

# Freesierteelt toekomst-proof

Verkenning van kansen voor een fossielvrije teelt

C Rappoldt, S W Hogewoning, S Pot en J Pronk





Freesiateelt toekomst-proof



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit



Dit project is ondersteund door de gewascoöperatie Freesia en het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

# Freessiateelt toekomst-proof

Verkenning van kansen voor een fossielvrije teelt

C. Rappoldt<sup>1</sup>, S.W. Hogewoning<sup>2</sup>, S. Pot<sup>3</sup> en H. Pronk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>EcoCurves BV, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren  
kees.rappoldt@ecocurves.nl, <http://www.virtuelekas.nl>

<sup>2</sup>Plant Lighting BV, Veilingweg 46, 3981 PC Bunnik  
info@plantlighting.nl, <http://www.plantlighting.nl>

<sup>3</sup>Plant Dynamics BV, Kon. Julianastraat 23, 6668 AG Randwijk  
sander@plant-dynamics.nl, <https://www.plant-dynamics.nl>

<sup>4</sup>Pronk Consultancy  
E-mail: info@pronkconsultancy.nl, <https://www.pronkconsultancy.nl>



## REFERAAT

C. Rappoldt, S.W. Hogewoning, S. Pot en H. Pronk, 2019. *Freestateelt toekomst-proof ; Verkenning van kansen voor een fossielvrije teelt* ; EcoCurves rapport 29, EcoCurves, Haren en Plant Lighting, Bunnik. 66 blz.

In deze voorstudie is teeltinformatie gebruikt om een optimale etmaaltemperatuur te schatten die afhangt van de dagelijkse PAR lichtsom. Vervolgens zijn simulaties gedaan met een virtuele kas om te onderzoeken hoe een hogere intensiteit van de belichting het energiegebruik en de productie beïnvloedt. Bij een belichting met 200 of 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR komt de fotosynthese op waarden vergelijkbaar met die in de zomer. De kas moet echter op een gemiddelde etmaal temperatuur van tegen de 20°C worden gehouden. De daartoe benodigde extra warmte wordt tijdens de belichtingsuren en bij gebruik van een energiescherm vrijwel helemaal geleverd door de extra straling en de lampwarmte. De tijdens de belichtingsuren benodigde buiswarmte neemt daardoor af tot vrijwel nul, in het bijzonder als de belichting geheel of gedeeltelijk met SON-T lampen wordt gerealiseerd.

De gedurende het belichtingsseizoen benodigde nachtelijke buiswarmte bedraagt ongeveer 250  $\text{MJ m}^{-2}$  bij 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR belichting. In het geval van extra SON-T licht wordt de kas overdag zodanig opgewarmd dat deze nachtelijke warmtebehoefte nauwelijks verandert bij extra belichting. Bij gebruik van 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED belichting echter neemt de nachtelijke behoefte met ongeveer 50  $\text{MJ m}^{-2}$  toe (met twee gesloten schermen). Dit omdat de nacht temperaturen omhoog moeten.

Als geen aardgas meer beschikbaar is kan de in het belichtingsseizoen benodigde (nachtelijke) warmte waarschijnlijk het best worden geleverd met een warmtepomp door middel van het uitbreiden van de bestaande installaties voor koeling van de bodem. Ten aanzien van de invloed die een veel hogere intensiteit van SON-T en/of LED belichting op de ontwikkeling van het gewas heeft zijn er nog een aantal open vragen.

Trefwoorden: belichting, temperatuur, simulatie, virtuele kas, SON-T, LED, aardgas

ISSN 1872-5449

© 2019 EcoCurves BV en Plant Lighting BV

EcoCurves BV, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren, Nederland  
e-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

Plant Lighting BV, Veilingweg 46, 3981 PC Bunnik, Nederland  
e-mail: info@plantlighting.nl

Voorplaat: “Freesiakas met hybride belichting” bij Tesselaar in Heerhugowaard  
foto Sander Hogewoning.

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

# Inhoudsopgave

<b>Lijst figuren</b>	<b>6</b>
<b>Lijst tabellen</b>	<b>7</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>8</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Verkennende studie . . . . .	10
1.1.1 Energiedoelstellingen: . . . . .	10
1.1.2 Teeltdoelstellingen: . . . . .	10
1.1.3 Uitvoering . . . . .	10
<b>2 Teeltanalyse</b>	<b>11</b>
2.1 Productie en teeltcyclus . . . . .	11
2.2 Kasklimaat . . . . .	13
2.3 Een optimale lichtsom-temperatuur relatie? . . . . .	15
<b>3 De virtuele Freesia kas</b>	<b>19</b>
3.1 De virtuele kas . . . . .	19
3.1.1 Energiegebruik . . . . .	20
3.1.2 Opbrengst . . . . .	21
3.1.3 Toepassingen . . . . .	21
3.2 Minimum teeltmodel Freesia . . . . .	21
3.2.1 Fotosynthese en verdamping . . . . .	21
3.2.2 Regeling van de etmaal temperatuur . . . . .	22
3.3 Voorbeeld van een simulatie . . . . .	24
3.4 Instellingen van kas en gewas . . . . .	26
3.4.1 Temperatuur, RV en schermen . . . . .	26
3.4.2 Regeling van het CO <sub>2</sub> gehalte . . . . .	27
3.4.3 Een bestaande en een nieuwe kas . . . . .	27
3.4.4 Het virtuele gewas . . . . .	28
<b>4 Belichtingsscenario's</b>	<b>31</b>
4.1 De 13 scenario's . . . . .	31
4.2 Resultaten . . . . .	31
4.2.1 Elektrische energie . . . . .	31
4.2.2 Bruto fotosynthese . . . . .	33
4.2.3 Buiswarmte . . . . .	33
4.2.4 Buiswarmte overdag en 's nachts . . . . .	35
4.2.5 Buiswarmte in de zomer . . . . .	36
4.2.6 Verdamping, CO <sub>2</sub> gebruik en ventilatie . . . . .	36
4.3 Discussie en conclusies . . . . .	37

5 Discussie, conclusies en aanbevelingen voor onderzoek	39
Referenties	42
Appendix A Resultaten voor alle perioden van 4 weken	44
Appendix B Verdamping, CO <sub>2</sub> gebruik, ventilatie en temperatuur	50
Appendix C De nachtelijke warmtevraag	58

## Lijst van figuren

2.1 Indruk van de oogstfluctuaties over het jaar	11
2.2 Relatie tussen plantweek en teeltduur	12
2.3 Luchttemperatuur in de kas gedurende met een generatief gewas	13
2.4 PAR per graad luchttemperatuur in kas.	14
2.5 PAR in de kas bij verhoogde intensiteit belichting	14
2.6 Source/sink verhouding uit Pot <i>et al.</i> (2016)	15
2.7 Relatie tussen lichtsom temperatuur volgens Pot <i>et al.</i> (2016)	16
2.8 Relatie tussen lichtsom en temperatuur gebruikt in Hoofdstuk 4	17
3.1 Schema van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax	20
3.2 Schema van de virtuele kas met teeltmodel "minimum Freesia"	22
3.3 Gesimuleerde dag- en nachttemperaturen ten opzichte van de doelcurve	23
3.4 Totalen en gemiddelden per dag met 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T	24
3.5 Voorbeeld van gesimuleerd kasklimaat en fotosynthese	25



# Lijst van tabellen

4.1	Elektrische energie in gesimuleerde periodes . . . . .	32
4.2	Bruto fotosynthese in gesimuleerde periodes . . . . .	32
4.3	Gasgebruik in gesimuleerde periodes . . . . .	34
4.4	Gasgebruik overdag en 's nachts . . . . .	34
4.5	Totale nachtelijke warmtevraag buiten de zomer . . . . .	35
4.6	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 1–4 . . . . .	36
A.1	Elektrische energie in gesimuleerde periodes . . . . .	45
A.2	Bruto fotosynthese in gesimuleerde periodes . . . . .	46
A.3	Gasgebruik in gesimuleerde periodes . . . . .	47
A.4	CO <sub>2</sub> gebruik in gesimuleerde periodes . . . . .	48
B.1	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 1–4 . . . . .	51
B.2	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 5–8 . . . . .	51
B.3	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 9–12 . . . . .	52
B.4	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 13–16 . . . . .	52
B.5	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 17–20 . . . . .	53
B.6	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 21–24 . . . . .	53
B.7	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 25–28 . . . . .	54
B.8	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 29–32 . . . . .	54
B.9	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 33–36 . . . . .	55
B.10	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 37–40 . . . . .	55
B.11	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 41–44 . . . . .	56
B.12	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 45–48 . . . . .	56
B.13	Lichtsom, CO <sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 49–52 . . . . .	57
C.1	Gesimuleerde nachtelijke warmtevraag . . . . .	59

# Dankwoord

Deze voorstudie is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en LTO Glaskracht Nederland en door de Gewascoöperatie Freesia. Doelstelling is een verkenning van de vormgeving van een modernere, duurzamere en intensievere freesiateelt. Hiertoe hebben we een teeltanalyse uitgevoerd en is door projectpartner Ecocurves gerekend aan de effecten van verschillende belichtingsscenario's in een oude en moderne kas op o.a. de warmtebalans, het elektraverbruik, het CO<sub>2</sub> verbruik en de geschatte productiviteit.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: Onderzoekscoördinatoren Leo Oprel (EZ) en Dennis Medema (LTO Glaskracht Nederland) van het programma 'Kas als Energiebron' voor kritische discussie over het onderzoeksvoorstel. Petra Eekhof en Edwin van Geest (LTO Glaskracht) worden bedankt voor hun coördinerende rol bij de totstandkoming van dit project. Freesiakwekers (of veredelaars) Peter Penning, Jeroen Mol, Marinus Hofland en Erik Bok worden bedankt voor het delen van kennis en/of beschikbaar stellen van data. Verder worden alle freesiakwekers die tijdens de bijeenkomsten aanwezig waren bedankt voor hun betrokkenheid en inbreng.

februari 2019,

Sander Hogewoning, Kees Rappoldt, Sander Pot en Hans Pronk

---

# Inleiding

---

Freesia wordt nu nog vaak geteeld in relatief oude kassen. Er zit grote variatie in de productie van freesia gedurende het jaar. In de winter ligt de productiviteit laag. Er wordt dan zeer koel geteeld (8–10°C) en belicht met SON-T ( $\pm 65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Door de lage temperatuur gaat de gewasontwikkeling traag. Een hogere temperatuur geeft slechte kwaliteit. Net als bij andere gewassen draait productiviteit en kwaliteit bij freesia om de balans tussen aanmaak van assimilaten (source) en vraag naar assimilaten (sink).

