Het regelen van de belichting op de gewasbehoefte

Een verkenning voor tomaat met de Explorer Kasklimaat

C Rappoldt, A H C M Schapendonk,
S W Hogewoning en G Trouwborst

EcoCurves rapport 22, ISSN 1872-5449 maart 2016

Het regelen van de belichting op de gewasbehoefte

De modelstudie in dit rapport is ondersteund met een consultancy-opdracht van programma Kas als Energiebron (van het Ministerie van Economische zaken).

Het regelen van de belichting op de gewasbehoefte

Een verkenning voor tomaat met de Explorer Kasklimaat

C. Rappoldt[1], A. H. C. M. Schapendonk[2], S. W. Hogewoning[3], G. Trouwborst[3]

[1]EcoCurves BV, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren
E-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

[2]Photosyntax BV, Englaan 8, 6703 EW Wageningen
E-mail: ad@photosyntax.nl

[3]Plant Lighting BV, Veilingweg 46, 3981 PC Bunnik
E-mail: info@plantlighting.nl

EcoCurves rapport 22, maart 2016

REFERAAT

C. Rappoldt, A. H. C. M. Schapendonk, S. W. Hogewoning en G. Trouwborst, 2016. *Het regelen van de belichting op de gewasbehoefte* ; *Een verkenning voor tomaat met de Explorer Kasklimaat* ; EcoCurves rapport 22, EcoCurves, Haren en Photosyntax, Wageningen. 32 blz.

In dit rapport wordt met het model Explorer Kasklimaat onderzocht of een dagelijkse regeling van de belichting kan leiden tot een besparing op electrische energie. Het seizoensverloop van de assimilatenbehoefte van het gewas is geschat door met volledige belichting 58 seizoenen te simuleren tussen 1957–1958 en 2014–2015. Gedurende het belichtingsseizoen verandert de assimilatenbehoefte volgens een vrijwel vast patroon. Dat biedt de mogelijkheid om met behulp van een weersvoorspelling aan het begin van elke dag de belichting zodanig af te regelen dat de productie van assimilaten de assimilatenbehoefte niet overschrijdt. Ten opzichte van een teelt van Tourance met een dagelijkse belichting van 18 uur levert dat een besparing op van $100 \pm 6\,\mathrm{kWh\,m^{-2}}$, meer dan een kwart van het verbruik. Deze besparing gaat ten koste van de totale vruchtgroei die met $1.7 \pm 0.5\,\mathrm{kg\,m^{-2}}$ vermindert en een extra warmteverbruik van $169 \pm 9\,\mathrm{MJ\,m^{-2}}$. De standaarddeviaties zijn een maat voor de verschillen tussen de 58 gesimuleerde seizoenen. De periode waarin assimilaten beschikbaar zijn voor groei en onderhoud speelt bij de grootte van de besparing een belangrijke rol. Proeven zullen moeten uitwijzen wat de beste strategie is om de besparing te realiseren, een goed belichtingsplan of een dynamische regeling van de dagelijkse belichting.

Trefwoorden: kasteelt, sturing, Tourance, assimilatenbehoefte, simulatie, energiebesparing, daglichtdrempel

ISSN 1872-5449

© 2016 EcoCurves BV & Photosyntax BV
Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren (gn), Nederland
Tel.: 050 5370979; e–mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

Voorplaat: “Belichting”

EcoCurves BV, Photosyntax BV en Plant Lighting BV zijn niet aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de gegevens en de modelresultaten in dit rapport.

[This document has been created using the LaTeX typesetting system]

Inhoudsopgave

Lijst figuren **6**

1 Inleiding **7**
1.1 Lichtintegratie en assimilaten integratie . . . 7
1.2 Modelstudie . . . 8
1.3 De assimilatenbehoefte . . . 8
1.4 Wat wordt berekend? . . . 9
1.5 Beperkingen . . . 9

2 Het gebruikte model **11**
2.1 Teeltrapport . . . 13
2.1.1 Oogst en totale vruchtgroei . . . 15
2.1.2 De belichting . . . 15
2.1.3 De source sink verhouding . . . 15
2.1.4 De temperatuur . . . 15

3 Modelstudie **17**
3.1 De assimilatenbehoefte . . . 17
3.2 Sturing van belichting op de assimilaten behoefte . . . 20
3.2.1 Voorbeeld: seizoen 2014–2015 in detail . . . 20
3.2.2 De gemiddelde besparing . . . 22

4 Discussie **25**
4.1 Model parameters . . . 25
4.2 Waar komt het verlies in vruchtgroei vandaan? . . . 26
4.3 Het begin van de teelt . . . 28
4.4 Het realiseren van de besparing . . . 28

Referenties **30**

Lijst van figuren

1.1 Lichtrespons van de fotosynthese van een tomatenblad 8

2.1 ICproef: Komeett oogst gesimuleerd net de Explorer Kasklimaat . . 11
2.2 ICproef: Gesimuleerd kasklimaat voor 2 dagen in februari 12
2.3 ICproef: Gesimuleerd Energiegebruik 13
2.4 Tourance teeltrapport 2014–2015 voor volle belichting 15

3.1 Totale vruchtgroei gesimuleerd voor 58 seizoenen tussen 1957 en 2014 18
3.2 Energiegebruik gesimuleerd voor 58 seizoenen tussen 1957 en 2014 . 18
3.3 Assimilatenbehoefte voor 58 seizoenen tussen 1957 en 2014 19
3.4 Tourance teeltrapport 2014–2015 voor gestuurde belichting 20
3.5 Gestuurde belichting in detail 23

4.1 Gebruik van assimilaten in detail 26

Hoofdstuk 1

Inleiding

Een belangrijk kenmerk van het klimaat in Nederland is de afwisseling tussen periodes met veel zon en weinig zon. Deze lichte en donkere periodes duren in het algemeen meerdere dagen en soms ook een week of langer.

Dat betekent dat teelt en belichting zodanig moet worden ontworpen dat er geen grote problemen ontstaan in een periode met donker weer. Maar het betekent ook dat de assimilatie tijdens een periode met veel licht zo groot kan zijn dat een deel van de geproduceerde assimilaten niet ten goede komt aan de oogst maar wordt gefixeerd in de stengel. De periode waarin geproduceerde assimilaten mobiel zijn in de plant en beschikbaar zijn voor groei is vermoedelijk één of enkele dagen dagen.

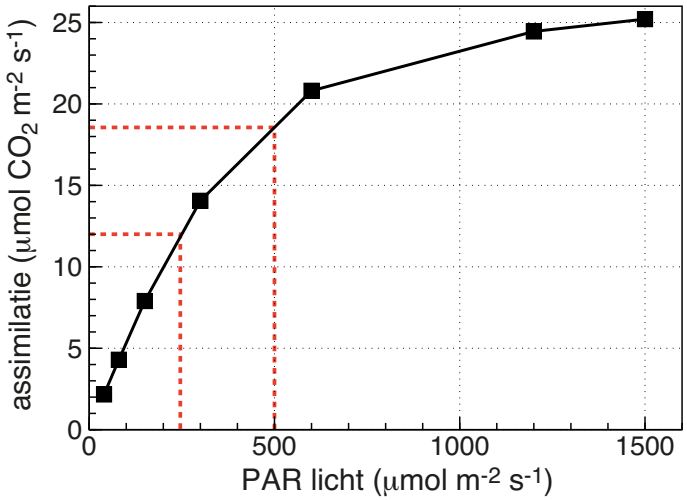
Dat betekent dat een overschot aan assimilaten geproduceerd op een lichte dag benut kan worden op een volgende donkere dag. Dat biedt de mogelijkheid om te bezuinigen op de belichting op basis van voorspeld weer. Als de behoefte van het gewas bekend is en we van tevoren weten dat het een lichte dag wordt dan kan de belichting overdag geheel of gedeeltelijk vervallen. Extra geproduceerde assimilaten zouden immers slechts gefixeerd worden in de stengel en niet ten goede komen aan de oogst.

1.1 Lichtintegratie en assimilaten integratie

Een tot nu toe ontwikkeld concept om te besparen op electra is "lichtintegratie". De lichtbehoefte van het gewas wordt dan van te voren ingeschat en de natuurlijke instraling wordt gemeten. Afhankelijk van de lichtsom (daglicht plus lamplicht) binnen een zeker tijdsinterval (enige dagen tot een week), wordt het aantal uren bepaald dat bijbelicht moet worden.

Een probleem met lichtintegratie is dat dat de hoeveelheid licht niet evenredig is met de fotosynthese of assimilatenproductie. In Figuur 1.1 wordt daarvan een voorbeeld gegeven voor een tomatenblad. Een lichtintensiteit van 250 μmol m^{-2} s^{-1} levert volgens deze metingen een fotosynthese van 12 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. De dubbele lichtintensiteit van 500 μmol m^{-2} s^{-1} levert echter geen $2\times12=24$ maar slechts 18 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}.

Met andere woorden, bij gelijke lichtsom is een korte periode met hoge lichtintensiteit minder effectief dan een langere periode met lage intensiteit. De lichtsom kan dus niet één op éénm vertaald worden in de assimilatensom terwijl dit wel het doel is van het gebruik van de lichtintegratie voor energiebesparing. Hierdoor zullen telers lichtintegratie altijd conservatief inzetten, en daarmee dus potentiële



Figuur 1.1. Lichtrespons van de fotosynthese van een tomatenblad. De assimilatie is niet evenredig met de lichtintensiteit, maar vlakt af.

besparing laten liggen. Vooral in de periode oktober–november en februari–april, als de lichtintensiteiten overdag aanzienlijk kunnen oplopen, zal de lichtsom niet evenredig zijn met de assimilatensom.

De stap van belichting op basis van lichtsom naar belichting op basis van assimilatensom zal een grote stap betekenen voor HNT. Een betrouwbare inschatting van de gewasproductiviteit geeft kwekers het vertrouwen om alleen de belichting aan te zetten als dat zinvol is. Deze modelstudie is een verkenning van de mogelijkheden om het assimilatenaanbod af te stemmen op de assimilatenbehoefte van het gewas.

