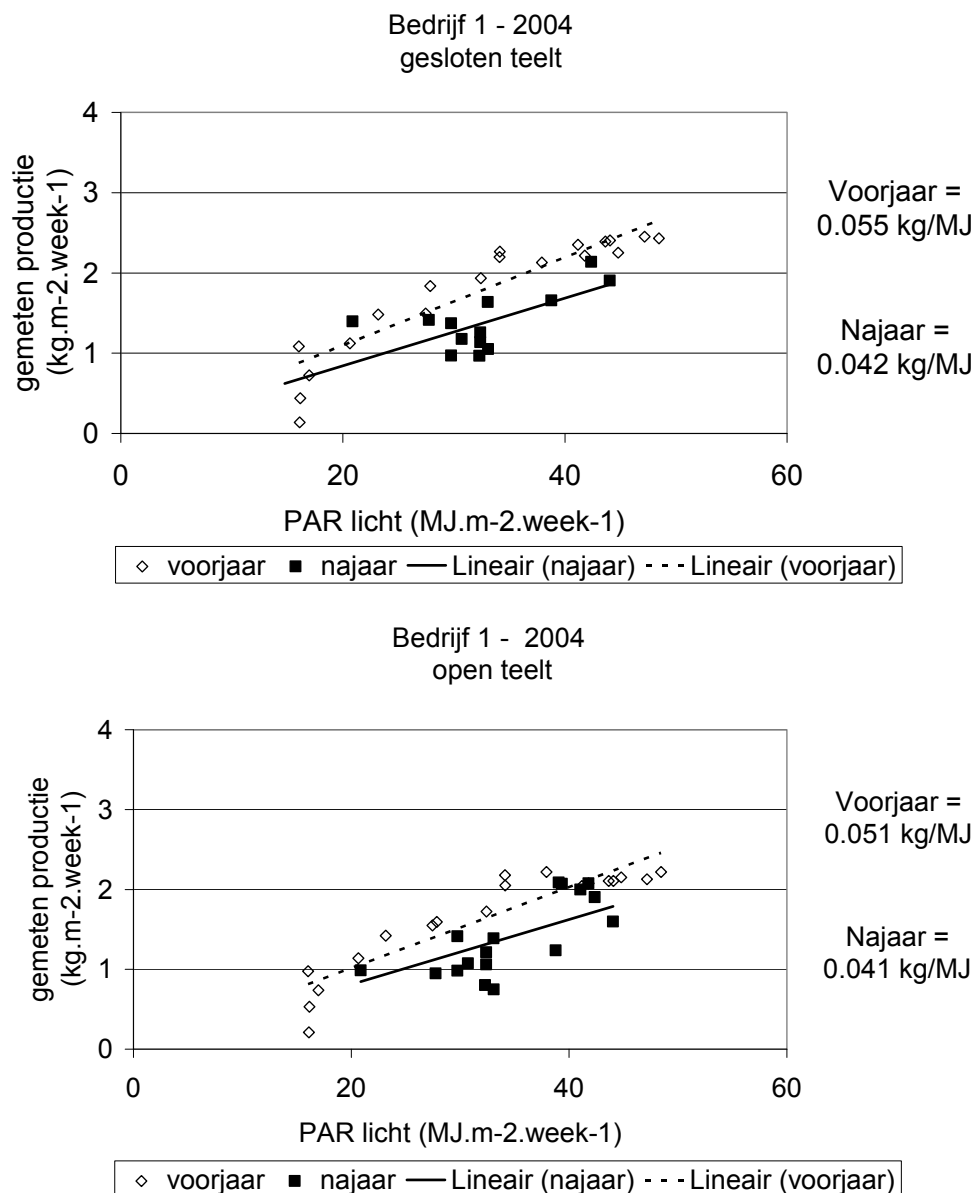
Het jaar is opgesplitst in twee delen, het voorjaar vanaf het begin van de oogst tot en met week 25 en het najaar vanaf week 30 tot aan het eind van de gemeten oogst. De weken 26 tot en met 29 met betrekking tot het licht zijn niet gebruikt omdat deze niet heel duidelijk bij voorjaar dan wel najaar behoren. Het gaat dan om de productie in de weken 33 tot en met 37. Er is gekozen voor wekelijkse waarden en niet voor cumulatieve waarden omdat mogelijke verschillen tussen voor- en najaar naar voren dienen te komen. Cumulatieve grafieken laten veel minder snel verschillen zien, zelfs als ze er wel zijn.

Deze manier van het berekenen van de LBE is vervolgens gebruikt om alle gemeten proeven te analyseren.

5.4 Resultaten

Bedrijf 1

In Fig. 26 is een voorbeeld van de data analyse van de LBE voor Bedrijf 1. De helling van de lijn van gemeten productie in kg per m² per week en de som van het PAR-licht in MJ per m² in de week 4 weken voor de productie-week geeft de LBE aan. In dit voorbeeld is dat in de gesloten kas in het voorjaar een helling van 0.055 en daarom is de LBE 0.055 kg versgewicht per MJ PAR-licht in de kas. In het najaar is de LBE lager op 0.045 kg per MJ. Voor de open kas zijn de LBE's 0.051 en 0.041 kg/MJ licht in voor- en najaar. Deze waardes komen wel overeen met de simulatiewaardes in TOMSIM (zie Bijlage II). In dit voorbeeld op Bedrijf 1 is er in de gesloten kas een hogere % terugval dan in de open kas (24% tegenover 19%) (Tabel 4) maar dit is te wijten aan ziekte in het gewas in de gesloten kas.



Figuur 26. 2004: Gemeten productie: Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.055 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.042 kg versgewicht per MJ licht. 2004 Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.051 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.041 kg versgewicht per MJ licht.

De overige grafieken van Bedrijf 3 tot en met Bedrijf 7 en de LBE-waardes zijn in Bijlage I.

LBE van gemeten gegevens

In Tabel 5 is een overzicht van de LBE van 16 proeven zoals omschreven hierboven. In 14 van de 16 voorbeelden van de lichtbenuttingsefficiëntie van gemeten gegevens vinden wij een terugval in het najaar (*). Dit betreft zowel gesloten als open kassen. Nu moet vastgesteld worden wat de procentuele afname in LBE in het najaar eigenlijk is. Om hierachter te komen is de LBE in het najaar afgetrokken van de LBE van het voorjaar en dan gedeeld door de LBE in het voorjaar. Het valt op dat zowel bij Bedrijf 1 2004, Bedrijf 2 2006 en Bedrijf 5 2008 in de gesloten kas meer terugval is dan in de open kas. Bedrijven 1 2004, 2 en 5 hadden in het najaar Botrytis aantastingen in de (semi-) gesloten kas. Bij Bedrijf 1 2005 heeft de open kas een paar procent meer terugval dan de gesloten kas. Dit

verschil is echter klein. Over het algemeen is er hier wel sprake van een grotere terugval in productie in het najaar in gesloten kassen dan in open kassen maar ziekte lijkt hier de oorzaak.

Tabel 5. De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) van 15 tomatenteelten.

Proef	LBE kg/MJ Voorjaar		LBE kg/MJ Najaar		% verlaging najaar t.o.v. voorjaar	
	(semi-) Gesloten	Open	(semi-) Gesloten	Open	(semi-) Gesloten	Open
Bedrijf 1 2004	0.055	0.051	0.042 *	0.041 *	24	19
Bedrijf 1 2005	0.063	0.055	0.054 *	0.046 *	14	16
Bedrijf 2 2006	0.039	0.036	0.031 *	0.034 *	20 **	5
Bedrijf 3 2004 afd 2 open		0.051		0.038 *		25
Bedrijf 3 2004 afd 3 open		0.051		0.037 *		25
Bedrijf 4 2006 open		0.032		0.027 *		16
Bedrijf 4 2007 open		0.029		0.025 *		19
Bedrijf 4 2008 semigesloten	0.030		0.028 *		7 **	
Bedrijf 5 2008	0.054	0.046	0.044 *	0.045 *	19	2
Bedrijf 5 2008 semigesloten	0.0504		0.0531		+5 **	
Bedrijf 6 2000 open		0.040		0.031 *		23
Bedrijf 7 2000 open		0.054		0.056		+4

* geeft terugval in het najaar aan.