Een onbalans betekent verspilling van energie: Teveel licht en te weinig temperatuur geeft een slechte omzetting van energie uit licht in groei, maar een te hoge temperatuur ten opzichte van het licht geeft slechte kwaliteit (slappe takken en slechte bloemontwikkeling). Uit een eerdere studie (Pot *et al.*, 2016) bleek al dat freesia in het najaar 'source' over heeft en in de winter 'source' tekort komt. Hier liggen dus kansen voor verbetering (kans om te besparen in najaar, meer licht in winter).

Kwekers zijn op zoek naar mogelijkheden voor een hogere winterproductie, en een betrouwbaardere productie. Dit heeft grote voordelen richting de markt en voor de arbeidsplanning. Ook is inzet van biologische bestrijders eenvoudiger bij een hogere teelttemperatuur. Daartoe zullen freesia kwekers meer gaan belichten.

In het kader van de doelstellingen op gebied van duurzaamheid, het verdwijnen van gas in de tuinbouw, en ook voor het rendement van de bedrijven, is het van belang dat deze ontwikkeling op verantwoorde wijze plaats gaat vinden. Het extra licht moet zo efficiënt mogelijk worden omgezet in groei, en alle warmte moet worden benut. Koeling van de kas door afluchten van warmte, of door 's nachts niet te schermen (uitstraling), is verspilling van energie. Bovendien gaat door afluchten ook het CO<sub>2</sub>, dat schaars is in een kas zonder gas, verloren.

Er moet dus zo worden belicht dat er een goede balans is tussen licht en warmte (source en sink), zonder dat warmte vernietigd hoeft te worden in de winter. Anderzijds zijn de warmteverliezen nu groot op de momenten dat er gestookt moet worden. Dit vanwege teelt in relatief oude kassen. Een duurzame teelt van freesia zal moeten plaats vinden met minimale warmteverliezen (gebruik van scherming). De gemiddelde teelttemperatuur zal hierbij omhooggaan. De consequentie is dat dit alleen mogelijk is door meer te belichten. Hier ligt een kans voor LED-belichting, waarbij de balans tussen licht en warmte mogelijk gunstiger is dan bij SON-T.

## 1.1 Verkennende studie

Voordat nagedacht wordt over een belichtingsonderzoek, is het van belang dat eerst nagedacht wordt over hoe dat past binnen een moderne en duurzame freesiateelt. Daarom richt dit projectvoorstel zich op het verkennen en doorrekenen van een nieuw teeltconcept waarin licht, warmte en CO<sub>2</sub> zo goed mogelijk worden benut, en optimaal gebruik gemaakt wordt van de beschikbare middelen hiertoe (kassen met hoge licht-transmissie en moderne schermtechnieken).

Onderstaande uitgangspunten vormen de basis van deze verkennende studie.

### 1.1.1 Energiedoelstellingen:

Een efficiëntere benutting van energie in de freesiateelt. Dat wil zeggen, belichting waarbij de warmte goed benut wordt. Wenselijk is een situatie waarin zo min mogelijk gelucht hoeft te worden, waardoor weinig warmte en CO<sub>2</sub> verloren gaan, en waarin zo min mogelijk bijgestookt hoeft te worden.

Goede kasisolatie met moderne schermen, zodat de warmtevraag in de nacht (minimaal 8 uur bij freesia) beperkt blijft.

### 1.1.2 Teeltdoelstellingen:

Gelijkmatigere, voorspelbaardere en hogere productie freesia gedurende het jaar.

Een goede balans tussen source en sink, waardoor licht, warmte en CO<sub>2</sub> optimaal worden benut door het gewas.

### 1.1.3 Uitvoering

Deze verkennende studie is op de volgende manier uitgevoerd.

**Teeltanalyse.** Waar zitten de knelpunten in de huidige teelt en wat zijn de wensen voor de toekomst? Zie [Hoofdstuk 2](#).

**Berekeningen.** Verschillende belichtingsscenario's (verschillende intensiteiten SON-T, LED en hybride) zijn doorgerekend op o.a. de warmtebalans, het elektraverbruik, het CO<sub>2</sub> verbruik en de geschatte productiviteit. Zie [Hoofdstuk 3](#) en [Hoofdstuk 4](#).

**Discussie en conclusies.** Aanbevelingen voor een toekomstbestendige, duurzame freesiateelt en onderzoeksvragen voor een eventuele kasproef in het belichtingsseizoen 2019–2020. Zie [Hoofdstuk 5](#).

---

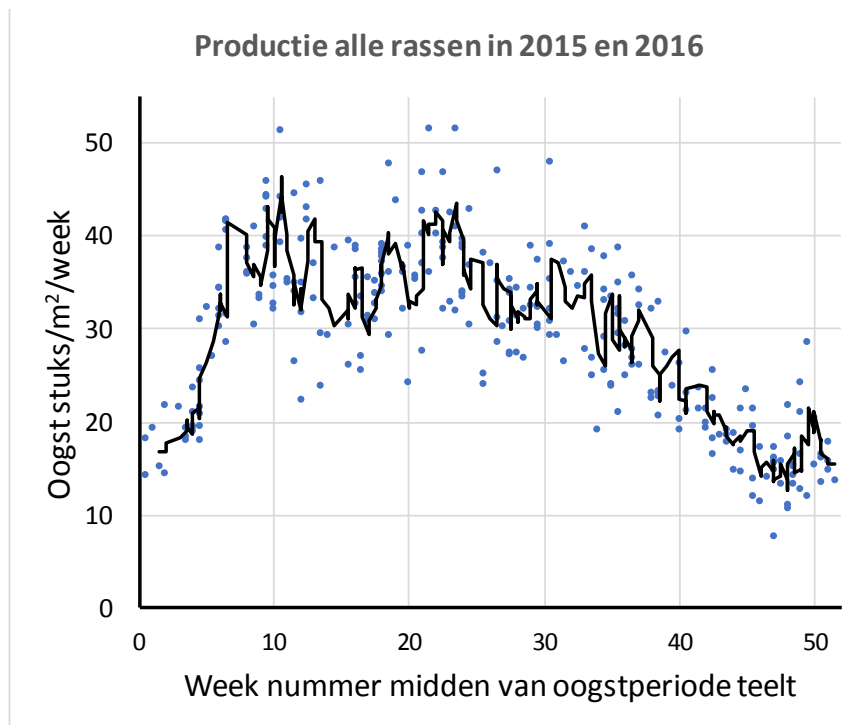
# Teeltanalyse

---

## 2.1 Productie en teeltcyclus

Voor de teeltanalyse zijn gegevens gebruikt van Mol Freesia. Dit is een moderne freesiakwekerij in Nibbixwoud. Daarnaast is in [paragraaf 2.3](#) een vergelijking gemaakt met data uit eerder onderzoek van Plant Dynamics ([Pot \*et al.\*, 2016](#)).

In eerste instantie is gekeken naar het verloop van de oogst over het jaar ([Figuur 2.1](#)). De oogst is uitgedrukt als het aantal bloemstelen, dus de productiviteit in geogste drogestof kan hiervan afwijken. De trend zal echter hetzelfde blijven.