1.2 Modelstudie

De modelstudie in dit rapport is uitgevoerd met Explorer Kasklimaat voor tomaat. Dat model is een virtuele kas waarin de fotosynthese, de gewasontwikkeling, de groei van de vruchten, het kasklimaat, de verwarming en de ventilatie worden gesimuleerd op basis van het buitenweer en de setpoints voor het kasklimaat. Het resultaat van de simulatie is een tomatenoogst met bijbehorend energiegebruik.

De berekeningen zijn gedaan met het model dat ook gebruikt is bij een studie naar LED belichting in Het Nieuwe Telen (Rappoldt & Schapendonk, 2012). In die studie zijn de gesimuleerde oogst en het gesimuleerde energiegebruik vergeleken met proefresultaten. In Hoofdstuk 2 van dit rapport worden nog enkele resultaten opnieuw weergegeven.

Het tomatenras waarvoor de modelstudie in dit rapport is gedaan is Tourance. De simulaties zijn opgezet met behulp van gewasparameters en teeltgegevens van Zwinkels Tomaten in 's-Gravenzande, waarvoor dank aan Hans Zwinkels.

1.3 De assimilatenbehoefte

Een belangrijk element van de modelstudie is de constatering dat de assimilatenbehoefte slechts langzaam verandert gedurende de teelt. De assimilatenbehoefte wordt immers grotendeels bepaald door de sink van bladeren, stengels, wortels en

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

vruchten die wordt beïnvloed door de temperatuur.

Een consistente schatting van de assimilatenbehoefte wordt bepaald door eerst met volledige belichting de teelt door te rekenen voor 58 verschillende jaren buitenweer. Het gemiddelde verloop van de assimilatenbehoefte wordt daarna gebruikt als een "blauwdruk" voor de teelt.

1.4 Wat wordt berekend?

We kunnen nu een simulatie doen van de teelt en aan het begin van iedere gesimuleerde dag uitrekenen wat de assimilatensom voor die dag gaat worden bij volle belichting. Is die assimilatensom hoger dan de assimilatenbehoefte dan kan de belichting voor die dag worden gereduceerd.

De reductie vindt plaats door middel van een berekende daglicht drempel die ervoor zorgt dat de lampen uit zijn als er veel daglicht is (dan zijn de lampen ook minder effectief). De drempel wordt dus berekend uit de assimilatenbehoefte en het voorspelde weer zodanig dat er niet méér wordt geproduceerd dan nodig. In extreme gevallen kan de belichting overdag helemaal vervallen. Dan wordt de nachtelijke belichtingsduur aangepast aan het resterende overschot.

We gaan er daarbij van uit dat we het weer nauwkeurig kunnen voorspellen. In de simulatie gebruiken we een perfecte "voorspelling", namelijk gewoon het geregistreerde weer van de komende dag.

De vraag is nu: Hoeveel electriciteit kan op deze wijze bespaard worden en ten koste van hoeveel opbrengst gaat dat? Helemaal zonder opbrengstverlies zal het niet gaan, al was het maar omdat soms een bepaalde hoeveelheid wegbezuinigde assimilaten toch gebruikt had kunnen worden bij donker weer op de volgende dag of later. Een onzekere factor is hoelang opgeslagen assimilaten beschikbaar zijn voor remobilisatie. Simulatie van het hele proces is een goede manier om de mogelijkheden tot besparing te verkennen.

1.5 Beperkingen

Aan enkele belangrijke factoren wordt in deze korte studie geen aandacht besteed. In de eerste plaats is dat de kwaliteit van het voorspelde weer. Die is perfect in deze studie omdat het weer van begin tot eind bekend was, maar in werkelijkheid is er natuurlijk een onzekerheid. Deze onzekerheid zal leiden tot een hoger opbrengstverlies of een kleinere besparing.

We hebben ons verder beperkt tot het regelen van de belichting op de gewasbehoefte voor de dag die direct volgt op de nachtelijke belichting. Dat wil zeggen dat we geen rekening houden met de mogelijkheid van extra productie die pas "morgen" door de plant gebruikt wordt. Afhankelijk van de periode waarin assimilaten mobiel blijven kan het interessant zijn om op een iets langere termijn dan één dag te regelen, maar dat is in deze verkennende studie nog niet gedaan.

De mogelijke besparing zal afhangen van de periode waarin assimilaten bruikbaar blijven in de plant. Is die periode wezenlijk groter dan enkele dagen dan kan er immers geproduceerd worden voor donkere dagen die later komen. Zeker is dat assimilaten gefixeerd raken in de stengel, maar hoe snel dat gebeurt weten we niet. Uiteindelijk zijn er dus gerichte proeven nodig om dat na te gaan en om daarmee dan te weten te komen wat er echt mogelijk is.

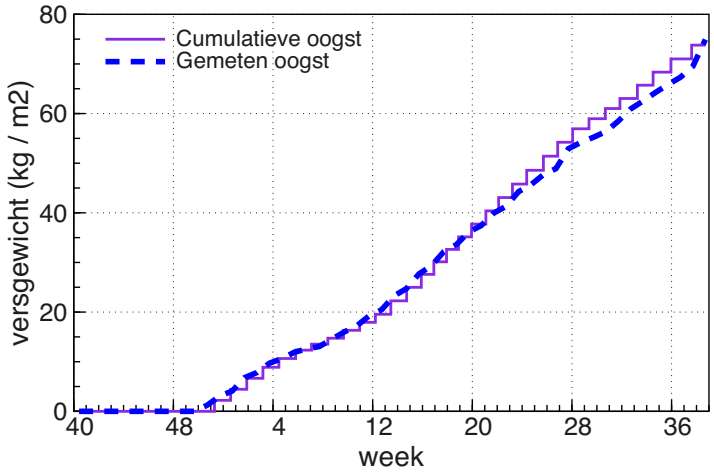
© 2016 EcoCurves en Photosyntax

Hoofdstuk 2

Het gebruikte model

Het model dat we gebruiken is het Explorer Kasklimaat model voor tomatenteelt. Het gebruikte buitenweer is het uurlijks weer voor De Bilt van het KNMI[1] waarin vanaf 1957 ook de gemeten uurlijkse straling aanwezig is.

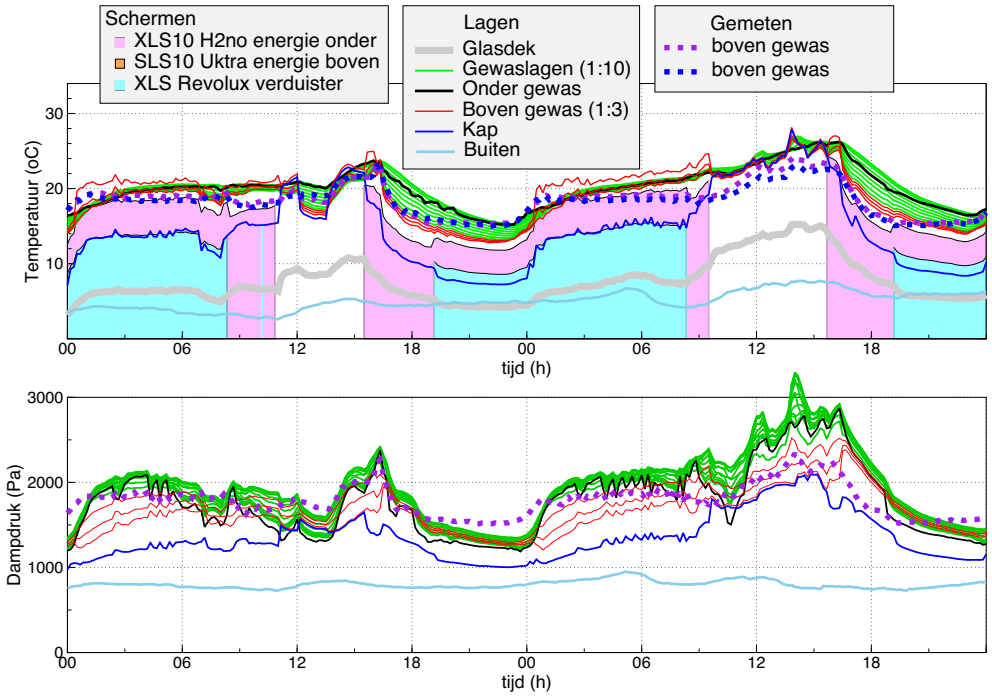
Het model vormt een complete virtuele kas en simuleert de lichtabsorptie, de groei en ontwikkeling van planten en vruchten, de temperaturen en vochtgehaltes in de kas, de belichting, de verwarming, de ventilatie en het schermgebruik. De input bestaat uit het weer buiten de kas en de setpoints voor belichting en regeling van het kasklimaat. Het model bevat dus ook een virtuele klimaatcomputer die het kasklimaat regelt op basis van de gegeven setpoints. De uitkomst van de simulatie is een oogst en het energiegebruik.



Figuur 2.1. Komeett oogst gesimuleerd met de virtuele kas van de Explorer Kasklimaat. De in de proef van 2010–2011 gemeten oogst is weergegeven als een stippellijn.

Ter illustratie geven we hier nog enkele resultaten weer uit Rappoldt & Schapendonk (2012). In dat rapport is een proef met het ras Komeett geanalyseerd die is uitgevoerd op het Improvement Center in Bleiswijk in het seizoen 2010–2011 (zie Dueck *et al.*, 2011). In Figuur 2.1 wordt de gesimuleerde tomatenoogst vergeleken

[1] Zie https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens. Opmerking van het KNMI: door stationsverplaatsingen en veranderingen in waarneemmethodieken zijn deze tijdreeksen van uurwaarden mogelijk inhomogeen! Dat betekent dat deze reeks van gemeten waarden niet geschikt is voor trendanalyse.



Figuur 2.2. Kasklimaat gesimuleerd met het Explorer Kasklimaat model voor 2 en 3 februari 2011 (Rappoldt & Schapendonk, 2012, Figuur 3.4). De temperaturen en dampdrukken zijn berekend met de geregistreerde schermstanden, verwarming en ventilatie, en worden vergeleken met de boven het gewas gemeten temperatuur en dampdruk.