** geeft semigesloten kas aan.

Voor sommige proeven is ook een simulatie gedraaid met het model INTKAM en deze waardes voor zowel LBE als procentuele verlaging in de oogst in het najaar ten opzichte van het voorjaar staan in de Bijlage III. In alle simulaties is er sprake van terugval in het najaar ten opzichte van het voorjaar. In de simulaties is zowel de LBE als de % verlaging in het najaar ten opzichte van het voorjaar van dezelfde orde als die van de gemeten getallen. Ook is er in de open kas meer terugval in productie berekend dan in de gesloten kassen. Dit kan verklaard worden door het feit dat een simulatie geen rekening houdt met factoren anders dan licht, CO₂-concentratie, temperatuur en LAI in het berekenen van productie. De open kassen hebben in het najaar lagere CO₂-concentraties dan in de gesloten kassen. In Bijlage IV zijn de resultaten van een simulatie waarbij de CO₂-concentratie in de tweede helft van het jaar is verlaagd en ook een simulatie waarin de LAI in de tweede helft van het jaar is verlaagd. In beide gevallen is er een gesimuleerde terugval van 8%. Dit is lager dan de percentages terugval in de voorbeelden. Hierdoor is het waarschijnlijk dat niet alleen een lager CO₂-concentratie of LAI een terugval kan verklaren.

5.5 Conclusies van de data analyse

In 87.5% van de voorbeelden is er sprake van een terugval in productie in het najaar ten opzichte van het voorjaar. Deze terugval is te zien in het aantal geproduceerde kilogram per eenheid licht. Ook in een aantal gevallen is deze terugval groter in gesloten kassen ten opzichte van open kassen maar op de bedrijven 1 2004, 2 en 5 is in het najaar Botrytis opgetreden in de gesloten kas.

Een lagere CO₂-niveau in het najaar kan wellicht een deel van de verklaring zijn voor een terugval in productie in het najaar in conventionele kassen. In de open kassen is de CO₂-concentratie lager en die neemt deze sterk af met toenemend licht omdat gelucht wordt. Als men alleen naar de terugval in de open kassen kijkt, is het verleidelijk een afnemende CO₂-niveau als oorzaak van een terugval te benoemen. Dit kan niet de enige oorzaak zijn. Met behulp van een simulatiemodel (Bijlage IV) is geschat dat op basis van lagere CO₂-concentratie 8% terugval verwacht zou kunnen

worden. De terugval op de bedrijven was duidelijk groter (tot 25 %). Er lijken dus duidelijk meer factoren te spelen dan alleen CO₂-concentratie.

De LAI neemt in alle voorbeelden af in het najaar. Of dit een terugval in productie kan verklaren is niet duidelijk. In de simulatie van productie waarbij een LAI van 3 in het voorjaar en een LAI van 2 in het najaar aangehouden werd (Bijlage IV) is de terugval in productie slechts 8%. De terugval in deze voorbeelden is over het algemeen veel hoger.

6 Conclusies

Analyse van de beschikbare data van 16 jaarrond tomatenteelten toont aan dat in 88% van de gevallen er een lagere lichtbenuttingsefficiëntie in het najaar is dan in het voorjaar. In 3 van de 4 gevallen waar een (semi-) gesloten met een open kas werd vergeleken was er een grotere terugval in het najaar in een gesloten kas ten opzichte van de terugval in een open kas maar hier speelde ziekte een rol. De redenen voor een terugval in productie per eenheid licht zijn uit de literatuur en via interviews samengesteld en zijn in deze conclusie in drie categorieën gegroepeerd; aannemelijke oorzaken; mogelijke oorzaken en niet aannemelijke oorzaken. Echter veel van de oorzaken staan in verband met andere oorzaken en het blijft moeilijk elk factor apart te benaderen.

6.1 Aannemelijke oorzaken van terugval

Verhouding tussen assimilatenaanbod en assimilatenvraag

De verhouding tussen het assimilatenaanbod en de assimilatenvraag speelt vermoedelijk een belangrijke rol in de terugval van productie in het najaar in tomaat. In het voorjaar lopen deze twee factoren redelijk gelijk op in een vruchtgroenteteelt. Echter in een tomatenteelt in het najaar blijft de assimilatenvraag hoog terwijl het aanbod afneemt met afnemend licht. Daarnaast is voor alle gewassen de onderhoudsademhaling in het najaar hoger. Dit komt omdat de kassen over het algemeen warmer zijn en omdat er meer stengelbiomassa is aan de plant. In de paprikateelt lopen assimilatenaanbod en -vraag gelijk op en neer. Dit wordt wellicht verklaard door het feit dat paprika gevoeliger is dan tomaat en meer bloemen of jonge vruchten aborteren als er minder aanbod is. Zo houdt de plant zichzelf meer in evenwicht dan tomaat. In de komkommerteelt wordt er drie keer per jaar een jong gewas opgezet zodat er vooral in het begin van de zomer- en herfstteelten een piek is in het aanbod van assimilaten terwijl de vraag laag is.

Verhouding licht en temperatuur en effect van vocht in de buitenlucht

De verhouding van licht en temperatuur heeft een effect op het assimilatenaanbod en de assimilatenvraag. Door de ratio van de straling en de temperatuur ($RRT = \text{ratio radiation energy thermal energy}$) in het voor- en najaar te berekenen en de RRT in open en gesloten kassen te berekenen lijkt de RRT in de meeste gevallen hoger in het voorjaar in zowel open als gesloten kassen. Door hogere luchtvochtigheid in het najaar en hogere nachttemperaturen is het sturen van het kasklimaat minder makkelijk dan in het voorjaar omdat er minder verschil is tussen de warme en vochtige kaslucht en de buitenlucht. Dit veroorzaakt een gunstige verhouding tussen de straling en de gemiddelde temperatuur in het voorjaar ten opzichte van het najaar.

CO₂-niveau

CO₂-niveau is in een open kas in het najaar lager dan in het voorjaar omdat er meer gelucht wordt in het najaar in verband met hogere luchtvochtigheid in de kas. Dit zal bijdragen tot een terugval van de productie in het najaar maar de daadwerkelijke terugval lijkt groter te zijn dan verklaard kan worden door de werkelijke verlaging van het CO₂-niveau.

Wortelmilieu

Veranderingen in het wortelmilieu kunnen bijdragen aan een terugval van de productie in het najaar.

Wortelgroeisnelheid neemt af na de bloei van de eerste trossen en is niet constant tijdens de teelt maar het is niet duidelijk of dit een terugval in productie veroorzaakt. Het lijkt alsof de nutriëntenopname in het najaar ook lager ligt dan in het voorjaar maar waar dit aan ligt is moeilijk te zeggen. Door een hogere luchtvochtigheid in het najaar is er per eenheid straling wat minder verdamping dan in het voorjaar. Watergift wordt meestal geregeld op basis van instraling, waarbij de regeling in voorjaar en najaar vaak gelijk is. Dit kan ook er toe leiden dat substraatmatten in

najaar vaak wat natter zijn dan in het voorjaar. Een oplopende vochtigheid in het substraat heeft invloed op het zuurstofniveau in het substraat. Wat voor effect dit heeft op andere processen in de plant is niet duidelijk. In een gesloten kas is de verdamping vaak lager dan in een open kas en dit zal ook een effect hebben op de vochtigheid in het substraat en ook de opname van nutriënten. Daarnaast zorgt het koelen onderin het gewas voor koelere wortels en dit kan een negatief effect hebben op nutriëntenopname.

Leeftijd gewas

In de tomatenteelt is de leeftijd van het gewas gekoppeld aan de tijd van het jaar, er is aan het eind van een jaar rond tomatenteelt een stengel van minstens 10m. De lengte van de stengel kan een effect hebben op het transport en verdeling van hormonen en nutriënten uit de wortels naar andere delen van de plant.

Verdeling van de assimilaten

In het najaar kunnen problemen met vruchtzetting door abortie (te hoge assimilatenvraag) of slechte bestuiving ervoor zorgen dat er een kleinere fractie van de assimilaten aan de vruchten worden toebedeeld dan in het voorjaar. Maar in het najaar is er over het algemeen een hogere Brix waarde van de vruchten en dit wordt meestal verklaard door een hogere drogestof percentage en ook meer assimilatenvraag. Hierdoor wordt ook de lichtbenuttingsefficiëntie, uitgedrukt in kg vers product per eenheid licht, verlaagd.