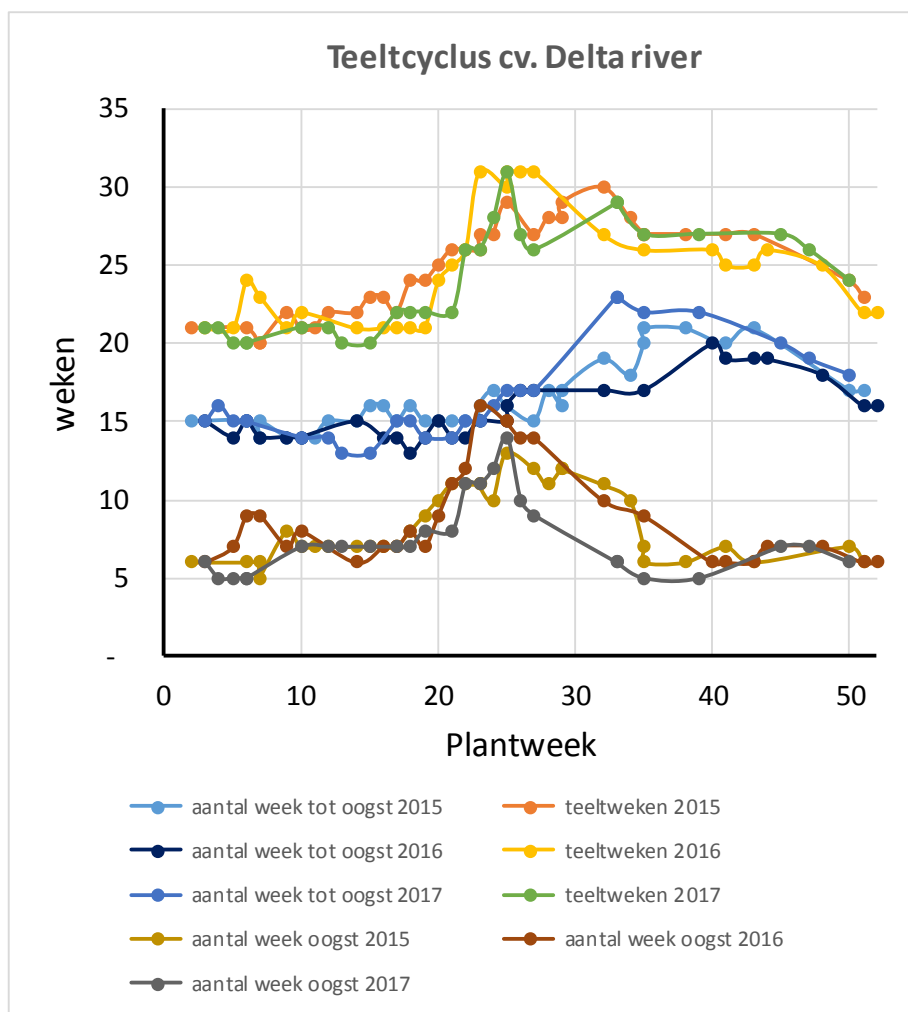
**Figuur 2.1.** Indruk van de oogstfluctuaties over het jaar. De stippen geven de totale oogst weer van een bepaalde teelt en zijn uitgezet tegen het weeknummer dat middenin de oogstperiode van die betreffende teelt valt. De zwarte lijn geeft de trend weer.

Hierbij valt het volgende op:

- Week 35–08 blijven achter in productie, met een dieptepunt rond week 48.
- Week 08–35 gaat goed.
- Week 25–35 iets lagere productie dan week 18–25. Week 18–25 als oogstperiode lijkt qua productie ideaal.

Vervolgens is de relatie tussen plantweek (planten knollen), duur van de periode tot oogst, duur van de oogstperiode en de daaruit voortvloeiende teeltperiode nader bekeken (Figuur 2.2). Dit gedurende 3 jaren en voor één veel geteeld ras (Delta River). Hierbij valt het volgende op:

- Planten in de periode van week 1–20 resulteert in de kortste teeltduur (van 20–22 weken met een oogstperiode van  $\pm 6$  weken), en ook een goede oogst (zie ook Figuur 2.1).
- Planten rond week 25 resulteert in een veel langere oogstperiode van  $\pm 13$  weken. Dit zal komen door de lage kasttemperatuur in de oogstperiode (week 41–01). Zie ook Figuur 2.3.



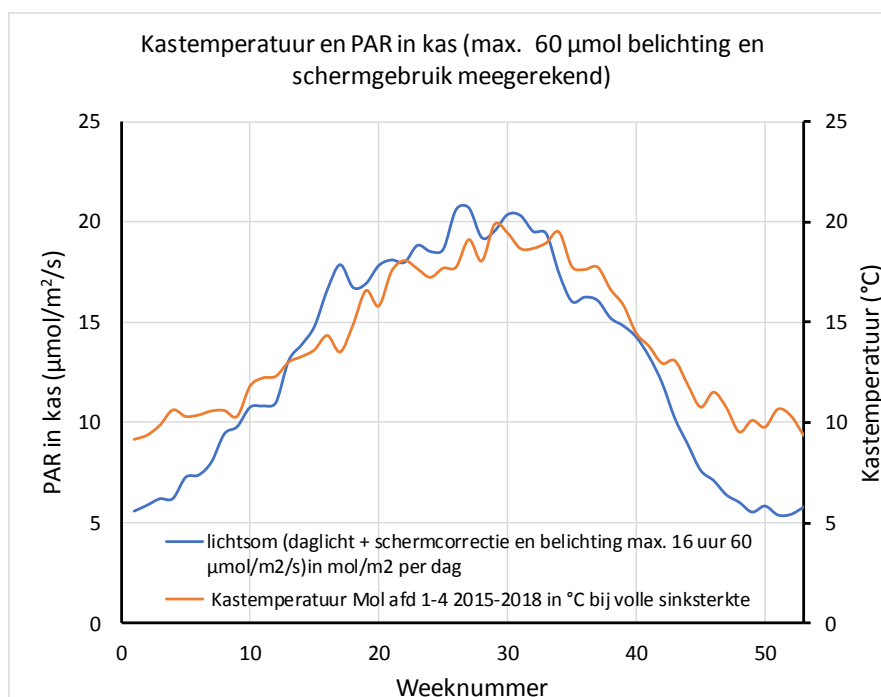
**Figuur 2.2.** Relatie tussen plantweek en teeltduur voor 3 opeenvolgende jaren. Teeltduur is ook opgesplitst in de periode tot oogst en de oogstperiode (periode van start tot eind oogst).

- Planten in de periode week 30–50 resulteert in een relatief lange periode tot de start van de oogst.
- De verschillen tussen de drie jaren zijn beperkt. Het wat kleinere aantal oogstweken voor de periode rond plantweek 30 in 2017 wordt gecompenseerd door een wat langere periode tot de oogst. Dit zou ook met de registratie te maken kunnen hebben.

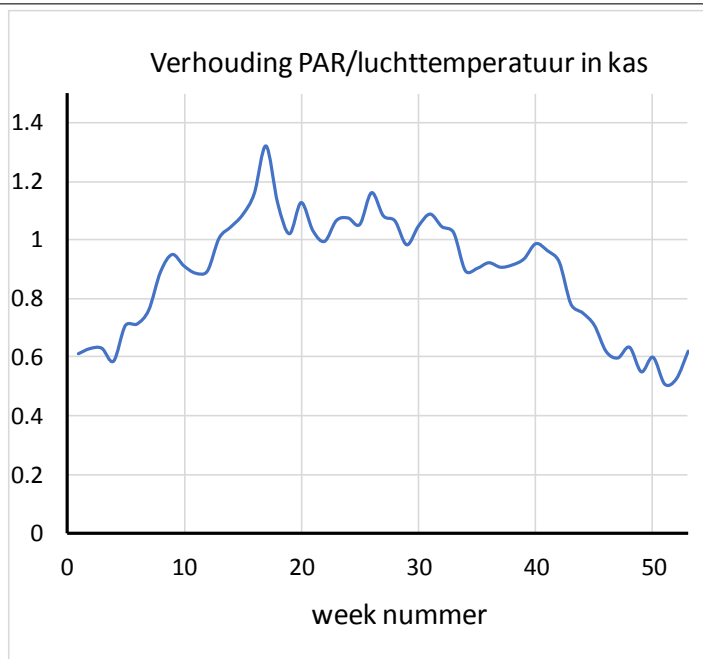
## 2.2 Kasklimaat

Nu productie en duur van de teeltcyclus inzichtelijk zijn, is het interessant om die gegevens te koppelen aan het kasklimaat (Figuur 2.3). De luchttemperatuur in de kas is berekend op basis van de temperatuur in de afdelingen waar een generatief gewas in stond, omdat de focus van deze teeltanalyse ligt op de periode waarin de sinksterkte van het gewas relatief hoog is. De temperatuur gedurende de eerste 6 weken (of 7 bij koud weer) van de teelt is soms hoger dan de kasluchttemperatuur vanwege het afdekken van de bedden met plastic. Die temperaturen zijn dus niet mee gerekend in de gemiddelde temperatuur in Figuur 2.3.

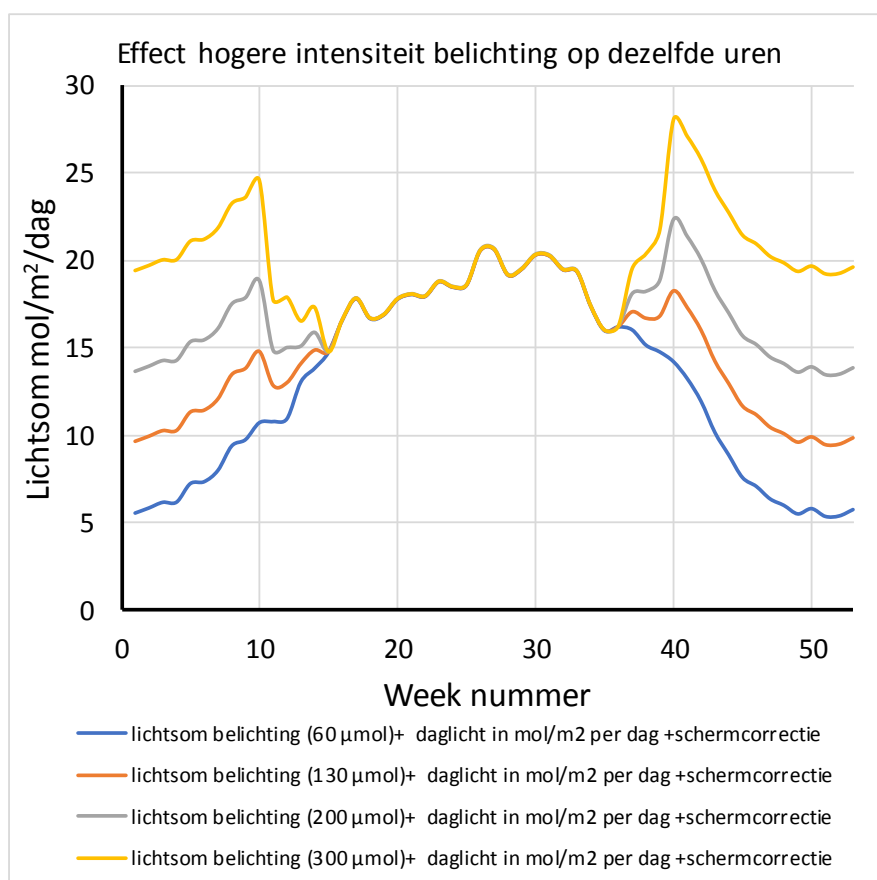
Uit Figuur 2.3 blijkt dat de temperaturen in de winterperiode erg laag zijn ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ). Echter, de verhouding lichtsom/temperatuur ligt in die periode nog lager. Dat blijkt ook uit Figuur 2.4. De periode met lagere productie (Figuur 2.1) valt vrijwel samen met de periode waarin de licht/temperatuur verhouding laag is.