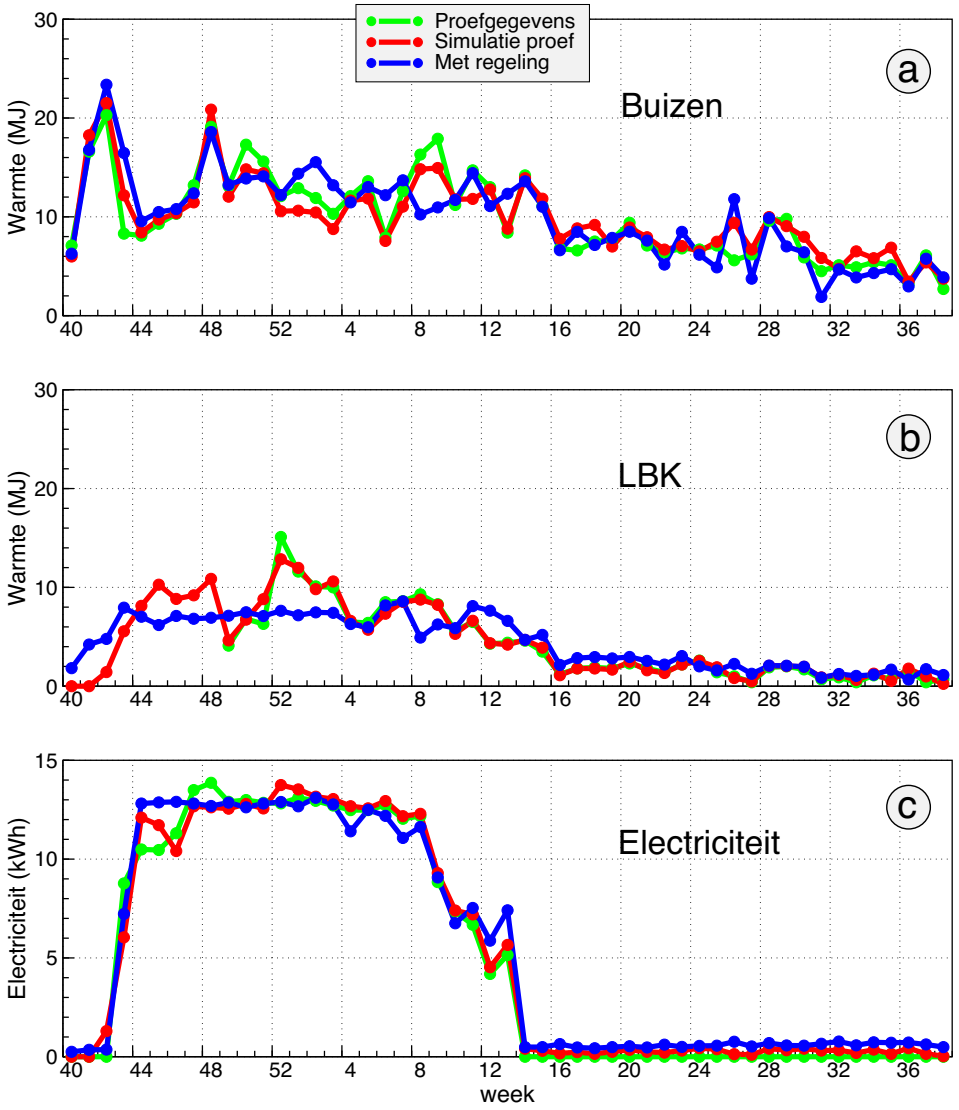
met de gemeten oogst. In Figuur 2.2 wordt gesimuleerd kasklimaat vergeleken met gemeten waarden. En tenslotte wordt in Figuur 2.3 het gesimuleerde energiegebruik vergeleken met gemeten waarden. Zowel het verloop van de vruchtgroei, het gesimuleerde kasklimaat als het gesimuleerde energiegebruik zijn in overeenstemming met de proefresultaten. Dat geeft aan dat de simulaties een realsitisch beeld geven van een tomatenteelt.

De ten behoeve van dit rapport gebruikte parameters en instellingen voor de teelt van Tourance zijn gebaseerd op mededelingen van Hans Zwinkels van Zwinkels Tomaten in 's-Gravenzande. Zijn opgaves voor

- de periode van de teelt, 353 dagen vanaf week 43 (24 oktober),
- het aantal bladeren op de plantdatum, 10 met 1 bloem,
- het weghalen van bladeren, elk derde blad,
- het aantal stengels, $2.5\,\mathrm{m}^{-2}$,
- de datums waarop extra stengels worden aangehouden, week 51 en week 4,
- vruchtgewicht, 115 g,
- temperatuur regime, etmaal 19.5°C, voornacht 15°C, nanacht 19°C, in de zomer is de etmaal temperatuur hoger,
- CO_2 regime, 's nachts 600 ppm en overdag 900 ppm,
- belichting, vanaf 25 oktober t/m 31 maart (158 dagen) met $200\,\mu\mathrm{mol}\,\mathrm{m}^{-2}\,\mathrm{s}^{-1}$ van 0:00 tot 18:00 uur,
- verduisteringsdoek, 's nachts

zijn overgenomen in het model. Verder zijn fotosynthese parameters voor Tourance gebruikt zoals bepaald door Plant Lighting op basis van metingen aan tomaat op verschillende tijdstippen in het jaar en voor verschillende hoogtes in het gewas.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax



Figuur 2.3. Gemeten en gesimuleerd energiegebruik van de tomatenteelt in de IC proef van 2010–2011. Het energiegebruik is opgesplitst in (a) buiswarmte, (b) luchtbehandeling en (c) electriciteit. Er zijn drie afzonderlijke berekeningen weergegeven. (1) "proefgegevens" (groen): het gemeten energiegebruik, (2) "simulatie proef" (rood): het energiegebruik berekend op basis van de geregistreerde standen van verwarming, schermen en ventilatie en (3) "met regeling" (blauw): geheel gesimuleerd met behulp van de virtuele klimaatcomputer op basis van alleen het buitenweer en de setpoints. Zie voor nadere toelichting Rappoldt & Schapendonk (2012, Figuur 4.4).

2.1 Teeltrapport

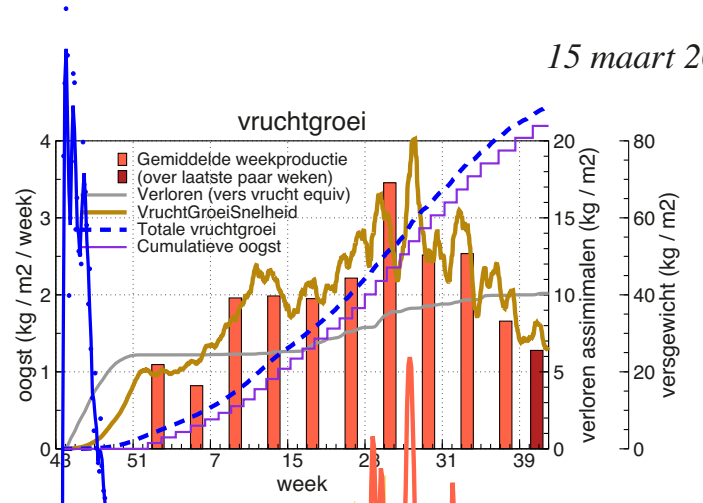
Het explorer model produceert van een gesimuleerde teelt een zogenaamd "Teeltrapport". Dat is een bladzijde op A4 formaat waarop de belangrijkste resultaten worden weergegeven. In Figuur 2.4 op de volgende bladzijde is het teeltrapport te vinden voor de Tourance teelt in seizoen 2014–2015. Hieronder worden enkele details van dit teeltrapport toegelicht.