6.2 Mogelijke oorzaken van terugval

Diffuus licht

Er is gekeken naar de gemiddelde straling, temperatuur en luchtvochtigheid gedurende een jaar. De gemiddelde instraling is iets lager in het voorjaar dan in het najaar maar er is wel meer bewolking in het voorjaar, waardoor het percentage diffuus licht hoger is. Vooral in de weken 12 tot 38 is er circa. 10% meer diffuus licht in het voorjaar dan in het najaar. In het voorjaar is de buitenlucht gemiddeld koeler dan in het najaar zodat in het voorjaar het kasklimaat eenvoudiger te handhaven is. Tegelijkertijd is in het voorjaar de buitenlucht minder vochtig vanwege de lagere temperatuur zodat vocht in het voorjaar nauwelijks een reden is om te luchten. In het najaar veroorzaakt de noodzaak om te luchten een daling in de CO₂-concentratie en dit kan in een open kas een lagere lichtbenuttingsefficiëntie veroorzaken.

Bladoppervlakte en bladdikte

Instraling heeft het meeste effect op productie in een kas maar alleen de hoeveelheid instraling opgevangen door de plant draagt bij aan de fotosynthese en dus productie. Als de plant een LAI van 3 heeft wordt circa 90% van het licht opgevangen. Een lagere lichtbenuttingsefficiëntie na de langste dag zou een resultaat kunnen zijn van een (te) lage LAI in het najaar. Dit zou kunnen bijdragen tot een terugval van de productie in het najaar maar de daadwerkelijke terugval lijkt groter te zijn dan verklaard kan worden door de werkelijke verlaging van de LAI.

Een hogere LAI na de langste dag zou bij kunnen dragen in het verhogen van de efficiëntie maar tegelijk kan meer bladmassa samen met een hogere luchtvochtigheid in het najaar Botrytis veroorzaken. Het specifieke bladoppervlak (SLA uitgedrukt in cm² per g) is voor de plant een belangrijk manier om zich aan te passen naar meer licht in het voorjaar. Bladeren aangemaakt in een lichte periode zijn over het algemeen dikker (lagere SLA) dan bladeren aangemaakt in een donkere periode. Dit betekent dat op het moment dat de lichtniveaus dalen in het najaar de plant dikke bladeren heeft, aangelegd bij veel licht. Een lage SLA verlaagt de LAI bij een gelijke bladmassa. De rol van de aanpassingen in nutriënten in de bladeren in verband met een mogelijke terugval in productie is moeilijk aan te geven.

6.3 Niet-aannemelijke oorzaken van terugval

DIF is in het voorjaar over het algemeen hoger dan in het najaar maar het is niet aannemelijk dat dit een terugval in productie zal veroorzaken.

Hoge luchtvochtigheid in de kas heeft alleen bij extreem hoge waardes een effect op productie en een zeer hoog niveau heeft mogelijk invloed op hommels, bijen en stuifmeel. Slechte bestuiving zou een terugval in productie kunnen veroorzaken.

7 Literatuur

- Adams, P., 1993.
Crop Nutrition in Hydroponics. Acta Hort. (ISHS) 323:289-306.
- Adams, S.R., K.E. Cockshull & C.R. Cave, 2001a.
Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits. Annals of botany, vol. 88, no. 5, pp. 869-877.
- Adams, S.R., V.M. Validés, C.R.J. Cave & J.S. Fenlon, 2001b.
The impact of changing light levels and fruit load on the pattern of tomato yields. Journal of Horticultural Science and Biotechnology; 76(3): 368-373.
- Aoki, M. & K. Yabuki, 1977.
Studies on the carbon dioxide enrichment for plant growth. VII. Changes in dry matter production and photosynthetic rate of cucumber during carbon dioxide enrichment. – Agric. Meteorol. 18: 475-485.
- Amthor, J.S., 1984.
The role of maintenance respiration in plant growth. Plant, Cell and Environment 7: 561-569.
- Arkestijn, M., 2007.
Ondanks goede resultaten valt belangstelling voor nog luchtiger kokosmat tegen. Onder Glas. Nummer 10. bz. 79-81.
- Bakker, J.C., G.H.W. Welles & J.A.M. van Uffelen, 1987.
The effects of day and night humidity on yield and quality of glasshouse cucumbers, J. Hortic. Sci. 62, pp. 363-370.
- Besford, R.T., 1990.
The greenhouse effect: Acclimation of tomato plants growing in high CO₂, relative changes in Calvin cycle enzymes. J. Plant Physiol. 136: 458-463.
- Bin Lui & R.D. Heins, 1997.
Is plant quality related to the ratio of radiant energy to thermal energy? Acta Horticulturae 435. 171-182. ISHS.
- Breuer, J.J.G., N.J. van de Braak, F.L.K. Kempkes, C. Stanghellini & H.F. de Zwart, 2002.
Gevoeligheidsanalyse productiefactoren licht en CO₂. IMAG rapport P2002-18.
- Cockshull, K., C.J. Graves & C.R.J. Cave, 1992.
The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. Journal of Horticultural Science 67 (1) : 11-24.
- Carvalho, S.M.P., B. Eveleens, M. Bakker & E. Heuvelink, 2006.
Praktijkonderzoek Plant en Omgeving BV. PPO rapportnummer 41313016.
- Dieleman, J.A., 2004.
Voordeel plukken van effectieve CO₂-dosering. Wageningen University and Researchcenter Publications.
- Dieleman, A., F. Kempkes, C. Stanghellini, A. Elings, A. de Gelder, E. Meinen & G. Heij, 2007.
Wanneer planten, wanneer een teelt beëindigen? Effecten van start- en eindtijdstip van de teelt van komkommer, paprika en tomaat op productie en energiegebruik. Nota 464. Wageningen UR Glastuinbouw.