**Figuur 2.3.** Luchttemperatuur in kas gedurende de periode dat het gewas generatief was (volle sinksterkte) en benadering van PAR in de kas, berekend op basis van gemeten instraling, geregistreerd scherm-percentages per uur, transmissie schermdoek (ULS15 met 30% transmissie), geschatte kasdektransmissie (varierend van 55% tot 70% tussen zomer en winter) en intensiteit en uren belichting ( $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , maximaal 16 uur per dag). Data zijn gemiddelden voor de periode 1 januari 2015–12 augustus 2018 bij kwekerij Mol.



**Figuur 2.4.** PAR-som per dag ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) per graad dag-gemiddelde luchttemperatuur in de kas. Data zijn berekend als in [Figuur 2.3](#) (de twee lijnen op elkaar gedeeld).



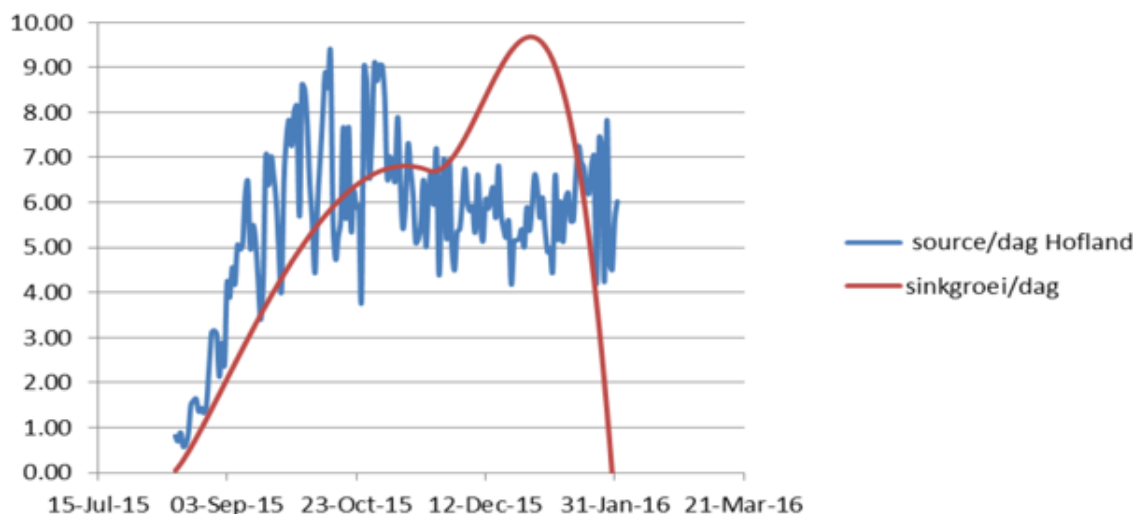
**Figuur 2.5.** Berekende PAR-som per dag ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) in de kas als de intensiteit van de belichting verhoogd wordt van 60 tot 130, 200 of 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De belichtingsuren zijn ongewijzigd en gelijk aan die van de 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting uit [Figuur 2.3](#).



In [Figuur 2.5](#) wordt een beeld geschetst van PAR in de kas bij hogere intensiteiten belichting. Deze scenario's worden ook gebruikt in de modelberekeningen in [Hoofdstuk 3](#) en [Hoofdstuk 4](#). In [Figuur 2.5](#) is al te zien dat er bij  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting in de winter meer licht in de kas is dan dat nu gebruikelijk is in de zomer. Zo'n hoge intensiteit zou dan ook snel afgeschakeld worden en is daarom waarschijnlijk niet rendabel.

## 2.3 Een optimale lichtsom-temperatuur relatie?

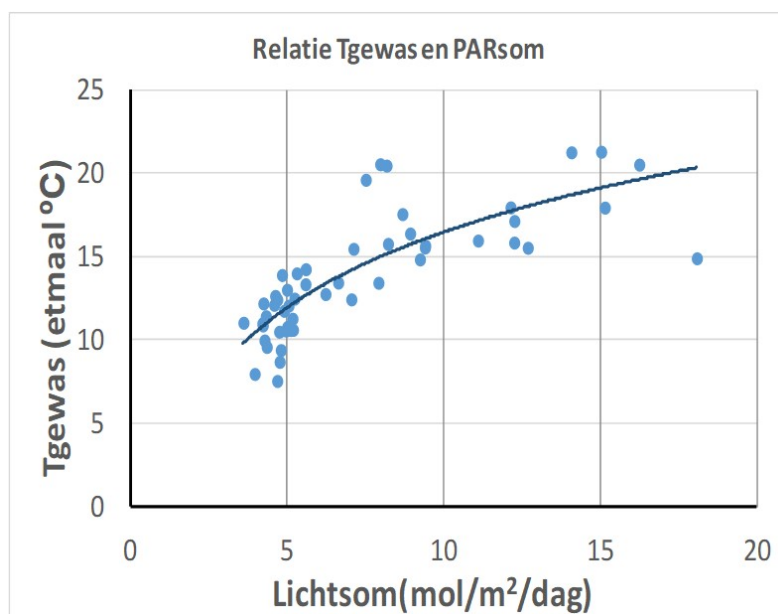
Voor de berekeningen in [Hoofdstuk 3](#) en [Hoofdstuk 4](#) aan de verschillende belichtingsscenario's ten behoeve van een moderne, duurzame en intensieve freesiateelt, is het van belang dat de gewenste temperaturen bekend zijn voor de verschillende scenario's. Echter, de optimale temperaturen voor teelten bij verschillende lichtsommen zijn niet bekend.



**Figuur 2.6.** Source/sink verhouding voor een freesiateelt van Hofland met planting week 31 en  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T bijbelichting volgens de analyse van [Pot et al. \(2016\)](#).

In het algemeen is een hogere temperatuur benodigd bij meer licht voor een optimale benutting van de assimilaten. In de huidige praktijk is een generatief freesiegewas bij de lage temperaturen en lichtsommen in de winter ([Figuur 2.3](#)) zelfs nog steeds 'source-gelimiteerd', wat wil zeggen dat vooral licht de beperkende factor is. Dit blijkt uit de berekende source/sink verhouding voor een freesiateelt met planting in week 31 en een belichting met  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T, zoals weergegeven in [Figuur 2.6](#) ([Pot et al., 2016](#)). Twee teelten (Hofland en van Os) met verschillende streefwaarden voor de temperatuur zijn met elkaar vergeleken. In de periode december-januari is de vraag naar assimilaten (sink) in beide teelten relatief hoog door de zich ontwikkelende bloemstelen, terwijl het aanbod van assimilaten door de lage lichtsom per dag relatief laag is.

In [Figuur 2.7](#) is een inschatting gemaakt van de relatie tussen de dagelijkse lichtsom en de etmaal temperatuur, zodanig dat het gewas beter in balans is. Dit geldt echter slechts voor twee teelten met een planting in week 31, en bovendien is de berekening van de vraag naar assimilaten slechts een schatting. Daarom is het

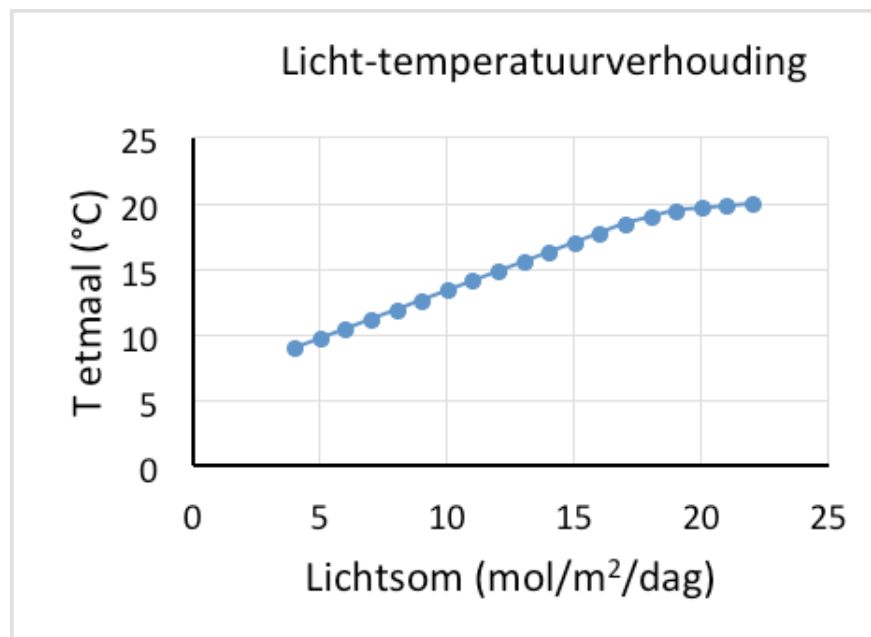


**Figuur 2.7.** Relatie tussen dagelijkse lichtsom en gewastemperatuur, berekend op basis van een balans tussen source en sink voor de twee praktijkteelten beschouwd in *Pot et al.* (2016).

risicovol om de relatie in [Figuur 2.7](#) door te trekken naar alle teelten van het jaar. Voor een nauwkeurige bepaling van de sink en de source/sink balans is een goed geparameteriseerd groeimodel nodig, en zo'n model is helaas niet beschikbaar voor freesia.