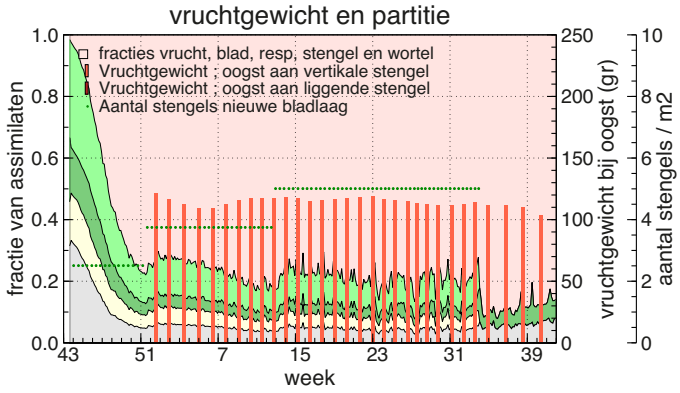
© 2016 EcoCurves en Photosyntax

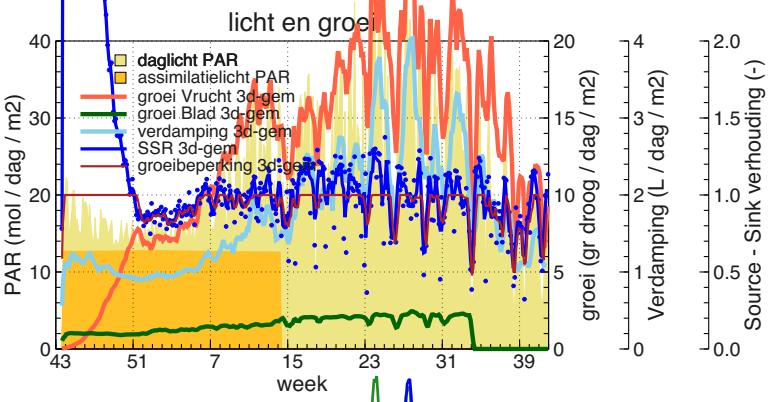
Teeltrapport Explorer Kasklimaat 2.60

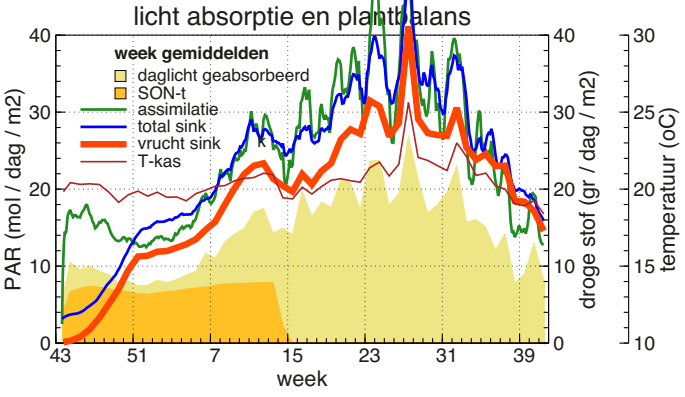
Tourance 2014-2015

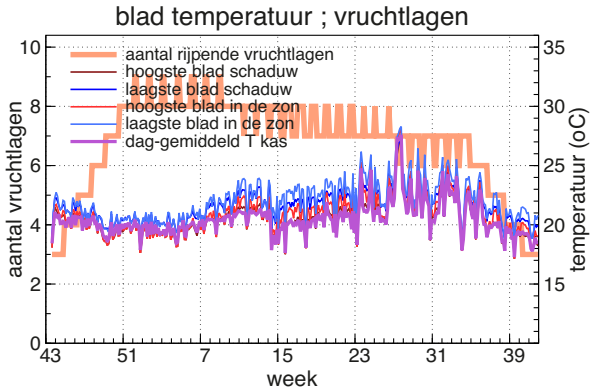
15 maart 2016, 10:01











Oogst en totaal energie

Waarde	Omschrijving met eenheid
83.882	totaal geoogst (kg/m2)
677.84	gemiddeld trosgewicht (gr)
114.13	gemiddeld vruchtgewicht (gr)
123.75	aantal trossen (1/m2)
735.0	aantal vruchten (1/m2)
89.051	rijping (kg/m2)
529.63	warmte (MJ/m2)
369.04	belichting (kWh/m2)

Periode gemiddelden

Waarde	Omschrijving met eenheid
50.429	weken, dat is vanaf
353.0	dagen voor einde teelt
1.7353	gemiddelde verdamping (kg/d)
2.1813	bladlagen per week
1.0357	source-Sink ratio
1.7659	rijping (kg/m2 vers/week)
21.727	gewaslicht (Mol PAR/d)
14.273	absorbed (Mol PAR/d)
11.611	Efficiency gewaslicht (gr vers/Mol PAR)
17.674	Efficiency geabsorbeerd (gr vers/Mol PAR)

Parameters Belichting

Waarde	Omschrijving met eenheid
200.0	SON-t lampen (uMol/m2/s)
0.0	LED belichting (uMol/m2/s)
18.0	kloktijd einde belichting (h)
900.0	daglicht drempel (W/m2)
10.0	bij zoveel daaronder lampen weer aan

photosyntax

Calculated with FST Plus 4.15
Linked with the Explorer Library 3.50
File: control_rep_001_Overzicht.eps, page 1
© 2008-2016 EcoCurves BV & Photosyntax BV.

EcoCurves

Figuur 2.4. (hiernaast op bladzijde 14) Tourance teeltrapport met simulatie resultaten voor seizoen 2014–2015 voor volle belichting. Enkele grafieken worden in de secties 2.1.1 t/m 2.1.4 toegelicht. In de bovenste tabel zijn de oogst, het gemiddeld trosgewicht, het gemiddeld vruchtgewicht, het warmtegebruik en de voor de belichting gebruikte electrische energie te vinden. Ook de periode gemiddelden in de tweede tabel hebben betrekking op de gehele teelt omdat de periode is ingesteld op de complete teeltduur.

2.1.1 Oogst en totale vruchtgroei

In de "vruchtgroei" grafieken links boven staat het oogstverloop als een getrapte paarse lijn. Aan het eind van de teelt in week 41 van 2015 staat deze lijn op een totaal oogstgewicht van 83.9 $\mathrm{kg\,m^{-2}}$ met een gemiddeld vruchtgewicht[2] van 114 g.

Het getrapte verloop van de oogst onstaat doordat in het model geen verschillen tussen planten worden gesimuleerd. Dus elke keer als er een tros rijp is wordt die geplukt en schiet de oogstlijn iets omhoog. Als we verschillende modelruns met elkaar vergelijken, bijvoorbeeld met een verschillende belichting, vooroorzaakt dit trapvormige oogstverloop een zekere grilligheid in de resultaten. Immers, als een tros *net voor het einde* van de simulatie geplukt wordt dan kan een minuscuul verschil in groeisnelheid of vruchtontwikkeling ervoor zorgen dat dat *net niet meer* gebeurt. Dat heeft dan een relatief groot effect heeft op de berekende oogst, terwijl het verschil tussen de runs eigenlijk verwaarloosbaar klein is.

Om die reden is het beter om in vergelijkende berekeningen niet de eigenlijke oogst maar de "totale vruchtgroei" of "rijping" te gebruiken. Dat is een geleidelijk oplopende hoeveelheid (de blauwe, gestreepte curve in de grafiek "vruchtgroei") waarin de hele vruchtontwikkeling wordt meegenomen en niet alleen dat laatste moment van oogst. Nadeel is dat de totale vruchtgroei altijd een paar kilo hoger is dan de oogst.

2.1.2 De belichting

De belichting is te zien in de grafiek "licht en groei" als een donker gele band tussen week 43 en week 14. Het lichtgele vlak is het daglicht en duidelijk is te zien dat dat in de winter niet veel voorstelt, maar vanaf week 10 snel oploopt.

2.1.3 De source sink verhouding

In de grafiek "licht en groei" is aan het begin van de teelt een hoge piek te zien van de source-sink verhouding (de blauwe lijn). Dat komt doordat de gewasbehoefte in het begin laag is en de gesimuleerde volledige belichting leidt dan tot een teveel aan assimilaten (de grijze lijn). Het gaat daarbij tot de eerste oogst in week 52 om een hoeveelheid equivalent aan ongeveer 6 kg vruchten[3].

2.1.4 De temperatuur

De gemiddelde dagtemperatuur in de gesimuleerde kas is te zien als de paarse lijn in grafiek "bladtemperatuur ; vruchtlagen". De curve ligt in het begin van de teelt

[2] zie de tomaatrode staafjes in grafiek "vruchtgewicht en partitie" af te lezen op de as "vruchtgewicht bij oogst"

[3] zie de grijze curve in grafiek "vruchtgroei" af te lezen op de as "verloren assimilaten".

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

iets onder de 20 ^{o}C en laat in de zomer een wat hogere temperatuur zien. Dat kan ook want de hoeveelheid assimilaten is in de zomer zo groot dat bladafsplitsing en vruchtgroei sneller kunnen plaatsvinden.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

Hoofdstuk 3

Modelstudie

In dit hoofdstuk gebruiken we het model uit Hoofdstuk 2 om een schatting te maken van de besparing die mogelijk is door de belichting af te stemmen op de assimilatenbehoefte.

We berekenen de assimilatenbehoefte als een gemiddelde met behulp van weergegevens tussen 1957 en 2015. Vervolgens simuleren we het regelen van de belichting in al die jaren, berekenen de mogelijke besparing en wat dat aan opbrengst kost.

3.1 De assimilatenbehoefte

De assimilatenbehoefte zouden we voor een echte teelt kunnen berekenen op basis van gewaswaarnemingen: het aantal trossen, het aantal vruchten per tros, de temperaturen in de kas, etc.

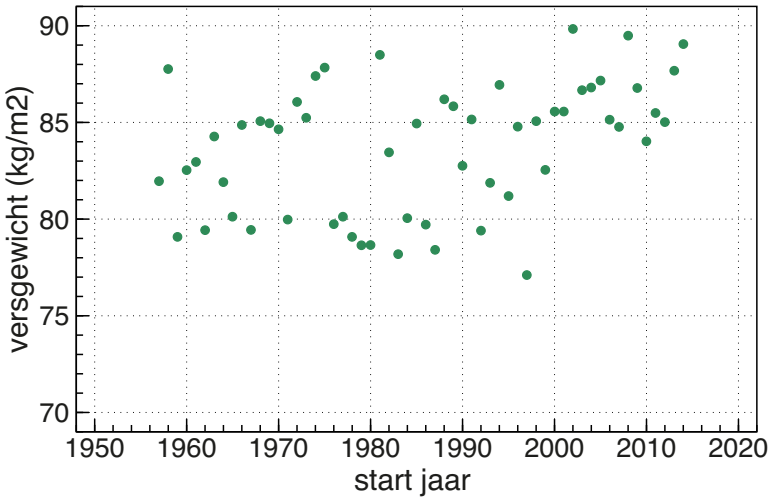
Echter, voor een gegeven startdatum volgt de assimilatenbehoefte eigenlijk een vast patroon: In het begin neemt de behoefte snel toe totdat het volledig aantal vruchtlagen bereikt is. De behoefte neemt dan verder toe als er extra stengels bij komen en in de zomer is de behoefte nog wat hoger als de temperaturen in de kas oplopen en de doorloopsnelheid van de vruchten daardoor omhoog gaat.

Om dit vaste verloop van de assimilatenbehoefte te berekenen hebben we simulaties gedaan voor 58 seizoenen, te beginnen bij 1957–1958 en eindigend bij 2014–2015. Voor elk van deze 58 seizoenen hebben we het model uit Hoofdstuk 2 laten rekenen met het weer van De Bilt voor dat seizoen. Dat resulteert in 58 teeltrapporten zoals die in Figuur 2.4 op bladzijde 14, elk met een oogst, een totale vruchtgroei ("rijping") en een energiegebruik.