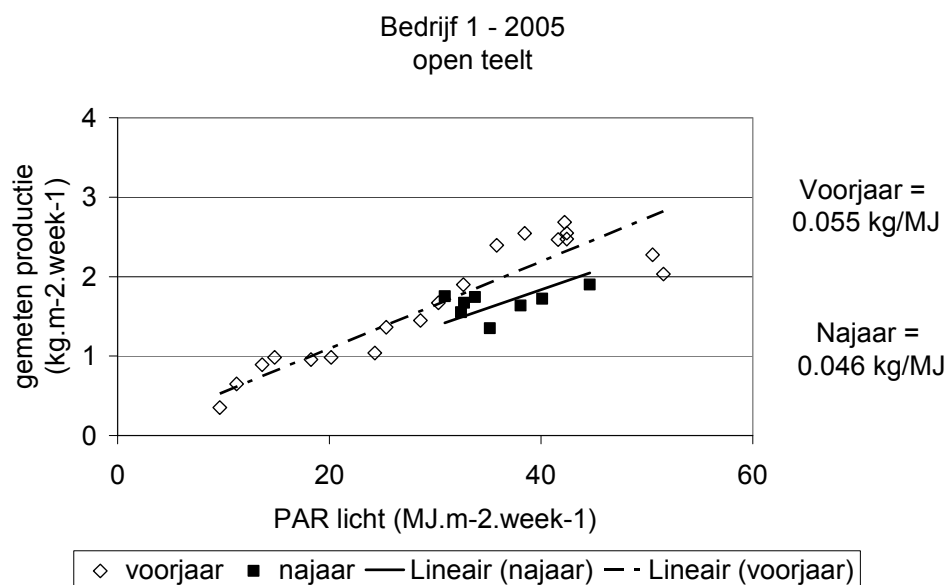
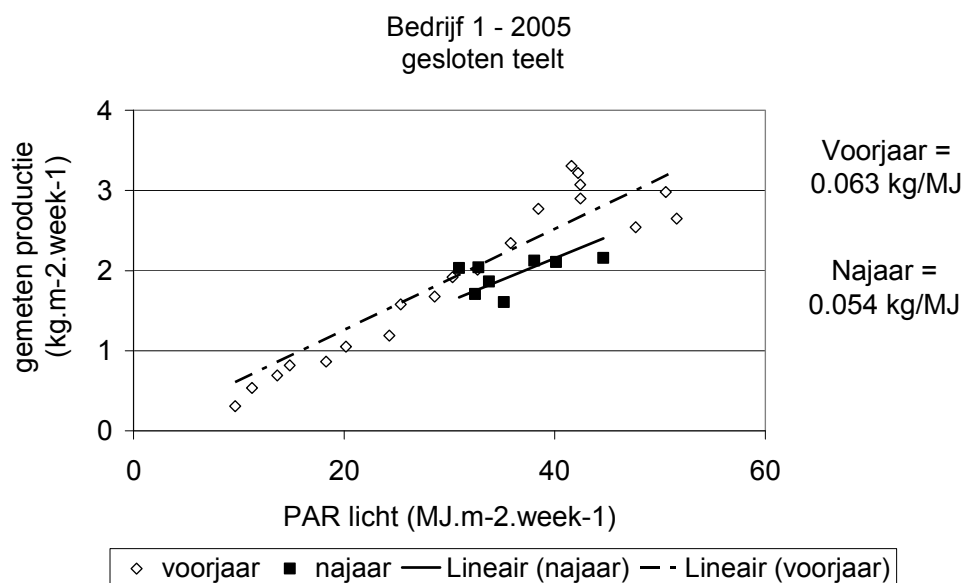
- Dieleman, A., 2008.
Effecten van luchtvochtigheid op groei en ontwikkeling van tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw Nota 519.
- Ehret, D.L. & L.C. Ho, 1986.
Effects of Osmotic Potential in Nutrient Solution on Diurnal Growth of Tomato Fruit. *Journal of horticultural science* 61:33, 361-367.
- Evans, J.R. & H. Poorter, 2001.
Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment* 24, 755-767.
- De Jong, J.B.R.M., 1980.
Een karakterisering van de zonnestraling in Nederland. Doctoraal verslag. Tech. Hogeschool Eindhoven.
- Dueck, Th.A., C. Grashoff, Broekhuijsen & L.F.M. Marcelis, 2006.
Efficiency of Light Energy Used by Leaves Situated in Different Levels of a Sweet Pepper Canopy. *Acta Hort.* 711: 201-206.
- Gary, C., P. Baldet, N. Bertin, M. Devaux, M. Tchamitchian & P. Raymond, 2003.
Time-course of Tomato Whole-plant respiration and Fruit and Stem Growth During Prolonged Darkness in Relation to Carbohydrate Reserves. *Annals of Botany* 91: 429-438.
- Gassim, A.A. & R.G. Hurd, 1986.
The root activity of tomato plants. *Acta Hort.* 190:267-279.
- Gijzen, H. 1994. Ontwikkeling van een simulatiemodel voor transpiratie en wateropname. Rapport 18. AB-DLO. Novem Programma Agarische Sector.
- Groot, C.C. de, L.F.M. Marcelis, R. den Boogaard & H. Lambers, 2001.
Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. *Plant, Cell and Environment*. Vol 24: no, 12.1309-1317.
- Hand, D.W., 1984.
Crop responses to winter and summer CO₂ -enrichment. *Acta Hort.* (ISHS) 162:45-64.
- Hand, D.W., 1990.
CO₂ enrichment in greenhouses: problems of CO₂ acclimation and gaseous air pollutants. *Acta Hort.* 268: 81-102.
- Hemming, S., D. Waaijenberg, G. Bot, T. Dueck, C. van Dijk, A. Dieleman, E. van Rijssel, B. Houter, P. Sonneveld, F. de Zwart & N. Marissen, 2004.
Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw. Agrotechnology and Food Innovations B.V. Reportnummer 100.
- Heuvelink, E., 2007.
Ademhaling plant is nodig voor groei en onderhoud. *Onder Glas*. Nummer 11. 14-15.
- Heuvelink, E., 1995a.
Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61 (1995) 77-99.

- Heuvelink, E., 1995b.
Effect of temperature on biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Physiologia Plantarum* 94: 447±452.
- Heuvelink, E., 1996.
Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. Diss. Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Heuvelink, E., M.J. Bakker, R. Kaarsemaker & L.F.M. Marcelis, 2005.
Effect of Leaf Area on Tomato Yield. *Acta Hort.* 691: 43- 50.
- Holder, R. & K.E. Cockshull, 1990.
Effects of humidity on growth and yield of greenhouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 65: 31-39.
- Kaarsemaker, R. & H.J. van Telgen, 2006.
Stuurmogelijkheden van bladoppervlak en nutriëntenopname tomaat in de gesloten kas met behulp van matverwarming. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Report PPO 3241709200.
- Kimball, B.A. & S.T. Mitchell, 1979.
Tomato yields form CO₂-enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:515- 520.
- De Koning, A.N.M., 1994.
Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Marcelis, L.F.M., 1994.
Effect of fruit growth, temperature and irradiance on the biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 115-123.
- Marcelis, L.F.M., G. Broekhuijsen, E. Meinen, L. Nijs & M. Raaphorst, 2004.
Lichtregel in de tuinbouw. *Nota 305 Plant Research International*. Wageningen.
- Marcelis, L.F.M., A. Elings, M.J. Bakker, E. Brajeul, J.A. Dieleman, P.H.B. de Visser & E. Heuvelink, 2006.
Modelling dry matter production and partitioning in sweet pepper. *Acta Hort. (ISHS)* 718:121-128.
- Mortensen, L.M., 1984.
Photosynthetic adaptation in CO₂-enriched air and the effect of intermittent CO₂ application in greenhouse plants. *Acta. Hort.* 162: 153-158.
- Mortensen, L.M., 2004.
Growth and light utilization of pot plants at variable day-to-day irradiances. *European Journal of Horticultural Science* 69 (3). S. 89-95.
- Nederhoff, E.M., 1994.
Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Noordwijk, M. van, 1990.
Synchronization of supply and demand is necessary to increase efficiency of nutrient use in soilless culture. In: *Proc. 11th Int. Plant Nutrition Colloquium*, Wageningen.