Uit de teeltanalyse in de eerdere paragrafen [2.1](#) en [2.2](#) is ook informatie te halen:

- Plantweek 1, dus oogstweken 16–22: teelt gaat goed ([Figuur 2.1](#) en [Figuur 2.2](#)). In die periode lopen kasttemperatuur en lichtsom geleidelijk op (zie [Figuur 2.3](#); NB bij start teelt was temperatuur mogelijk hoger door afdekken bedden). Tijdens de oogstperiode liep de temperatuur op van 14°C naar 18°C en de PAR-som van 16.6 tot 18 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.
- Plantweek 27, dus oogstweken 42–01: Dieptepunt productiviteit. De tijd tot oogst is dan normaal (≈ 15 weken), wat erop duidt dat het gewas genoeg temperatuur gehad heeft in de periode tot begin oogst. Maar de oogstperiode is met 12 weken lang t.o.v. de 6 weken oogstperiode voor een gewas geplant voor week 18 ([Figuur 2.2](#)). Vanaf het begin van de oogstperiode voor deze planting zakten zowel temperatuur als licht weg naar lage waarden. Versnellen door meer temperatuur en licht om productie op te schroeven lijkt logisch voor die periode.
- Plantweek 35 dus oogstweken 02–08: De periode tot start oogst duurt relatief lang (≈ 20 weken, in plaats van 15 weken). Dit zou versneld kunnen worden door de temperatuur te verhogen gedurende de laatste weken van het jaar. Echter, het gevolg hiervan zal zijn dat de bloemtakken dan ook vroeger en sneller ontwikkelen, en dus neemt de sinksterkte dan sneller toe. Dan is meer licht nodig om voldoende kwaliteit te halen. Het is overigens wat verbazend dat bij deze planting de oogstperiode relatief kort duurt (6 weken), terwijl de kasttemperatuur dan laag is. Mogelijk komt dit doordat het startmoment van oogst door de lage temperaturen vertraagd is, met als gevolg dat de bloemtakken daarna in korte tijd tegelijk komen.



**Figuur 2.8.** Relatie tussen dagelijkse lichtsom en de temperatuur die gebruikt wordt als input voor de berekeningen aan de belichtingsscenario's (zie [Hoofdstuk 3](#) en [Hoofdstuk 4](#))

Op basis van deze informatie zijn we gekomen tot de lichtsom-temperatuur relatie in [Figuur 2.8](#), waarbij ook de volgende overwegingen mee zijn genomen:

- 4 mol PAR is wintersituatie zoals het nu gaat. Setpoint 9°C.
- Oogstperiode week 16–22 gaat goed in de praktijk. Temperatuur loopt dan op van 14°C naar 18°C en de PAR-som van 16.6 tot 18 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Echter, het licht wordt niet optimaal benut in die periode: CO<sub>2</sub> is regelmatig laag door open luchtramen en hoge momentane lichtintensiteiten worden relatief minder goed benut voor de fotosynthese dan bij een stabiele hogere lichtintensiteit met belichting. Dus in de winter bij 17 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> licht setpoint 18.5°C.
- Waarden tussen 9°C bij 4 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en 18.5°C bij 17 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> zijn lineair geïnterpoleerd, waarbij de temperaturen iets hoger uitvallen dan nu gebruikelijk in de praktijk. We verwachten dat dit niet tot mindere kwaliteit leidt vanwege een efficiëntere lichtbenutting.
- Boven 17 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> vlt het temperatuur setpoint af om kwaliteitsproblemen te voorkomen.



---

## De virtuele Freesia kas

---

In dit hoofdstuk worden met behulp van een model (een "virtuele kas") berekeningen gedaan aan het effect van verschillende belichtingsscenario's op de opbrengst en het energiegebruik. In [paragraaf 3.1](#) wordt de virtuele kas besproken aan de hand van het schema in [Figuur 3.1](#).

[Paragraaf 3.2](#) beschrijft het "teeltmodel Freesia". Eigenlijk ontbreekt een dergelijk model en kunnen de groei en de ontwikkelsnelheid van het gewas niet worden berekend. We kunnen echter wèl de productie (in grammen drogestof) tijdens de oogstfase berekenen op basis van een vaste hoeveelheid blad. Een tweede en belangrijke taak van het "minimum Freesia model" is de berekening van de gewenste etmaal temperatuur in afhankelijkheid van de dagelijkse lichtsom zoals besproken in [paragraaf 2.3](#).

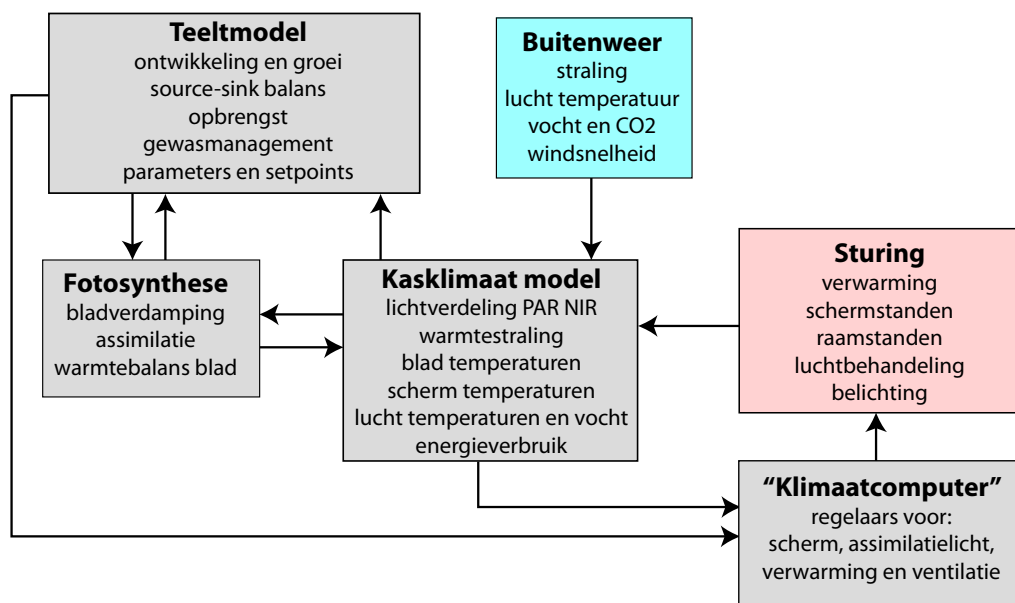
In [paragraaf 3.3](#) staat een voorbeeld om een indruk te geven van een kasklimaat simulatie. [Paragraaf 3.4](#) bevat de instellingen die zijn gebruikt in de scenario analyse. In [paragraaf 4.2](#) staat het resultaat van de analyse en in [paragraaf 4.3](#) wordt het resultaat kort besproken.

### 3.1 De virtuele kas

Het gebruikte model is een virtuele kas. Dat betekent dat de processen in de kas beschreven worden in de vorm van wiskundige formules. Formules beschrijven bijvoorbeeld hoe warmtetransport, gewasverdamping en ventilatie plaatsvinden in afhankelijkheid van het kasklimaat (temperatuur, vochtgehalte, CO<sub>2</sub> gehalte), de omstandigheden buiten de kas, en de stand van de verwarming, de ramen, de schermen, de belichting, etc. Uit het berekende warmtetransport, de verdamping en de ventilatie wordt dan weer het kasklimaat berekend op een volgend tijdstip. Door dit voortdurend te herhalen worden kasklimaat en gewasgroei door de computer 'gesimuleerd'.

[Figuur 3.1](#) toont de structuur van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax. Het kasklimaat staat centraal en kan veranderen tengevolge van het buitenweer (cyaanblauw in [Figuur 3.1](#)) en de klimaatsturing (roze in [Figuur 3.1](#)). Het kasklimaat (temperatuur, vocht, licht en CO<sub>2</sub>) bepaalt op zijn beurt de gewasverdamping en de fotosynthese.

De geproduceerde assimilaten ([Farquhar \*et al.\*, 1980](#); [Caemmerer & Farquhar, 1981](#)) vormen de basis voor de groei en ontwikkeling van het gewas. Dat wordt specifiek voor het gesimuleerde gewas beschreven in het teeltmodel (links boven in [Fi-](#)



**Figuur 3.1.** Schema van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax. Teelt en kasklimaat worden synchroon gesimuleerd en vanuit het teeltmodel kunnen daarom de settings voor de klimaatcomputer worden veranderd, bijvoorbeeld een verandering van de belichting en/of de temperatuur omdat een nieuwe fase in de gewasontwikkeling is ingetreden.

guur 3.1) dat gekoppeld is aan het kasklimaatmodel. Gewas en kasklimaat worden altijd synchroon gesimuleerd en beïnvloeden elkaar via verdamping, lichtverdeling (Goudriaan, 1977; Goudriaan & van Laar, 1994) en transport van warmte.