Alle 58 simulaties zijn gedaan met een vaste belichting van 200 μmol m^{-2} s^{-1} tussen 00:00 en 18:00 uur tijdens een periode van 158 dagen vanaf het begin van de teelt. Figuur 3.1 laat de totale vruchtgroei zien voor de 58 simulaties. Het laatste punt in de grafiek is voor seizoen 2014–2015 en komt overeen met de totale vruchtgroei ("rijping") van 89.05 kg m^{-2} in Figuur 2.4 op bladzijde 14. Het gemiddelde over de 58 seizoenen is 83.7 kg m^{-2}.

Het is verleidelijk om in de figuur een trend te zien naar hogere opbrengsten tengevolge van klimaatverandering. Daar moeten we hier echter uitdrukkelijk tegen waarschuwen omdat de gebruikte weersgegevens mogelijk inhomogeen zijn[1].

[1] Opmerking van het KNMI in de gedownloade datafiles: "*door stationsverplaatsingen en veranderingen in waarneemmethodieken zijn deze tijdreeksen van uurwaarden mogelijk inhomogeen! Dat betekent dat deze reeks van gemeten waarden niet geschikt is voor trendanalyse*". De grootte van de door inhomogeniteit veroorzaakte afwijkingen kennen wij niet. Trendanalyse van de oogst is vermoedelijk mogelijk als meerdere weerstations worden gebruikt maar dat is hier niet gedaan.

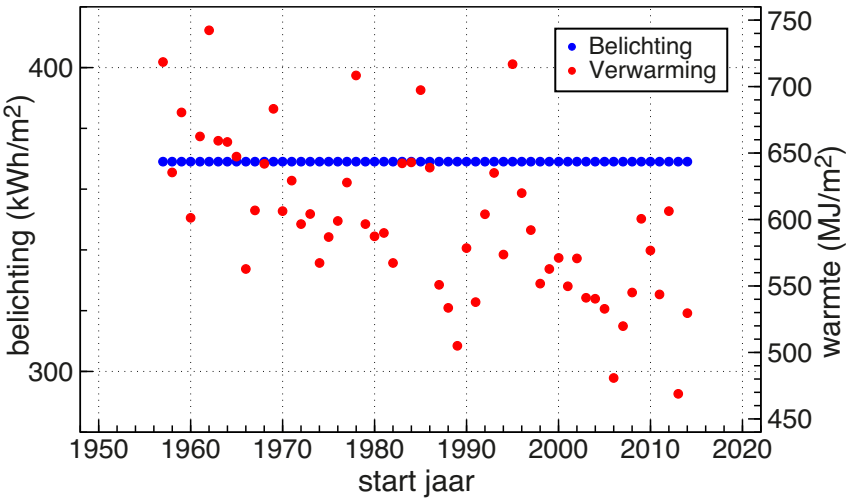


Figuur 3.1. Totale vruchtgroei ("rijping") gesimuleerd met volle belichting voor 58 seizoenen van 1957–1958 tot en met 2014–2015. De totale vruchtgroei is enkele kilogrammen hoger dan de oogst. Zie sectie 2.1.1 voor een toelichting daarover.

Figuur 3.2 laat het gesimuleerde energiegebruik zien voor de 58 jaren. Het electriciteitsverbruik van 369 kWh m^{-2} is constant omdat de belichting in ieder gesimuleerd seizoen precies hetzelfde is geweest. Het warmtegebruik varieert wel met als hoogste punt dat voor de strenge winter 1962–1963. Het gemiddelde over de 58 seizoenen is 599 MJ m^{-2}. Ook hier geldt dat we moeten oppassen met het "zien van een trend".

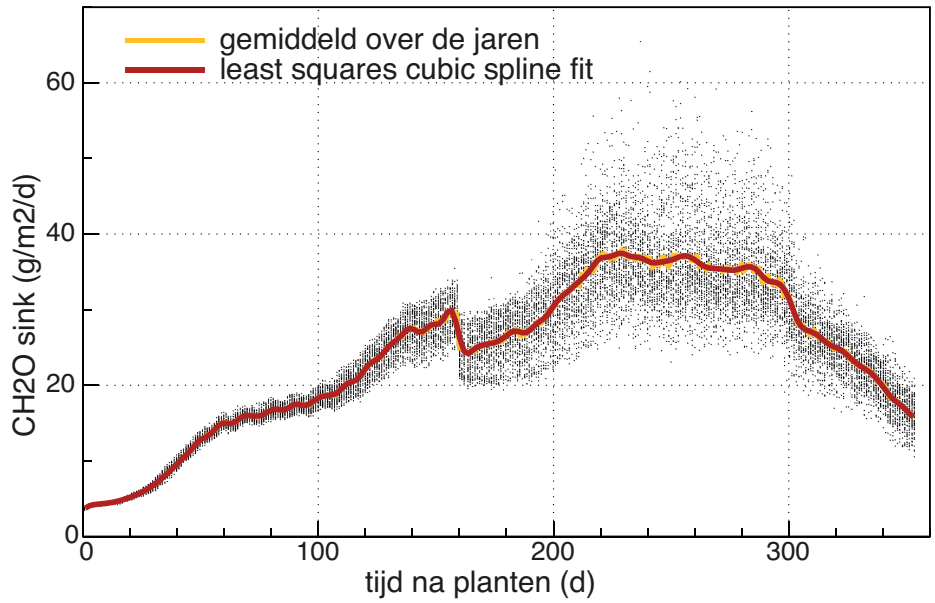
Gedurende elk van de 58 gesimuleerde seizoenen is voor iedere dag de assimilatenbehoefte berekend uit de groei van bladeren, stengels, wortels en vruchten, rekening houdend met conversie verliezen en onderhoudsademhaling. Al deze waarden zijn in Figuur 3.3 uitgezet tegen het dagnummer van de teelt.

In Figuur 3.3 is de teeltperiode weergegeven als dagen vanaf het begin van de teelt



Figuur 3.2. Energiegebruik gesimuleerd met volle belichting voor 58 seizoenen van 1957–1958 tot en met 2014–2015.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax



Figuur 3.3. De dagelijkse assimilatenbehoefte gesimuleerd met volle belichting gedurende 58 seizoenen van 1957–1958 tot en met 2014–2015. De behoefte is uitgedrukt als een hoeveelheid koolhydraten per dag. De rode curve beschrijft het gemiddelde verloop, een gestandaardiseerde assimilatenbehoefte, oftewel een "blauwdruk" van de teelt.

en niet met weeknummers zoals in de grafieken van Figuur 2.4. Ook *in het model* wordt gerekend met dagen, zoals voor de belichtingsperiode van 158 dagen. De reden is dat weeknummers niet een goede tijdsaanduiding zijn als we jaren willen vergelijken. Dat komt doordat sommige jaren 53 weken hebben en een bepaalde datum, bijvoorbeeld de start van de teelt op 25 oktober, niet altijd in dezelfde week ligt (zie https://en.wikipedia.org/wiki/Week#Week_numbering).

We zien dat tijdens de eerste 100 dagen van de teelt de assimilatenbehoefte nauwelijks varieert tussen de jaren. Dat komt omdat de belichting in die periode de dominante factor is. De verschillen in opbrengst in Figuur 3.1 onstaan dan ook bijna geheel *na het belichtingsseizoen*.

Na dag 100 neemt de hoeveelheid daglicht sterk toe. Vooral in de zomer is de instraling erg variabel, waardoor de kop- en vruchttemperaturen kunnen variëren, ook bij gelijk ingestelde setpoints voor de luchttemperatuur. Deze variabiliteit is in principe natuurlijk een probleem als we willen sturen op de assimilatenbehoefte. Gedurende het belichtingsseizoen echter valt het nog wel mee en kunnen we een poging wagen.

Aan het eind van het belichtingsseizoen in Figuur 3.3 (dag 159) zien we een plotselinge daling van de assimilatenbehoefte. Die ontstaat doordat de de lampen het gewas opwarmen. Als dit effect wegvalt neemt de assimilatenbehoefte plotseling af.

We hebben op twee manieren een *gemiddelde* assimilatenbehoefte bepaald. De eerste manier is gewoon voor elke dag de 58 waarden middelen. De tweede manier is het berekenen van een "gladde curve" met een daartoe geschikte methode[2]. De resultaten liggen dicht bij elkaar en zijn beide weergegeven in Figuur 3.3.

[2]De rode curve in Figuur 3.3 is een gefitte 3-de orde spline functie berekend met een subroutine SC2FIT beschreven in JPL Section 395, Supercomputing and Computational Mathematics Group (1998), verkrijgbaar via http://netlib.org/math/.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

3.2 Sturing van belichting op de assimilaten behoefte

Tijdens een gesimuleerd belichtingsseizoen berekent het Explorer model aan het begin van elke dag de geschatte assimilatensom voor de komende dag, Daarbij wordt gebruik gemaakt van de weersvoorspelling (in het model gewoon het geregistreerde weer van de volgende dag), de setpoints voor de temperatuur en de bladoppervlakken van het gewas op dat moment. Deze "voorspelde" assimilatensom wordt vergeleken met de gestandaardiseerde behoefte, de rode curve in Figuur 3.3.

Als de voorspelde assimilatensom kleiner is dan de behoefte grijpt de regeling niet in. De betreffende dag wordt dan gewoon gesimuleerd met de volle belichting van (in dit geval) 18 uur.

Als de voorspelde assimilatensom groter is dan de behoefte dan worden de lampen uitgeschakeld als het daglicht boven een bepaald niveau komt. Dat niveau, de daglichtdrempel, wordt zodanig berekend dat de assimilatensom gelijk wordt aan de behoefte van het gewas. Een daglichtdrempel is de beste manier om de belichting te beperken omdat de effectiviteit van de belichting in combinatie met daglicht toch al lager is (zie Figuur 1.1).

Soms kan het gebeuren dat de daglichtdrempel op $0.0\,\mathrm{W\,m^{-2}}$ komt te liggen, met andere woorden, ook met overdag uitgeschakelde lampen is de assimilatensom nog steeds hoger dan de behoefte. In dat geval wordt de belichtingsduur 's nachts beperkt.