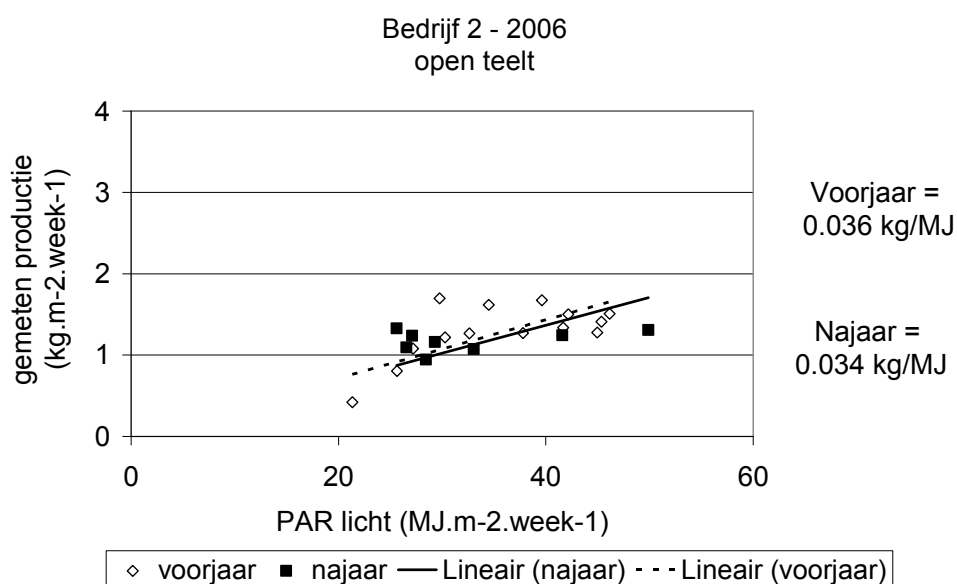
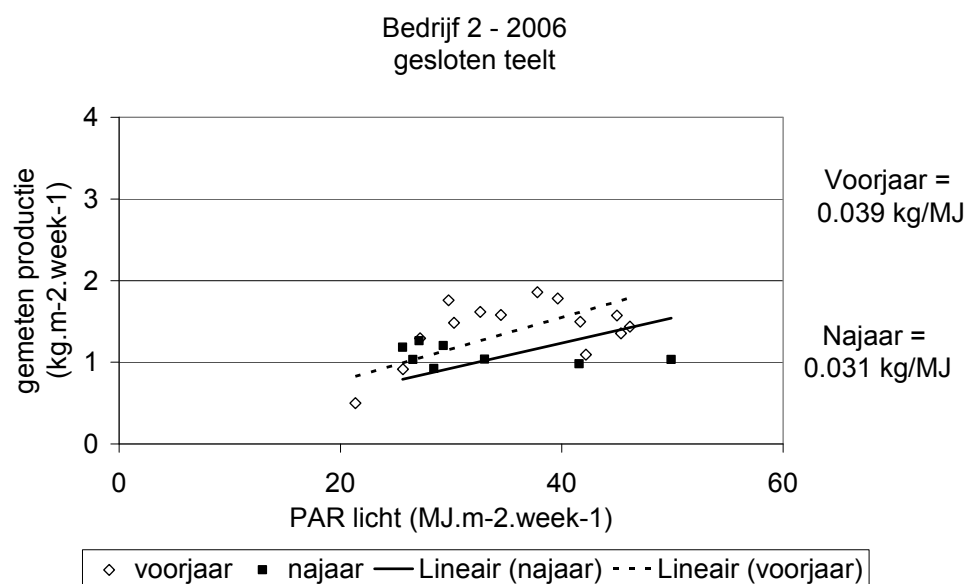
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge & A. Bakema, 1989.
Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Wageningen: PUDOC.
- PPO Bijen 2004.
Bijen en bestuiving bij bedekte teelten. Brochure.
- Pressman, E., A. Bar-tal, R. Shaked & K. Rozenfeld, 1997.
The development of tomato root System in relation to the carbohydrate status of the whole plant. *Annals of Botany* 80: 533-538.
- Preesman, E., M.M. Peet & D. Mason Pharr, 2002.
The effect of heat stress on tomato pollen characteristics is associated with changes in carbohydrate concentration in developing anthers. *Annals of Botany* 90: 631-636.
- Poorter, H. & O. Nagel, 2000.
The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review, *Aus. J. Plant Physiol.* 27 (2000), pp. 595-607.
- Poorter, H., A. van der Werf, O.K. Atkin & H. Lambers, 1991.
Respiratory energy requirements of roots vary with the potential growth rate of a plant species. *Physiol. Plant.* 83: 469-475.
- Rozendaal, D.M.A., V.H. Hurtado & L. Poorter, 2006.
Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology* 20, 207-216.
- Sato, M., M.M. Peet & J.F. Thomas, 2000.
Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic mild heat stress. *Plant, Cell and Environment* 23, 719-726.
- Spitters, C.J.T., H.A.J.M. Toussaint & J. Goudriaan, 1986.
Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. *Agric. and Forest Meteorology*, 38 217-229.
- Vermeulen, P. & N. Garcia, 2008.
Verkenning mogelijkheden om de energie-efficiënte in de rozenteelt te verbeteren. Wageningen UR Glastuinbouw. In concept.
- Visser, E.J.W. & R. Pierik, 2007.
Inhibition of root elongation by ethylene in wetland and non-wetland plant species and the impact of longitudinal ventilation. *Plant, Cell and Environment* 30: 31-18.
- Voogt, W., 1993.
Nutrient uptake of year-round tomato crops. *Acta Hort.* 339:99-112.
- Yelle, S., R.C. Beeson, M.-J. Trudel & A. Gosselin, 1990.
Duration of CO₂ enrichment influences growth, yield, and gas exchange of two tomato species, *J Amer Soc Hort Sci* 115:52-57.

Bijlage I.

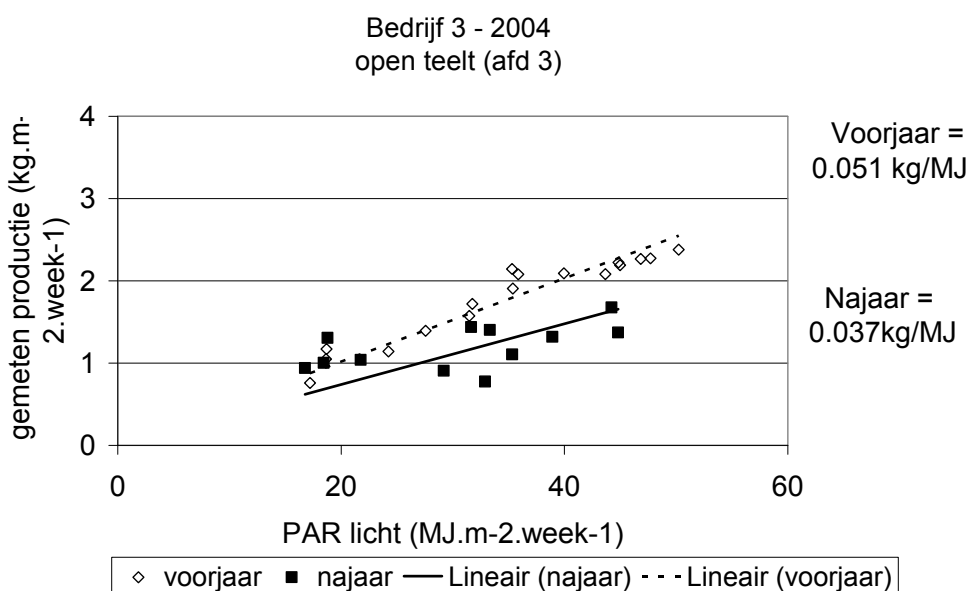
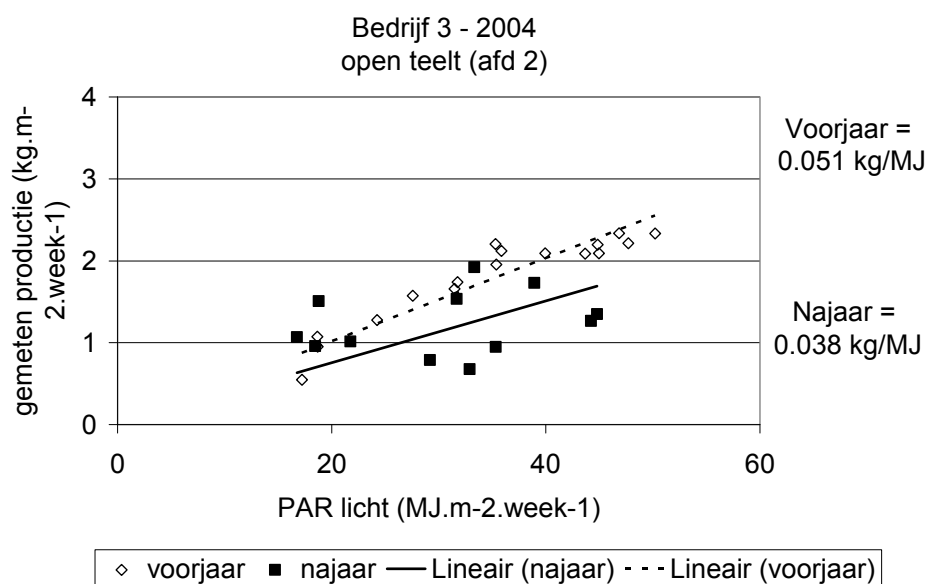
Bedrijf 1