Net als in een echte kas moet ook in een virtuele kas het kasklimaat gestuurd worden, in dit geval met een eveneens *virtuele* klimaatcomputer. Deze klimaatcomputer bedient de verwarming, de schermen, de lampen, de verneveling en de ramen zodanig dat de condities in de kas overeenkomen met de opgegeven setpoints. Soms is dat niet mogelijk, bijvoorbeeld als het buiten veel warmer is dan het setpoint voor ventilatie (en er is geen koeling). In dat geval zal de simulatie dus ook een te hoge kastemperatuur laten zien, net zoals dat in een echte kas ook kan gebeuren.

Behalve setpoints voor temperatuur en vochtgehalte zijn er ook de tijdstippen en condities voor het openen en sluiten van de schermen en de instellingen voor de belichting (hoeveelheid, tijdstippen en daglichtdrempel).

Een belangrijke terugkoppeling is in [Figuur 3.1](#) weergegeven als een pijl van Teeltmodel naar Klimaatcomputer. Die pijl betekent dat vanuit het teeltmodel de setpoints en overige instellingen van de klimaatcomputer kunnen worden veranderd en dus kunnen worden aangepast aan het gewasstadium of het seizoen.

### 3.1.1 Energiegebruik

De benodigde energie behoort tot de *uitvoer* van het model en wordt dus niet vantevoren opgegeven. Het warmtegebruik is de warmte die door de verwarmingsinstallatie aan de kas is afgegeven. Het elektriciteitsverbruik is de benodigde energie voor de lampen zoals bepaald door de geïnstalleerde intensiteit, de elektrische efficiëntie, de belichtingsuren, de daglichtdrempel en de invloed van het teeltmodel op deze instellingen.

### 3.1.2 Opbrengst

De simulatie van opbrengsten is de taak van het teeltmodel. In een gedetailleerd teeltmodel kunnen groei en ontwikkeling van het gewas worden gesimuleerd en kunnen oogsten worden uitgevoerd door middel van "events" (de simulatie wordt gestopt als er rijpe vruchten of bloemen zijn, de oogst wordt geadministreerd, en de simulatie wordt vervolgt). In het eenvoudigste geval wordt de bruto fotosynthese geïntegreerd tot dag- week- of maandtotalen.

### 3.1.3 Toepassingen

Op deze wijze wordt in tijdstappen van 5 minuten een hele teelt gesimuleerd, met oogsten en ingrepen zoals het toppen van de plant of het aanpassen van de setpoints aan de fase van de gewasontwikkeling<sup>1</sup>. Het resultaat is een *opbrengst met een daarbij bijbehorend energiegebruik*.

Een interessante toepassing daarvan is het uitvoeren van een scenario analyse. Daarbij worden meerdere simulaties uitgevoerd waarbij steeds één factor wordt veranderd (bijvoorbeeld wel of niet een extra scherm, of verschillende belichtings-intensiteiten). De invloed daarvan op opbrengst en energiegebruik geeft dan een indruk van wat we van de maatregel kunnen verwachten.

Het voordeel van een scenario analyse met een virtuele kas is dat andere, storende factoren geen invloed hebben op het resultaat omdat de simulaties *alleen* van elkaar verschillen in de onderzochte factor. Het nadeel is natuurlijk dat een virtuele kas geen echte kas is. Dus om zekerheid te verkrijgen over een gesimuleerd effect zal, als het effect voldoende interessant is, een gerichte proef moeten worden gedaan.

Op <http://www.virtuelekas.nl> zijn rapportages over verschillende toepassingen van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax te vinden.

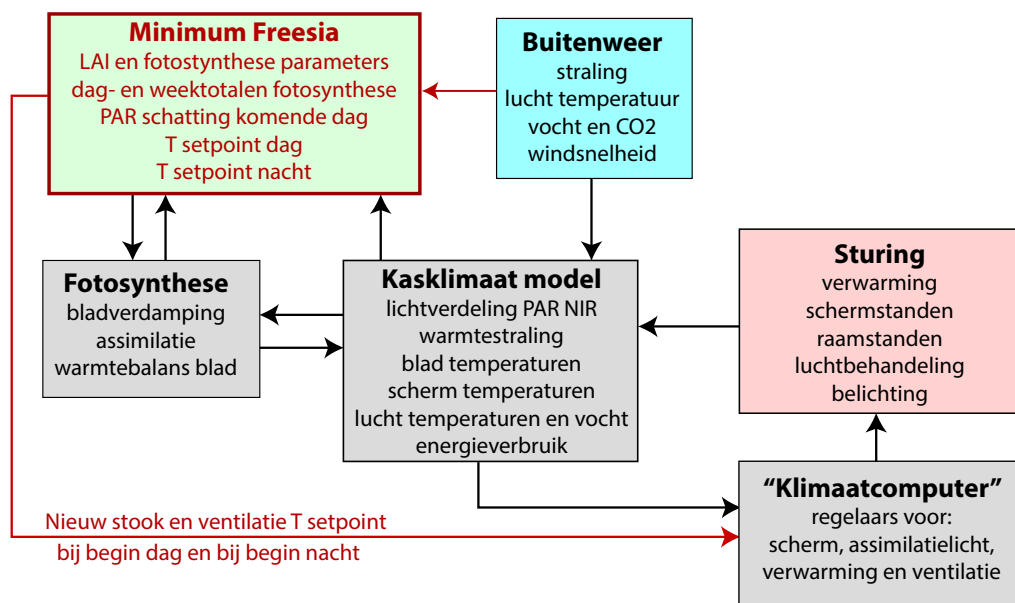
## 3.2 Minimum teeltmodel Freesia

Een teeltmodel is een beschrijving van de ontwikkeling en de groei van planten, vruchten en/of bloemen. De groei vormt daarbij de "sink" van assimilaten terwijl de fotosynthese de "source" is. Een dergelijk gedetailleerd teeltmodel is helaas voor Freesia *niet beschikbaar*. We moeten het daarom doen met een noodzakelijk minimum.

### 3.2.1 Fotosynthese en verdamping

In [Figuur 3.2](#) is het schema van [Figuur 3.1](#) opnieuw weergegeven, maar nu met een teeltmodel "minimum Freesia". Daarin worden de fotosynthese parameters en de hoeveelheid blad per eenheid kas oppervlak (de LAI) ingesteld op waarden voor de oogstfase van het gewas. Dat is een relatief stabiele fase waarin de fotosynthese (mede) bepalend zal zijn voor het totale gewicht en de kwaliteit van de gesneden bloemen. Het minimum teeltmodel Freesia integreert de fotosynthese tot een dag- of weektotaal, zonder rekening te houden met respiratie en conversieverliezen. Het gaat dus om de *bruto* fotosynthese.

<sup>1</sup>Dit veronderstelt een volledig teeltmodel. Voor Freesia wordt slechts de bruto assimilatie berekend en is de "opbrengst" dus de totale bruto assimilatie (zie [paragraaf 3.2](#)).



**Figuur 3.2.** Schema van de virtuele kas uit [Figuur 3.1](#), maar nu met teeltmodel "minimum Freesia". De hoeveelheid blad is statisch en de bruto fotosynthese wordt geïntegreerd tot dag- en weektotale. Verder wordt de lichtsom voor een komende dag geschat en gebruikt voor het instellen van de (virtuele) klimaatcomputer (zie [paragraaf 3.2.2](#)).

Nu is de verdamping van een gewas tijdens de oogstfase hoger dan die van een jong gewas met weinig blad. Om de totale gewasverdamping in de kas op een realistisch gemiddelde te houden wordt in een deel van de virtuele kas de hoeveelheid blad op een veel lagere waarde ingesteld. In een echte Freesia kas is immers ook niet de hele kas gevuld met planten in de oogstfase (zie [paragraaf 3.4](#) voor details).