3.2.1 Voorbeeld: seizoen 2014–2015 in detail

In Figuur 3.4 op bladzijde 21 is het teeltrapport van de Explorer Kasklimaat te vinden voor seizoen 2014–2015, gesimuleerd met gestuurde belichting. De totale vruchtgroei ("rijping") is $2.7\,\mathrm{kg\,m^{-2}}$ lager en bedraagt $86.4\,\mathrm{kg\,m^{-2}}$ in plaats van de $89.1\,\mathrm{kg\,m^{-2}}$ in Figuur 2.4 bij volle belichting. Het gebruik van electriciteit is $107\,\mathrm{kWh\,m^{-2}}$ lager en bedraagt $262\,\mathrm{kWh\,m^{-2}}$ in plaats van $369\,\mathrm{kWh\,m^{-2}}$. En tenslotte is het warmtegebruik $160\,\mathrm{MJ\,m^{-2}}$ *hoger* en bedraagt $690\,\mathrm{MJ\,m^{-2}}$ in plaats van de $530\,\mathrm{MJ\,m^{-2}}$ bij volle belichting.

We kunnen in Figuur 3.4 ook zien *wanneer* de besparing op de belichting gerealiseerd is. In de grafiek "licht en groei" is in het begin van het seizoen de belichting (het donkersgele vlak) sterk gereduceerd ten opzichte van dezelfde grafiek in Figuur 2.4. We zien verder dat de hoeveelheid ongebruikte assimilaten lang niet de waarde voor volle belichting bereikt (de grijze curve in grafiek "vruchtgroei").

In Figuur 3.5 op bladzijde 23 wordt het belichtingsseizoen nog eens vergeleken met dat voor volle belichting. We zien dat in het begin van de teelt de source-sink verhouding (de blauwe curve) inderdaad veel dichter bij de evenwichtswaarde 1.00 komt (het midden van de verticale as).

Aanvankelijk is er helemaal geen belichting nodig om aan de gewasbehoefte te voldoen. Vanaf ongeveer week 45 komt de belichting op gang. Rond week 50 wordt er behoorlijk belicht maar ligt de source-sink verhouding echter nog steeds boven 1.0, terwijl de regeling er toch op gericht is om die verhouding precies op 1.0 te houden. Hoe komt dat?

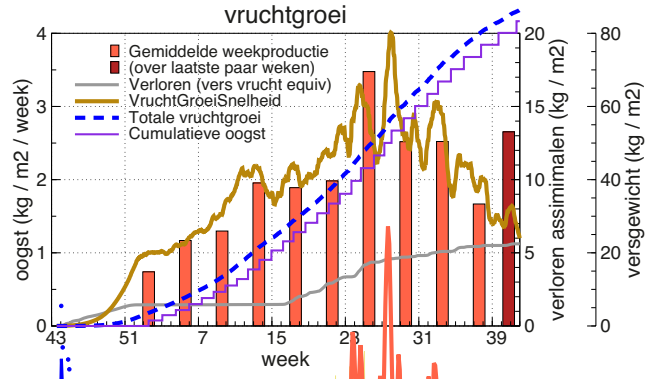
Figuur 3.4. (hiernaast op bladzijde 21) Tourance teeltrapport 2014–2015 met simulatie resultaten voor gestuurde belichting. Dit teeltrapport wordt in sectie 3.2.1 vergeleken met dat in Figuur 2.4 op bladzijde 14. Voor een toelichting op enkele grafieken zie ook de tekst in sectie 2.1.

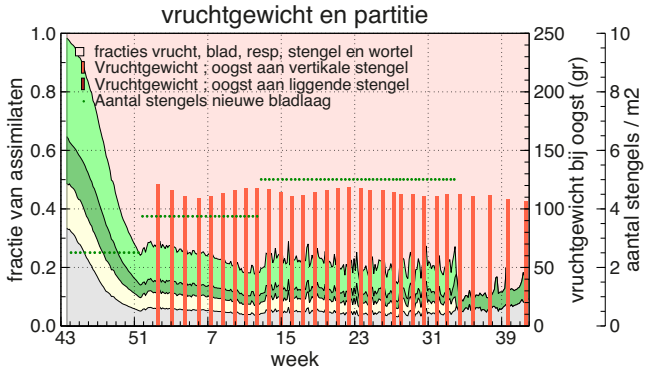
© 2016 EcoCurves en Photosyntax

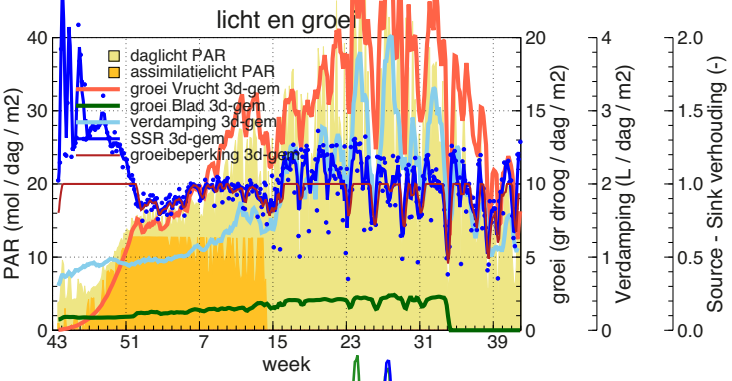
Teeltrapport Explorer Kasklimaat voor Tourance

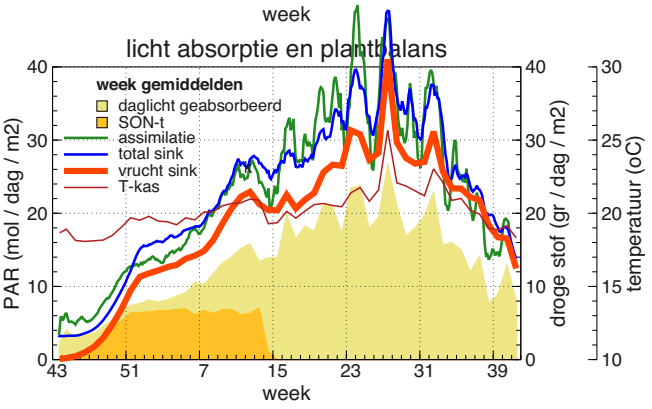
SinkControl

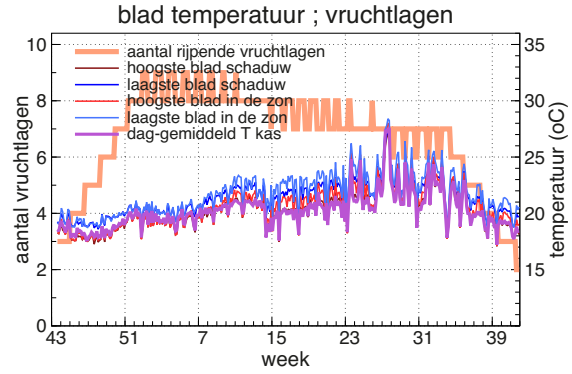
15 maart 2016, 22:25











Oogst en totaal energie

Waarde	Omschrijving met eenheid
83.313	totaal geoogst (kg/m2)
673.24	gemiddeld trosgewicht (gr)
113.35	gemiddeld vruchtgewicht (gr)
123.75	aantal trossen (1/m2)
735.0	aantal vruchten (1/m2)
86.365	rijping (kg/m2)
689.62	warmte (MJ/m2)
262.04	belichting (kWh/m2)

Periode gemiddelden

Waarde	Omschrijving met eenheid
50.429	weken, dat is vanaf
353.0	dagen voor einde teelt
1.6867	gemiddelde verdamping (kg/d)
2.1466	bladlagen per week
0.99538	source-Sink ratio
1.7126	rijping (kg/m2 vers/week)
20.098	gewaslicht (Mol PAR/d)
13.358	absorbed (Mol PAR/d)
12.173	Efficiency gewaslicht (gr vers/Mol PAR)
18.315	Efficiency geabsorbeerd (gr vers/Mol PAR)

Parameters Belichting

Waarde	Omschrijving met eenheid
200.0	SON-t lampen (uMol/m2/s)
0.0	LED belichting (uMol/m2/s)
18.0	kloktijd einde belichting (h)
900.0	daglicht drempel (W/m2)
10.0	bij zoveel daaronder lampen weer aan

photosyntax

Calculated with FST Plus 4.15
Linked with the Explorer Library 3.50
File: control_rep_001_Overzicht.eps, page 1
© 2008-2016 EcoCurves BV & Photosyntax BV.

EcoCurves

Dat komt doordat de assimilatenbehoefte is berekend met volle belichting en dus voor een relatief warm gewas. Met gestuurde belichting is er aan het begin van de teelt minder licht en het gewas is daardoor iets koeler waardoor de behoefte lager ligt en de source-sink verhouding dus toch nog steeds iets boven de 1.00 uitkomt[3]. Inderdaad blijkt dat de eerste vruchten in de simulatie met gestuurde belichting één of twee dagen later geoogst worden.

In de winterperiode tussen week 50 en week 7 wordt eigenlijk steeds de volle belichting gesimuleerd.

Ook aan het eind van het belichtingsseizoen wordt nog enige besparing gerealiseerd. Vergelijken we Figuur 3.5a voor volle belichting met Figuur 3.5b voor gestuurde belichting dan zien we dat de piekjes in de source-sink balans inderdaad zijn afgevlakt.

In Figuur 3.5c zien we verder *voor de dagen dat de belichting gereduceerd is* ook *hoe* dat gebeurd is. Gedurende de eerste weken van de teelt wordt overdag eigenlijk niet belicht en wordt 's nachts de belichting beperkt. Daarna is er meer licht nodig en wordt alleen een daglicht-drempel gebruikt.

3.2.2 De gemiddelde besparing

Ook met gestuurde belichting zijn simulaties gedaan voor alle seizoenen tussen 1957–1958 en 2014–2015. Het gemiddelde van de totale vruchtgroei en het gemiddelde energiegebruik kunnen dan worden vergeleken met de waarden voor volle belichting.