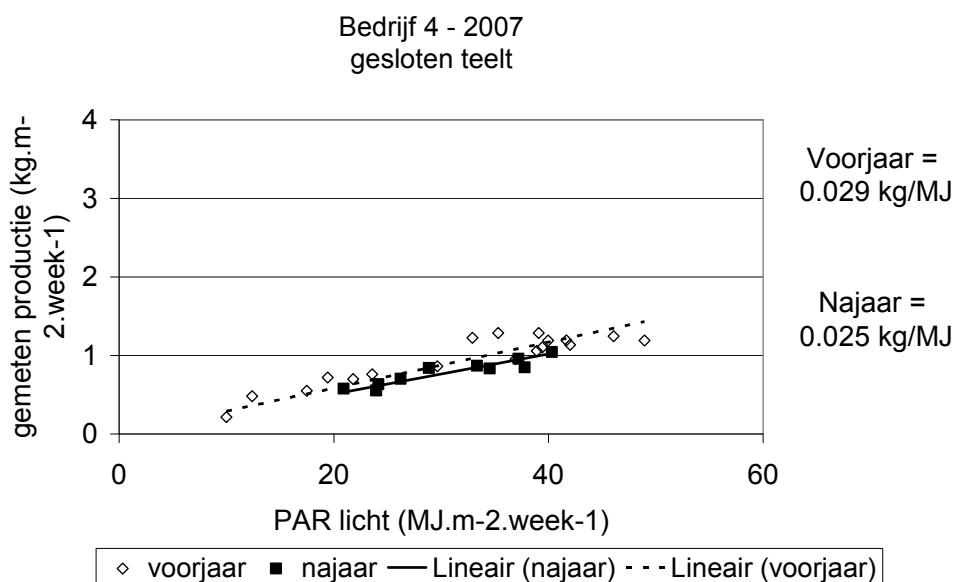
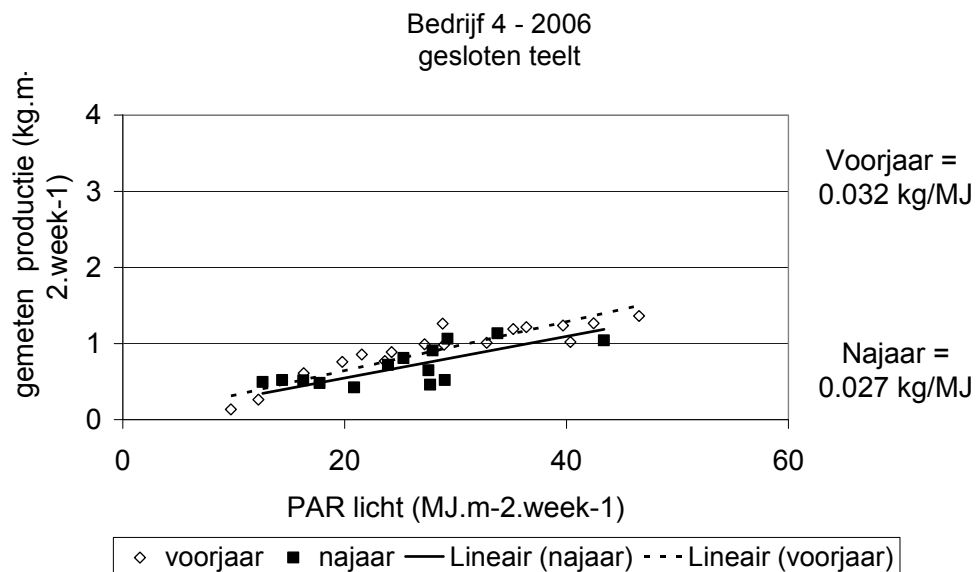
Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m^{-2}). 2005 Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.063 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.054kg versgewicht met MJ licht. 2005:Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.055kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.046kg versgewicht per MJ licht.

Bedrijf 2

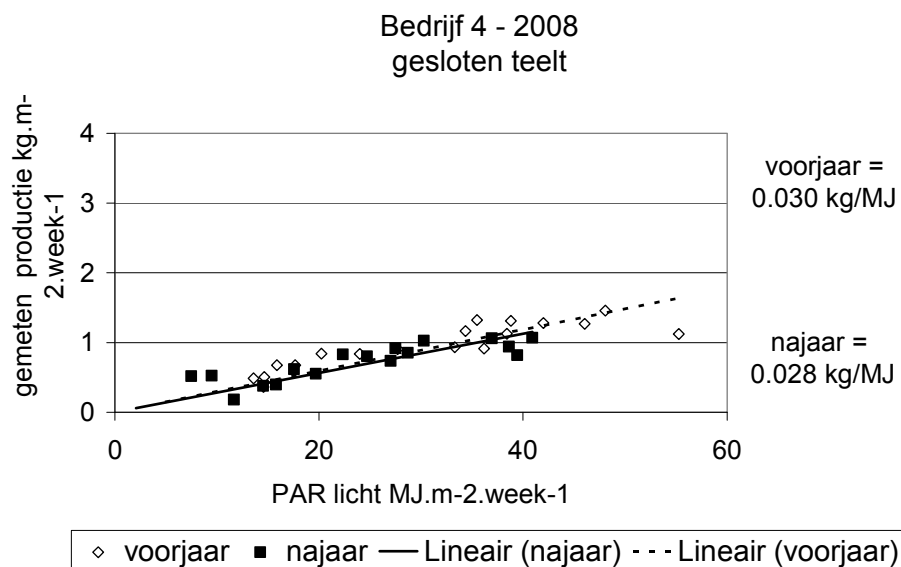
Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m^{-2}). 2006 Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.039 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.031g versgewicht met MJ licht. 2006:Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.036kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■)is de LBE 0.034kg versgewicht per MJ licht.

Bedrijf 3

Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ.m^{-2}). 2004 Afdeling 2: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.051 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.038g versgewicht per MJ licht. 2004: Afdeling 3: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.051kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.037kg versgewicht per MJ licht.

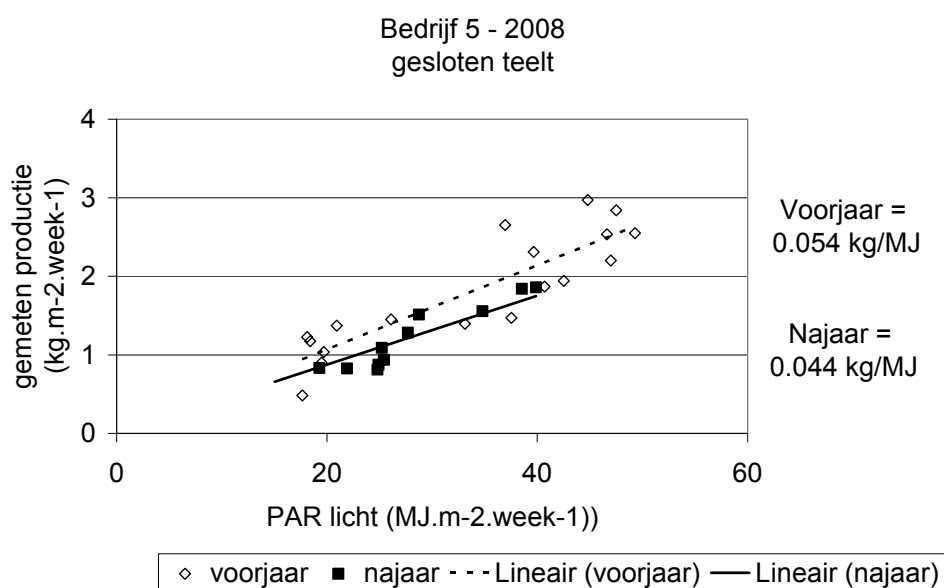
Bedrijf 4

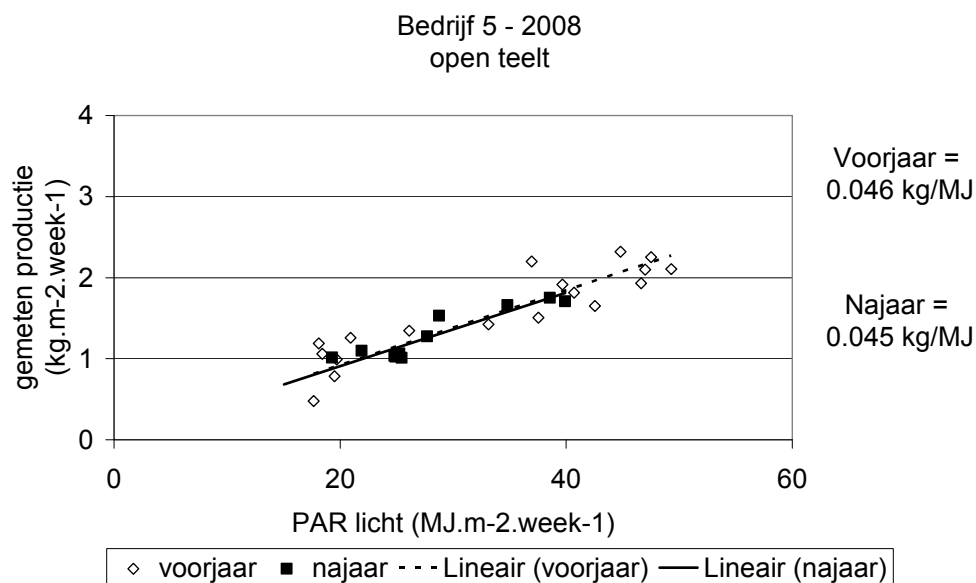
Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ.m^{-2}). 2006 Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.032 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.027kg versgewicht per MJ licht. 2007: Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.029kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.025kg versgewicht per MJ licht.