### 3.2.2 Regeling van de etmaal temperatuur

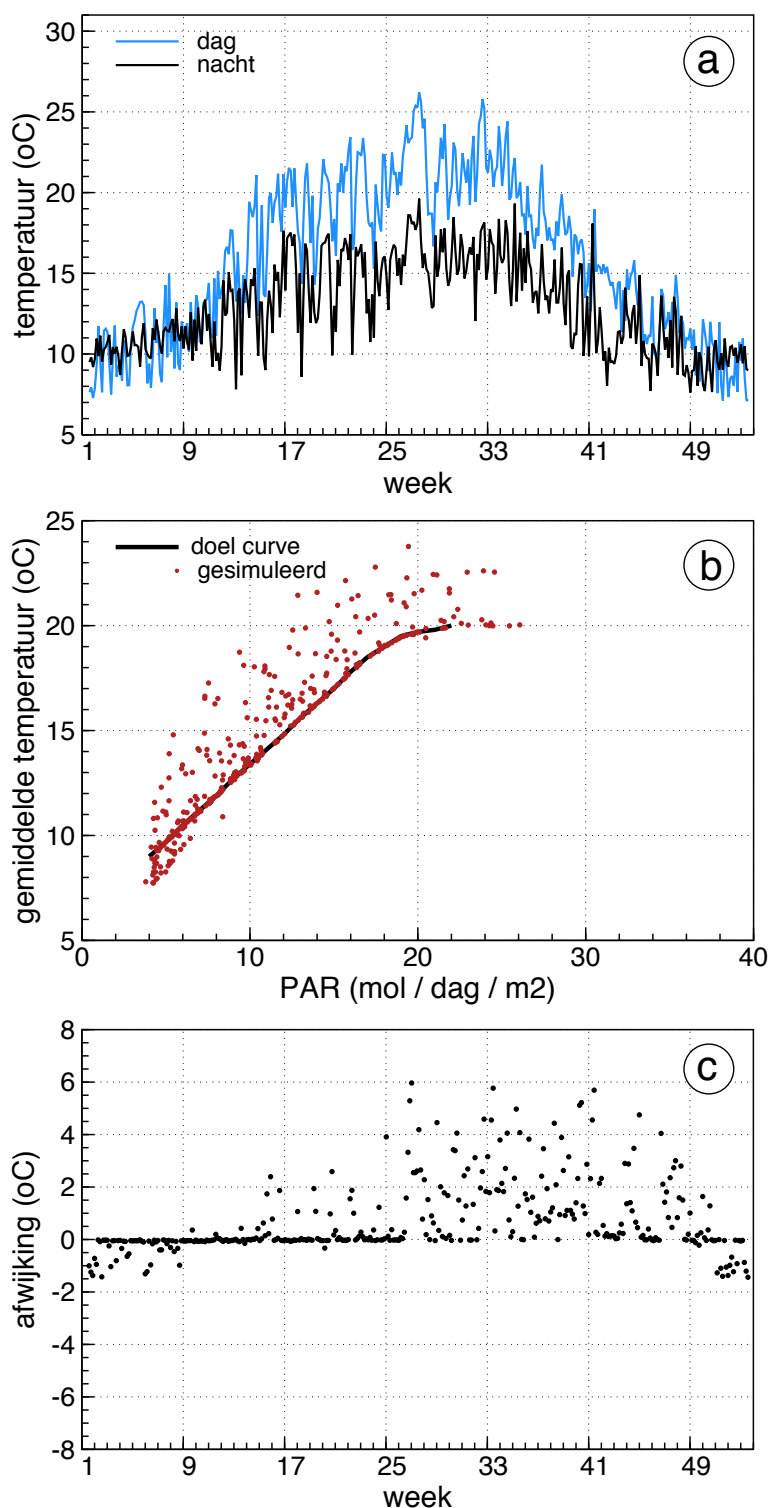
De tweede functie van het minimum Freesia teeltmodel in [Figuur 3.2](#) is het controleren van de kastemperatuur zodanig dat de relatie tussen de dagelijkse lichtsom en de etmaal temperatuur zo goed mogelijk wordt gerealiseerd (zie [Figuur 2.8](#) op [bladzijde 17](#)).

Daartoe wordt aan het begin van elke "dag" (het begin van de belichting of zonsopkomst) de verwachte PAR som geschat. Dat wordt gedaan door de daglichtsom te corrigeren voor de kastransmissie en er de belichting bij op te tellen<sup>2</sup>. De gewenste etmaal temperatuur  $T_{et}$  wordt dan berekend aan de hand van de relatie in [Figuur 2.8](#) op [bladzijde 17](#). Het stooksetpoint wordt vervolgens ingesteld op  $T_{et} - 2^{\circ}\text{C}$  en het ventilatie setpoint op  $T_{et} + 3^{\circ}\text{C}$ .

Na afloop van de dag zal er meestal een verschil blijken tussen de ingestelde  $T_{et}$  en de gerealiseerde gemiddelde dagtemperatuur. Verder kan ook de gerealiseerde PAR afwijken van de schatting aan het begin van de dag. Dat alles kan worden gebruikt om aan het begin van de nacht setpoints voor de nachttemperatuur te berekenen zodanig dat het gewenste etmaal gemiddelde zo goed mogelijk wordt benaderd.

<sup>2</sup>Het effect van een energiescherm en/of een daglichtdrempel wordt hierin slechts grof meegenomen. Het betreft dus een schatting van de lichtsom die niet erg nauwkeurig is en die ook haalbaar is op basis van een moderne weersverwachting.





**Figuur 3.3.** Gesimuleerde temperaturen voor de dag en de nacht afhankelijk van de lichtsom. (a) De gesimuleerde dag- en nachttemperatuur voor het jaar 2009 met een belichting van  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in een "bestaande kas" (zie paragraaf 3.4 voor details), (b) de afwijkingen ten opzichte van de doelcurve die het verband aangeeft tussen de dagelijkse lichtsom en de gewenste etmaaltemperatuur. De doelcurve is de relatie beschreven in paragraaf 2.3 (zie Figuur 2.8 op bladzijde 17), (c) De afwijkingen van de doelcurve voor elke dag gedurende het jaar. De afwijking, naar boven of naar beneden, is gemiddeld  $0.9^\circ\text{C}$ .

Daarbij wordt inachtgenomen dat het verschil tussen dag en nacht maximaal  $7^{\circ}\text{C}$  mag bedragen in verband met stengelbreuk en dat de nachttemperatuur nooit onder  $7^{\circ}\text{C}$  mag zakken.

In [Figuur 3.3](#) is een voorbeeld te zien van gesimuleerde dag- en nachttemperaturen, de afwijkingen van de etmaaltemperatuur ten opzichte van de doelcurve, en de verdeling van de afwijkingen over het jaar. De afwijking bedraagt gemiddeld  $0.9^{\circ}\text{C}$  en vooral in de zomer en in de nazomer blijkt het moeilijk om een te warme kas te voorkomen. Dat is in overeenstemming met de praktijk.

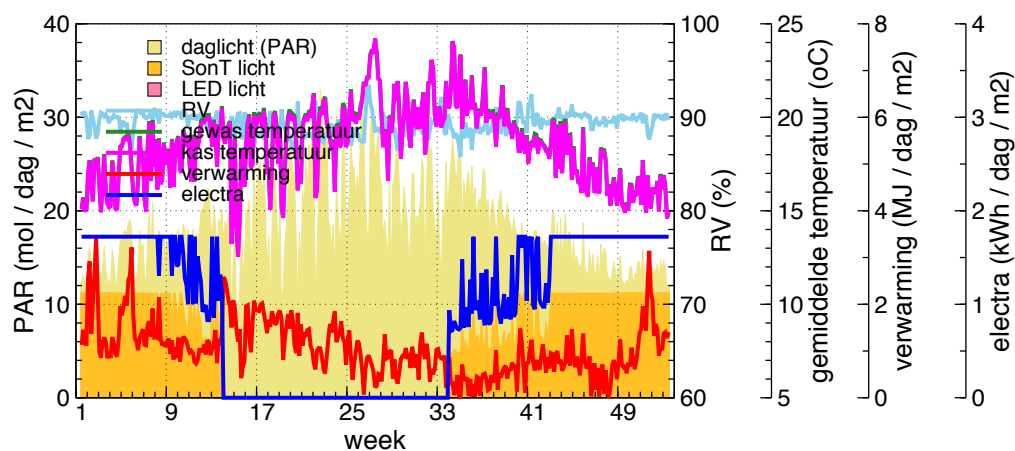
### 3.3 Voorbeeld van een simulatie

Om een beter idee te geven van berekeningen met de virtuele kas bespreken we hier een simulatie met  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting in een moderne, lichte kas (zie [paragraaf 3.4](#) voor details).

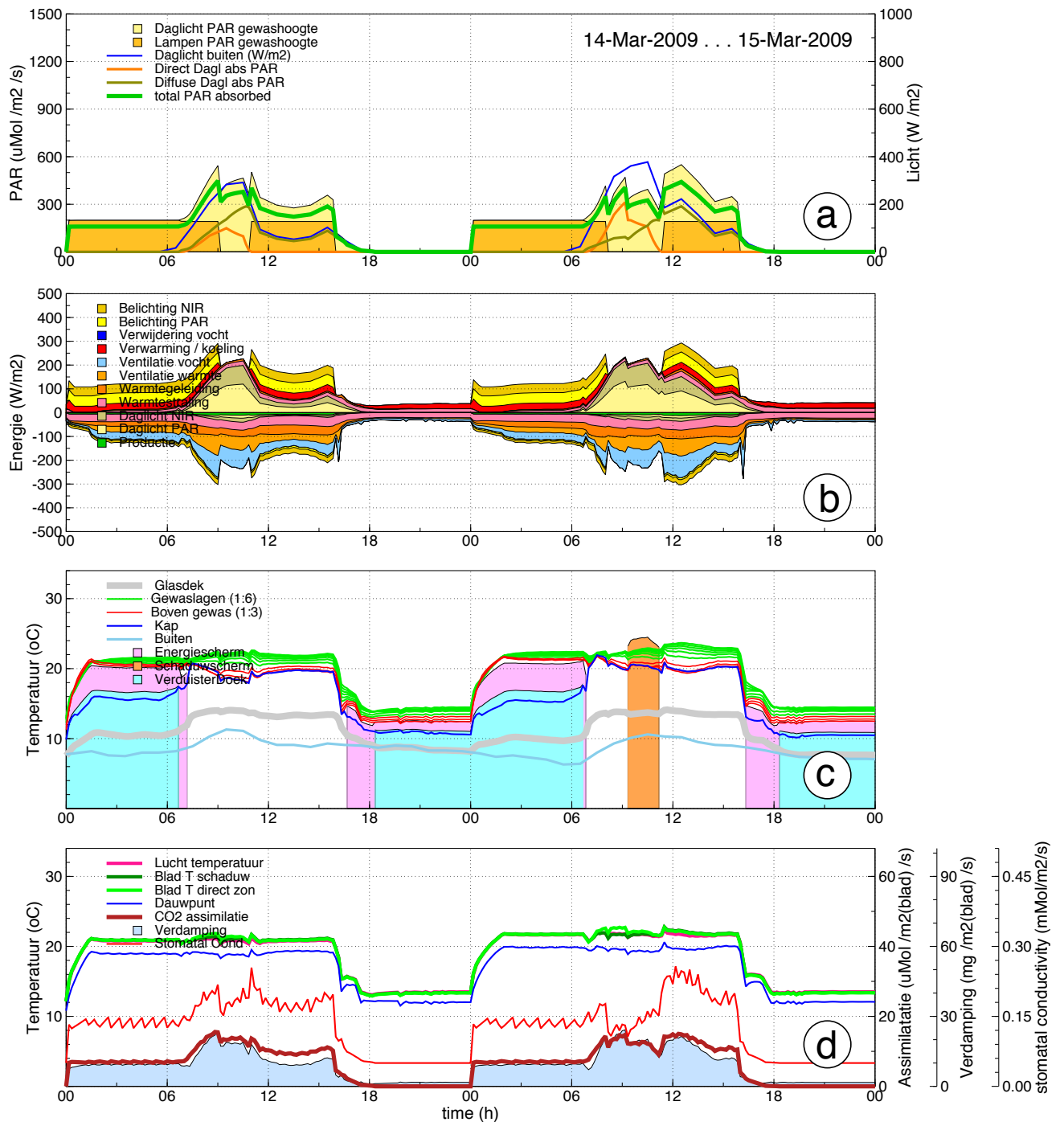
[Figuur 3.4](#) toont dagtotalen en daggemiddelden voor een run met het buitenweer van 2009. Op de horizontale as staan de weeknummers van het jaar. De vijf verticale assen zijn voor respectievelijk licht, RV, temperatuur, verdamping en elektra. De fluctuaties in SON-T licht en elektra in het voor- en najaar komen door het gebruik van een daglichtdrempel. Het PAR licht van de zon op gewashoogte (het lichtgele vlak) staat in de grafiek "bovenop" het donkergele SON-T licht.