De gemiddelde besparing op de belichting bedraagt $100 \pm 6\,\mathrm{kWh\,m^{-2}}$. Dat is meer dan een kwart van het verbruik, maar deze besparing gaat ten koste van de totale vruchtgroei die met $1.7 \pm 0.5\,\mathrm{kg\,m^{-2}}$ is verminderd. Dit verlies wordt nog verder besproken in sectie 4.2 van de Discussie.

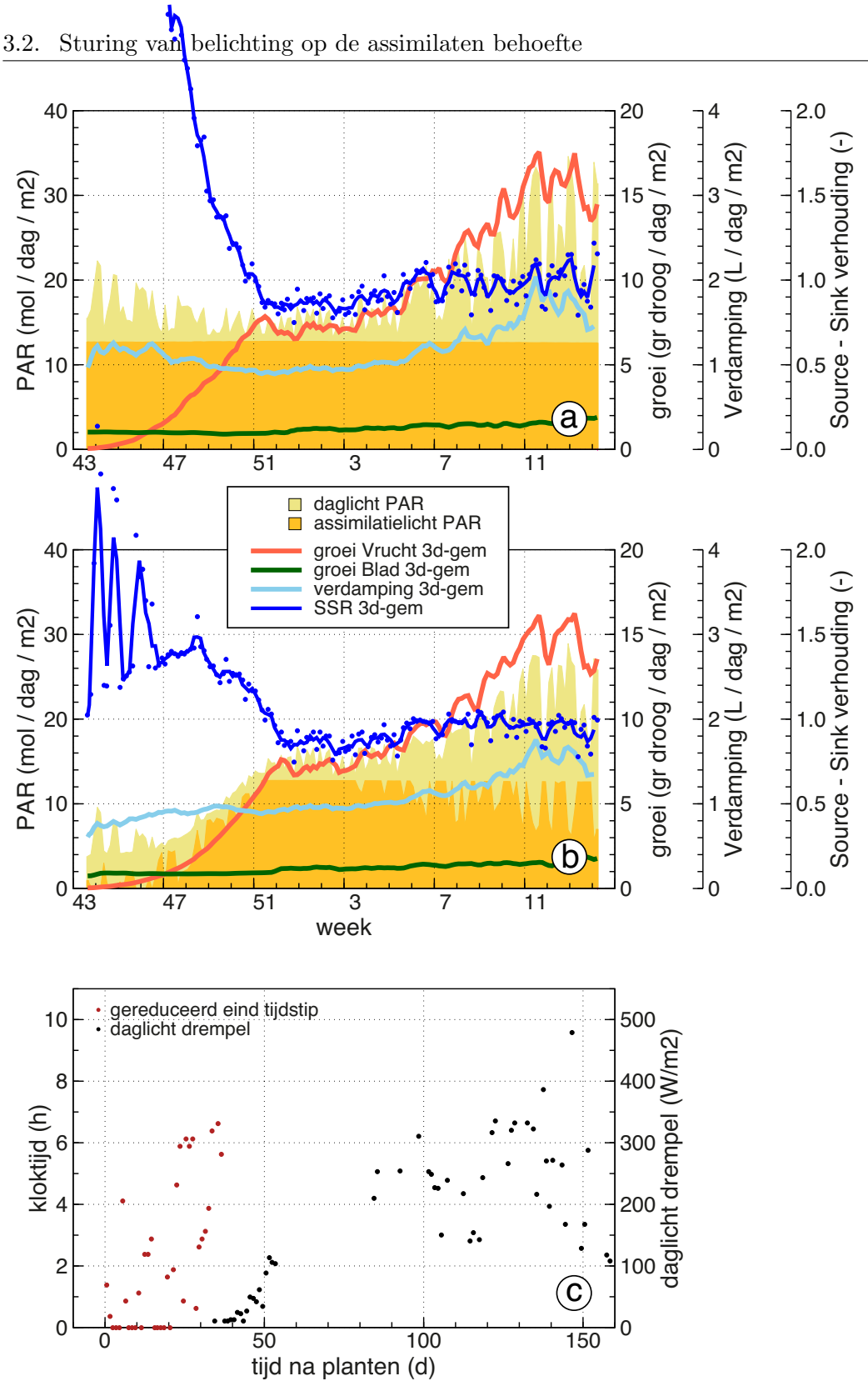
Omdat belichting ook warmte oplevert is de voor verwarming benodigde hoeveelheid omhoog gegaan, met $169 \pm 9\,\mathrm{MJ\,m^{-2}}$. De hier gegeven standaard deviaties hebben overigens betrekking op de verschillen tussen de 58 gesimuleerde seizoenen en geven niet de werkelijke nauwkeurigheid van deze exploratieve berekeningen weer (zie ook de discussie in Hoofdstuk 4).

De besparing op elektriciteit kan natuurlijk ook worden uitgedrukt in MJ (1 kWh is 3.6 MJ). Ook dan kunnen we elektrische energie en warmte echter niet zomaar bij elkaar optellen of van elkaar aftrekken omdat elektrische energie hoogwaardiger is dan een even grote hoeveelheid warmte. Warmte kan een afval product zijn en elektrische energie is dat nooit.

De genoemde "kosten en baten" hebben natuurlijk voornamelijk betrekking op het belichtingsseizoen. Oogst en verwarming in de periode daarna zullen nagenoeg onveranderd blijven. Maar omdat de toestand van een gewas aan het eind van het belichtingsseizoen toch enigszins zal doorwerken in de zomer zijn de simulaties steeds voor het hele seizoen uitgevoerd.

[3] Het verschil in gewastemperatuur tussen volle belichting en gestuurde belichting wordt nog wat versterkt door een onvolkomenheid in de temperatuur regeling in de Explorer Kasklimaat. De gemiddelde temperatuur in het begin van de teelt zou tussen de 19 en 20 °C moeten liggen maar in grafiek "blad temperatuur ; vruchtlagen" in Figuur 3.4 zien we dat de gemiddelde etmaaltemperatuur iets lager ligt. Dat komt omdat de Explorer (nog) geen setpoint kent voor de etmaal temperatuur.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax



Figuur 3.5. Reductie van de belichting in detail bekeken met behulp van grafieken voor alléén het belichtingsseizoen. (a) De "licht en groei" grafiek voor volle belichting. (b) De "licht en groei" grafiek voor gestuurde belichting. (c) Afschakeltijdstippen en daglicht-drempels waarmee de belichting is gereduceerd. Weergegeven zijn alleen de dagen dat er een reductie heeft plaatsgevonden. Op andere dagen is 18 uur belicht.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

Hoofdstuk 4

Discussie

Uit voorgaande modelstudie blijkt dat het gebruik van een meerjarig gemiddeld sink-verloop als leidraad voor een korte termijn source-optimalisatie interessante mogelijkheden biedt voor energiebesparing.

De bespreking die wij daar in dit hoofdstuk nog aan toevoegen valt uiteen in twee gedeelten. Allereerst zijn er natuurlijk de onzekerheden in model en parameters. Dat betekent dat we bij voldoende perspectief uiteindelijk toch altijd "de proef op de som" zullen moeten nemen (letterlijk).

In de tweede plaats moeten we ons afvragen of de gemaakte vergelijking tussen volle belichting en gestuurde belichting een eerlijke is, of dat er nog andere mogelijkheden zijn.

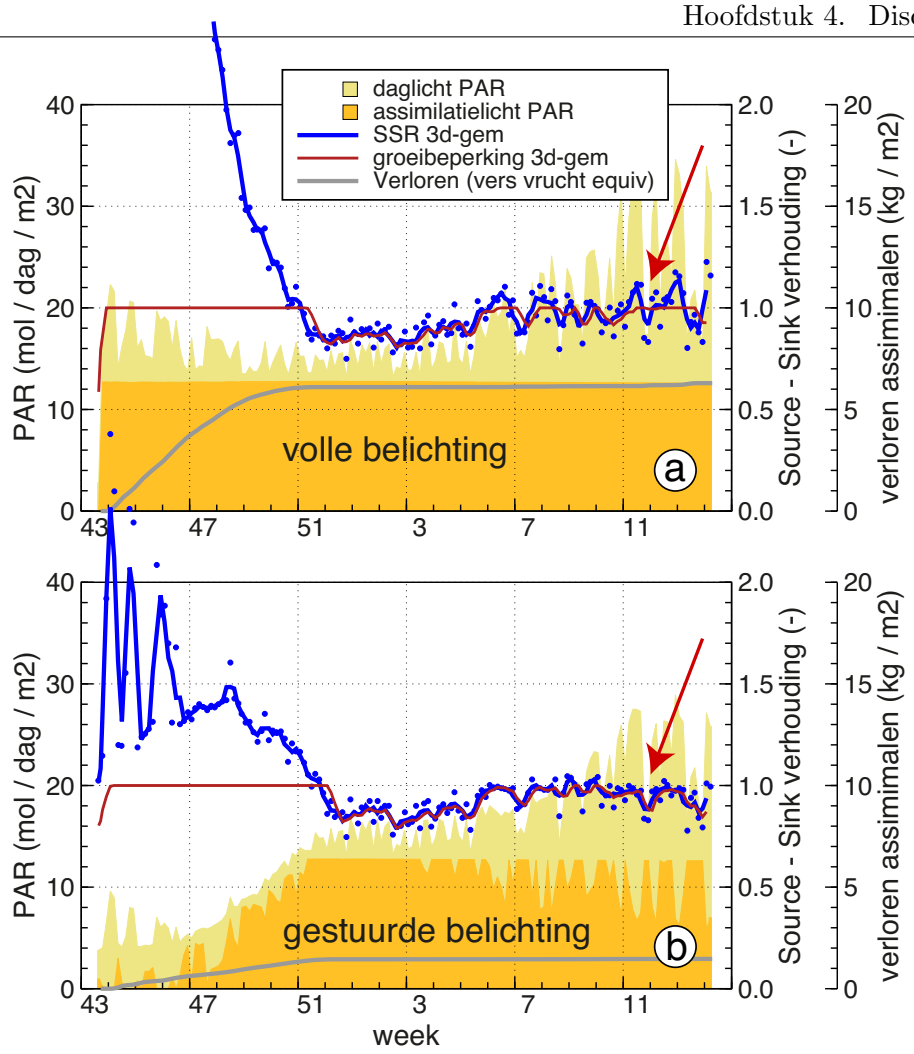
4.1 Model parameters

Het feit dat de gesimuleerde opbrengsten realistisch zijn betekent helaas niet dat de berekende besparing dat ook is. De besparing is gebaseerd op een verschil tussen de assimilatenbehoefte en de assimilatenproductie. Dat verschil maakt het mogelijk om op een aanzienlijk aantal dagen de belichting te beperken. Als één van beide, behoefte of productie, in werkelijkheid anders is dan is de afwijking in het berekende verschil relatief groot.