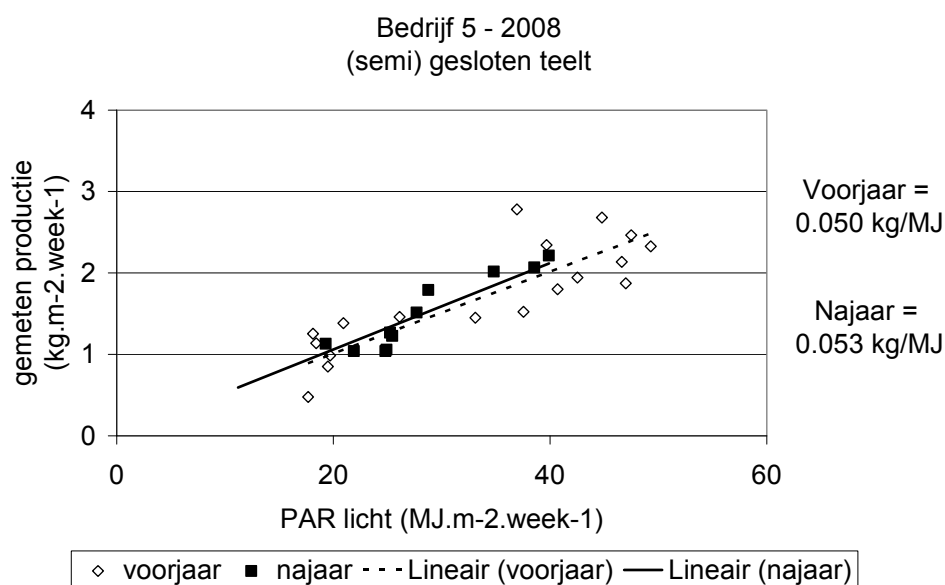
Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ.m^{-2}). 2008 Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.030 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.028 kg versgewicht per MJ licht.

Bedrijf 5



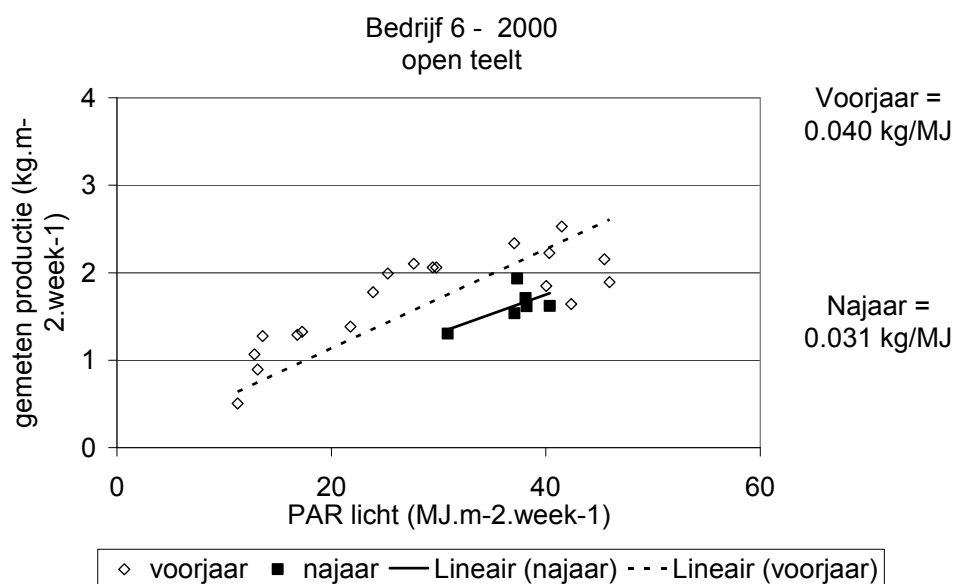


Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m^{-2}). 2008 Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.054 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.044kg versgewicht per MJ licht. 2008: Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.046kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.045kg versgewicht per MJ licht.



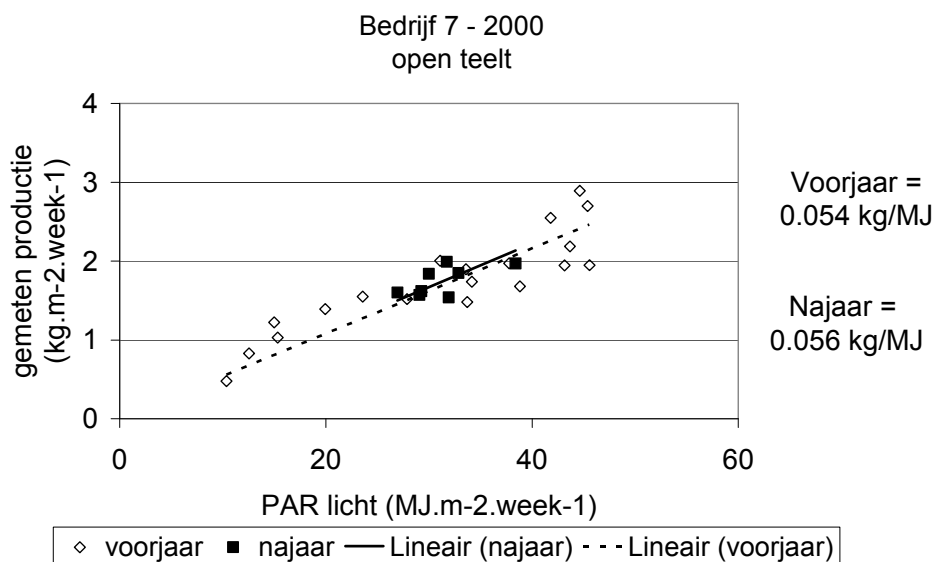
Gemeten productie per week (kg.m^{-2}) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m^{-2}). 2008 Semi -Gesloten afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.050 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.043kg versgewicht per MJ licht.

Bedrijf 6



Gemeten productie per week (kg.m²) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m²). 2000 Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.040 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.031kg versgewicht per MJ licht.

Bedrijf 7

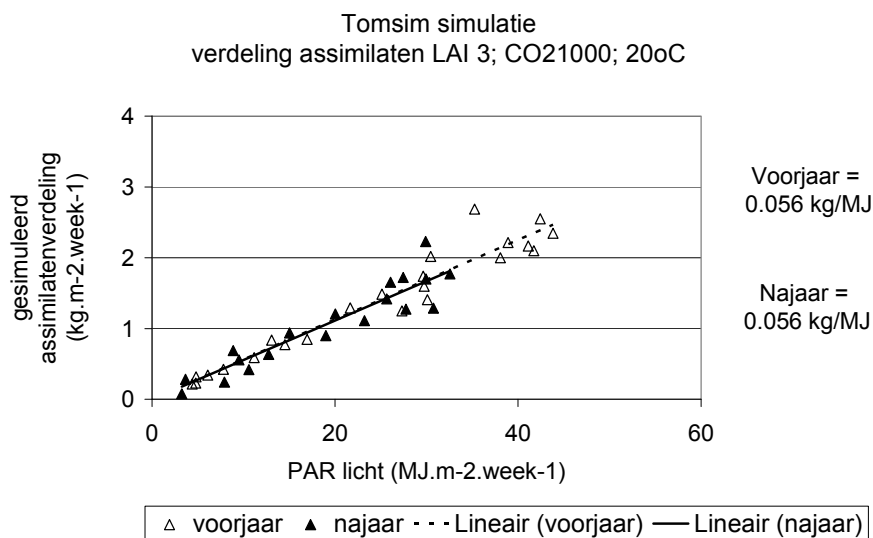


Gemeten productie per week (kg.m²) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m²). 2000 Open afdeling: In het voorjaar (◇) is de LBE 0.054 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (■) is de LBE 0.056 kg versgewicht per MJ licht.

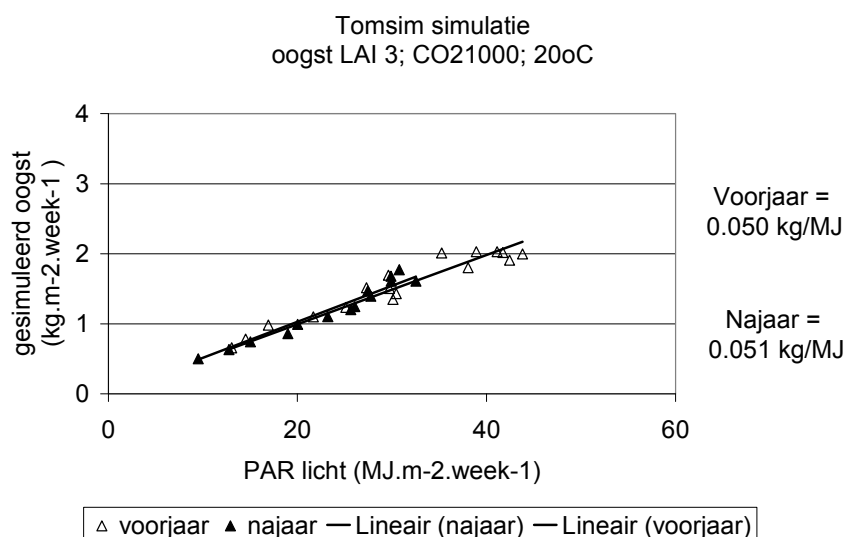
Bijlage II.

Simuleren van effect van een constante CO₂-concentratie en LAI gedurende het jaar

Voor de methodiek omschreven in 5.2 is een simulatie gemaakt van vruchtgroei en oogst gemaakt. Figuur 27 laat de verdeling van assimilaten zien en in Figuur 28 is productie gesimuleerd.



Figuur 27. Hierin is de verdeling van de assimilaten naar de vruchten gesimuleerd. Hier is geen oogst in opgenomen. Het voor- en najaar geven gelijke LBE-waardes. Hier is de assimilatenverdeling uitgezet tegen het licht van dezelfde week.



Figuur 28. Gesimuleerd (TOMSİM) productie per week (kg.m²) uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m²). In het voorjaar (Δ) is de LBE 0.050 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar ($\blacktriangle$) is de LBE 0.051 kg versgewicht per MJ licht. De oogst is vier weken eerder uitgezet dan de lichtwaardes.

Bijlage III.

LBE van gesimuleerde proefgegevens

Er is voor de bedrijven 1 , 4 en 7 een simulatie gemaakt in INTKAM. In de tabel hieronder is te zien dat de gesimuleerde afname (tussen haakjes) bij Bedrijf 1 in beide jaren een grotere terugval in de open kas geeft dan in de gesloten kas. In de gemeten waardes is dit niet het geval omdat in 2004 de open kas heeft juist minder terugval dan de gesloten kas.

Proef	LBE kg/MJ Voorjaar		LBE kg/MJ Najaar		% verlaging najaar t.o.v. voorjaar	
	Gesloten	Open	Gesloten	Open	Gesloten	Open
Bedrijf 1 2004	0.055 (0.057)	0.051 (0.049)	0.042 * (0.047) *	0.041 * (0.038) *	24 (7)	19 (22)
Bedrijf 1 2005	0.063 (0.059)	0.055 (0.049)	0.054 * (0.056) *	0.046 * (0.045) *	14 (5)	16 (8)
Bedrijf 4 2007 gesloten	0.029 (0.034)		0.025 * (0.031) *		19 (9)	
Bedrijf 7 2000 open		0.054 (0.062)		0.056 (0.060) *		+4 (3)

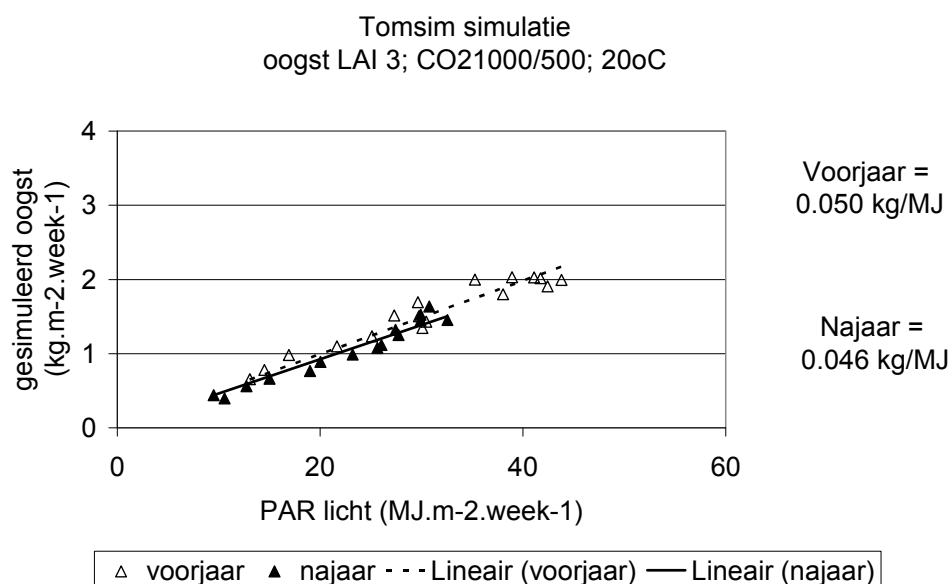
Bijlage IV.

Simuleren van effect van een lagere CO₂-concentratie of LAI in het najaar

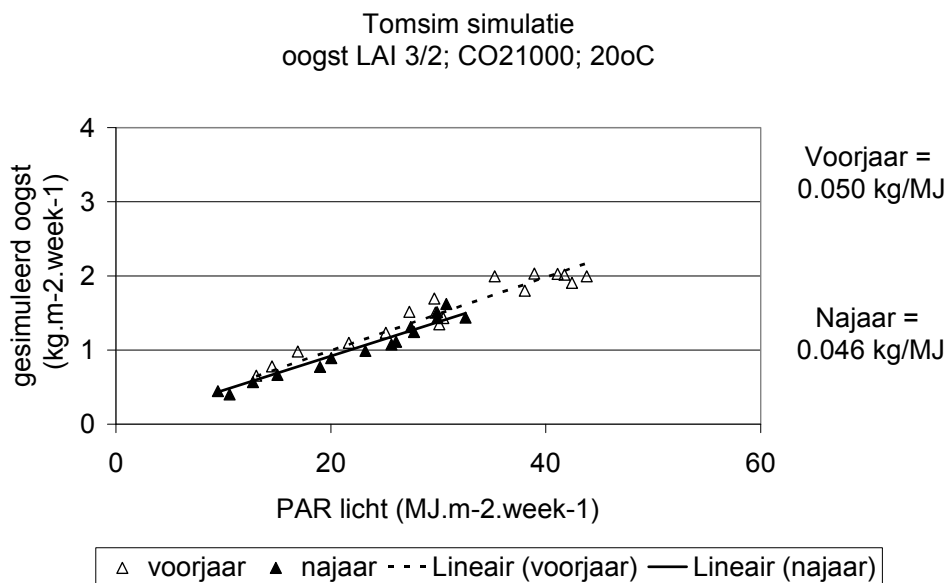
Om erachter te komen waar een terugval aan ligt, worden simulaties gedraaid in Tomsim met gebruik van een SEL-jaar maar met een nu met een lager CO₂-niveau in het najaar en een vaste LAI.

Als er in deze simulaties wel een terugval in het najaar is, dan is CO₂-concentratie wellicht van invloed. Als de CO₂-concentratie in het najaar wordt verlaagd van 1000 naar 500 ppm (Fig. 29 is de LBE in het najaar verlaagd van 0.051 (Fig. 27 met constante 1000ppm CO₂-concentratie) naar 0.046 kg per m² per MJ licht. Hoeveel effect CO₂-niveau in het najaar heeft, kan getoetst worden met simulaties maar is ook berekend (Nederhoff, 1994).

Daarna wordt hetzelfde gedaan voor LAI. Het CO₂-niveau wordt vastgezet en de LAI wordt verlaagd in het najaar. Als de LAI in het najaar wordt verlaagd van 3 naar 2 (Fig. 30 is de LBE in het najaar verlaagd van 0.051 (Fig. 28 met constante LAI van 3) naar 0.046 kg per m² per MJ licht.



Figuur 29. Gesimuleerd (TOMSIM) productie per week (kg.m²) met verlaagde CO₂-concentratie in het najaar uitgezet tegen lichtsom per week (MJ. m²). In het voorjaar (Δ) is de LBE 0.050 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar (▲) is de LBE 0.046 kg versgewicht per MJ licht.



Figuur 30. Gesimuleerd (TOMSIM) productie per week (kg.m^{-2}) met verlaagde LAI in het najaar uitgezet tegen lichtsom per week (MJ.m^{-2}). In het voorjaar (Δ) is de LBE 0.050 kg versgewicht per MJ licht. In het najaar ($\blacktriangle$) is de LBE 0.046 kg versgewicht per MJ licht.