Een voorbeeld zal dat verduidelijken. Als de behoefte 80 eenheden is en de productie 100 eenheden, dan is het verschil 20 eenheden. Een fout van 10% in de productie (90 in plaats van 100) vertaalt zich echter in een fout van 50% in het verschil (10 in plaats van 20).

We moeten dus de modelparameters bijzonder goed kennen om het verschil tussen behoefte en productie werkelijk nauwkeurig te berekenen. Wel is het zeker dat de productie sterker zal fluctueren dan de behoefte van het gewas doordat de hoeveelheid daglicht nu eenmaal erg variabel is. En als we aannemen dat het gewas *gemiddeld* in balans is, dan zijn er dus dagen of weken dat er teveel wordt geproduceerd.

De modelstudie in dit rapport is uitgevoerd voor een dergelijk gewas, dat dus *gemiddeld* in balans is. En het resultaat is dat de te behalen besparing aanzienlijk



Figuur 4.1. Gebruik van assimilaten tijdens het belichtingsseizoen. Voor zowel (a) volle belichting als (b) gestuurde belichting zijn in grafiek gebracht: de dagelijkse source sink verhouding (met het 3-daagse gemiddelde), de groeibeperking door assimilatentekort (op de source sink as, waarde 1.0 is géén beperking) en de hoeveelheid verloren assimilaten. Op de achtergrond staat het daglicht en de belichting.

kan zijn, ruim 25%. Maar dat getal is dus niet bedoeld als een nauwkeurige voorspelling, wel als een indicatie van de mogelijkheden.

4.2 Waar komt het verlies in vruchtgroei vandaan?

De periode waarin geproduceerde assimilaten mobiel blijven in het gewas is een belangrijke maar grotendeels onbekende factor. De simulaties zijn gedaan voor volledige mobiliteit op de dag van productie *èn* de dag erna. Op de derde dag en later neemt de mobiliteit snel af en worden ongebruikte suikers toegevoegd aan de hoeveelheid 'verloren assimilaten'.

De ingebouwde regeling voor het sturen van de belichting, echter, werkt op basis van *alleen* de behoefte op de dag van de belichting. Dat betekent dat in berekeningen geen rekening is gehouden met assimilaten die "morgen" alsnog gebruikt

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

kunnen worden in geval van assimilatentekort. In Figuur 4.1 wordt nog een keer het belichtingsseizoen bekeken om te zien wat dat voor consequenties heeft.

We kunnen in beide grafieken van Figuur 4.1 ruwweg drie periodes onderscheiden:

1. Het jonge gewas in de herfst met weinig vruchten. Er is op veel dagen helemaal geen belichting nodig. Zoals besproken in sectie 3.2.1 is het gewas daardoor wat koeler, ontwikkeld zich iets langzamer en zijn er daardoor nog steeds assimilaten over ten opzichte van de sinksterkte berekend met volle belichting. Een groot deel van de besparing wordt gerealiseerd in deze periode en we zien inderdaad de hoeveelheid verloren assimilaten in Figuur 4.1b een stuk langzamer stijgen dan in Figuur 4.1a.

   De iets langzamer ontwikkeling met geregelde belichting leidt in de gesimuleerde teelt tot een iets latere eerste oogst. Dat verlies echter zal in werkelijkheid worden gecompenseerd door het regelen van de etmaal temperatuur. Zie ook sectie 3.2.1 en de opmerking over deze periode in sectie 4.3.

2. De winter met erg weinig daglicht en een toenemende gewasbehoefte. Ook met volle belichting ligt de source sink verhouding onder de 1.0. Er is dus gemiddeld een gering tekort aan assimilaten en er treedt groeibeperking op: De rode curves in Figuur 4.1 liggen ook onder de 1.0 en volgen de source sink verhouding. Hier zijn alle geproduceerde assimilaten nodig en valt dus niets op de belichting te besparen.

3. De periode vanaf week 6 waarin de source sink verhouding in Figuur 4.1a schommelt rond evenwicht. Door de regeling wordt op lichte dagen de belichting gereduceerd en worden de piekjes in de source sink balans als het ware afgevlakt.

   De rode pijlen in Figuur 4.1 wijzen op een situatie waarin de regeling leidt tot een gering verlies van productie. Aan het eind van week 11 zien we in Figuur 4.1a een piek in de blauwe curve. Daar wordt tijdens enkele lichte dagen behoorlijk geproduceerd. In Figuur 4.1b is dat piekje (inderdaad) verdwenen maar er ontstaat een dipje in de groeibeperking (de rode curve).

   Dat betekent dat bij volle belichting de assimilaten gedeeltelijk zijn gebruikt om de tekorten een paar dagen later aan te vullen en dat deze aanvulling heeft ontbroken bij geregelde belichting, om de eenvoudige reden dat er geen mobiele reserves waren.

We zien hier dus dat productieverliezen onstaan als er onvoldoende rekening wordt gehouden met de periode waarin assimilaten mobiel blijven. Dat gebeurt niet alleen als de mobiele periode wordt onderschat (zoals in de simulatie), maar ook als de mobiele periode wordt overschat. In dat laatste geval zou de regeling ervan uitgaan dat er een hoeveelheid mobiele reserve-assimilaten kan worden opgebouwd terwijl dat niet of nauwelijks het geval is.

Het verlies tengevolge van de gestuurde belichting kan gezien worden als een fout van het regeling. Inderdaad, we zouden de regeling in het model kunnen verbeteren als we rekening zouden houden met de iets langere mobiele periode van het gesimuleerde gewas.

Anderzijds zal ook een verbeterde regeling altijd gebaseerd zijn op een vereenvoudiging van de werkelijkheid en het is onwaarschijnlijk dat een grote besparing geheel zonder verliezen kan worden gerealiseerd. De onzekerheid in het voorspelde weer is daarbij ook een factor. Het heeft geen zin om een heel ingewikkelde regeling te ontwerpen die niets extra's oplevert vanwege de onzekerheden in de fotosynthese parameters en in het (meerdaagse) voorspelde weer.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

Het Explorer model biedt de mogelijkheid hier verder onderzoek naar te doen, naarmate er meer bekend is over de lengte van mobiele periode voor een echt gewas.

4.3 Het begin van de teelt

De simulaties laten zien dat de besparing voor een groot deel wordt gerealiseerd tijdens het begin van de teelt, als de planten nog niet volledig belast zijn.

Onduidelijk is echter of de jonge planten niet toch profiteren van de extra assimilaten (sterkere wortels en stengels) of dat de belichting slechts de temperatuur van het gewas verhoogt waardoor de gewasontwikkeling sneller gaat. Dat laatste zou betekenen dat we met een iets hogere temperatuur in de herfst (een deel van) het licht kunnen vervangen.

4.4 Het realiseren van de besparing

Uit de simulaties komt een consistent patroon naar voren. Gedurende de eerste weken van de teelt is de gewasbehoefte laag en kunnen de lampen uit blijven. Daarna neemt de benodigde belichting snel toe tot de vaste tijd van 18 uur per dag gedurende de donkerste weken. Tenslotte wordt in februari en maart electriciteit bespaard met een daglichtdrempel tussen 100 en 400 $\mathrm{W\,m^{-2}}$.

Een vraag ook wat we met een vereenvoudigde implementatie van dit schema al zouden kunnen besparen. Belichtingstijden en daglichtdrempels zouden dan uitgerekend moeten worden afhankelijk van de startdatum van de teelt. Een dergelijke strategie vereist geen fotosynthese berekeningen en weersvoorspelling *tijdens de teelt*. Uiteraard zal de besparing kleiner zijn en/of de kosten hoger, maar de vraag is hoeveel.

Ook op dit punt kunnen verkennende berekeningen gemaakt worden om tenslotte te komen tot een rekengereedschap voor tuinders waarmee dan òfwel de weersvoorspelling dagelijks wordt gebruikt om een passende belichting te berekenen (zoals in deze modelstudie), òfwel een belichtingsplan wordt gemaakt aan het begin van de teelt met aan- en afschakeltijden en daglichtdrempels.

Dat laatste kan gezien worden als een optimalisatie van de al bestaande lichtintegratie maar houdt beter rekening met de gewasbehoefte en de daglicht niveaus in de verschillende maanden.

De nauwkeurigheid van de weersvoorspelling, en met name die van de instraling, zal ook een belangrijke rol spelen bij het maken van een de keuze tussen deze twee mogelijkheden. Een verdere modelmatige verkenning lijkt echter alleen zinvol als ook experimenteel werk kan worden gedaan.

© 2016 EcoCurves en Photosyntax

Referenties

Dueck, T., Nieboer, S., Janse, J., Valstar, W., Eveleens, B., Grootscholten, M., 2011. Led belichting en het nieuwe telen bij tomaat. Technical report, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen. Onderzoeksrapport Wageningen-UR, in prep.

JPL Section 395, Supercomputing and Computational Mathematics Group, 1998. MATH77 and *mathc90*, Release 6.0, Libraries of Mathematical Subprograms in Fortran 77 and C. NASA's Jet Propulsion Laboratory, USA.

Rappoldt, C., Schapendonk, A., 2012. LED belichting en Het Nieuwe Telen ; scenario analyses tomaat. Technical report, EcoCurves, Haren. EcoCurves rapport 15, ISSN 1872-5449.

photosyntax

EcoCurves