Achter de dagtotalen gaat een gedetailleerde simulatie van het kasklimaat schuil waarvan in [Figuur 3.5](#) op [bladzijde 25](#) resultaten te zien zijn voor 14 en 15 maart 2009. In [Figuur 3.5](#) staat de straling waarin duidelijk zichtbaar de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting als donkergele banden. Het wat hoekige verloop van de daglichtstraling komt doordat de berekeningen met (geïnterpoleerd) uurlijks buitenweer zijn gedaan. De belichting is midden op de dag uit vanwege de daglichtdrempel van (in maart)  $250 \text{Wm}^{-2}$ .

De energiebalans in [Figuur 3.5b](#) toont de inkomende energie (positief) en de uitgaande energie (negatief). Een verschil tussen inkomende en uitgaande energie leidt tot opwarming of afkoeling van de kas. Een nauwelijks zichtbare groene band direct onder de horizontale as geeft de door fotosynthese vastgelegde stralingsenergie weer.



**Figuur 3.4.** Dagtotalen en daggemiddelden voor 2019 met  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T. De totalen voor het licht zijn op gewasniveau.



**Figuur 3.5.** Een moderne, lichte, virtuele Freesia kas op 14 en 15 maart 2009 met  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting en een energiescherm dat sluit bij minder dan  $50 \text{ Wm}^{-2}$  daglicht (zie ook paragraaf 3.4). (a) De straling waarin duidelijk zichtbaar de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting als donkergele banden, (b) De energiebalans in  $\text{Wm}^{-2}$  met inkomende energie (positief) en uitgaande energie (negatief). Een verschil tussen inkomende en uitgaande energie leidt tot opwarming of afkoeling van de kas, (c) Lucht- en schermtemperaturen met het energie- en verduisteringsdoek gesloten in de nacht en het schaduw scherm korte tijd gesloten op 15 maart, (d) fotosynthese en huidmondjes opening van de hoogste bladeren. De rimpeling ontstaat door de aan/uit regeling van de CO<sub>2</sub> dosering.

De lucht en schermtemperaturen zijn te vinden in [Figuur 3.5c](#). We zien dat aan het eind van de middag eerst het energiescherm sluit (bij minder dan  $50 \text{ Wm}^{-2}$  instraling) en daarna het verduisteringsdoek. De hoogtes van de lila en cyaanblauwe vlakken geven de temperatuur van respectievelijk het energie- en verduisteringsdoek weer. Als beide gesloten zijn is bovenste scherm is enkele graden kouder. Dat illustreert het isolerende effect van een dubbel scherm.

Op 15 maart overdag is de zonwering (het schaduw scherm) voor enkele uren gesloten omdat het buitenlicht boven de  $350 \text{ Wm}^{-2}$  kwam (zie de dunne blauwe lijn en de rechter as in [Figuur 3.5a](#)). De hoogte van het okergele vlak in [Figuur 3.5c](#) is de temperatuur van de zonwering. Overigens sluit de zonwering altijd voor slechts 50%, maar dat is in de grafiek niet te zien.

[Figuur 3.5d](#) laat de fotosynthese en de huidmondjes opening zien van de hoogste bladeren. De rimpeling ontstaat door de aan/uit regeling van de  $\text{CO}_2$  dosering.

## 3.4 Instellingen van kas en gewas

De eigenschappen van de (virtuele) installatie, de instellingen voor de klimaatregeling en de gewaseigenschappen waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd worden hieronder kort besproken. De lijst is opgesteld door Sander Hogewoning en Hans Pronk in samenwerking met de betrokken freesiatelers.

### 3.4.1 Temperatuur, RV en schermen

De bodem is grotendeels bedekt met isolerende polystyreen korrels. In de virtuele kas zijn de warmtestromen van en naar de bodem daarom zo klein verondersteld dat ze genegeerd kunnen worden. Dat impliceert dat de bodemkoeling wordt verondersteld geen invloed op het kasklimaat te hebben.

Verneveling is geïmplementeerd met een maximale capaciteit van  $6 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . De verneveling wordt gebruikt als de RV onder de 77% dreigt te zakken. Het ventilatie setpoint voor de RV is 90%. Als de ventilatie onvoldoende goed werkt wordt verwarmd tot maximaal  $35^\circ\text{C}$  buistemperatuur.

De verwarming bestaat uit buizen met een diameter van 32 mm op 60 cm hoogte in het gewas en uit een bovennet op een meter onder de schermen bestaande uit buizen van 51 mm. De lage buizen worden op maximaal  $40^\circ\text{C}$  gebracht. De temperatuur is afhankelijk van de dagelijkse lichtsom en wordt geregeld volgens de doelcurve in [Figuur 2.8](#) op [bladzijde 17](#). Hoe dat werkt en hoe goed dat werkt is uitvoerig besproken in [paragraaf 3.2.2](#) en [Figuur 3.3](#) op [bladzijde 23](#). Er is geen actieve koeling van de kaslucht.

Na zonsondergang gaat het verduisteringsdoek dicht met een lichttransmissie van 0.5%. Bij zonsopkomst gaat het weer open. In het geval van een te hoge RV (tijdens de nachtelijke belichting) wordt een kier getrokken zodat vocht door de ramen kan worden afgevoerd. De grootte van de kier wordt door de virtuele klimaatcomputer geregeld op het RV setpoint, net als de raamopening.

Zonwering vindt plaats door middel van een scherm met 30% transmissie voor PAR en NIR licht en een lage emissiviteit voor warmtestraling waardoor ook de warmtestraling vanaf het kasdek voor een deel wordt gereflecteerd. Het doek gaat dicht boven  $350 \text{ Wm}^{-2}$  instraling buiten en gaat weer open onder de  $300 \text{ Wm}^{-2}$ . De zonwering sluit voor 50%.

### 3.4.2 Regeling van het CO<sub>2</sub> gehalte

Het CO<sub>2</sub> gehalte komt op een complexe manier tot stand omdat tijdens verwarming en stomen ook de verbrandingsgassen uit de ketel gebruikt worden. Cijfers over het CO<sub>2</sub> verbruik bij Hofland laten zien dat het OCAP verbruik ongeveer 75% bedraagt van het totale verbruik en de rest (25%) komt uit de ketel. Deze "ketel CO<sub>2</sub>" kan gebruikt worden om het CO<sub>2</sub> setpoint te halen, maar kan ook als "extra CO<sub>2</sub>" worden gebruikt.

Voor het doorrekenen van belichtingsscenario's is gekozen voor een eenvoudiger opzet. De CO<sub>2</sub> wordt gedoseerd met gebruik van een setpoint dat afhangt van de ventilatie. De parameters daarbij worden zodanig gekozen dat het OCAP verbruik redelijk beschreven wordt. De ketel CO<sub>2</sub> wordt dus genegeerd.

De resultaten zijn op die manier eenvoudiger te interpreteren. Zouden we immers de ketel CO<sub>2</sub> op een realistische wijze meenemen dan gaat de intensiteit van de belichting invloed krijgen op het CO<sub>2</sub> gehalte in de kas (bij meer belichten meer lampwarmte, minder stoken, minder extra CO<sub>2</sub> beschikbaar). Het wordt nog complexer doordat ook het stomen CO<sub>2</sub> oplevert, méér naarmate dat vaker gebeurt (bij meer belichting en snellere groei dus). Het is dus beter om deze complexiteit te laten voor wat hij is, ook nog omdat er in een fossielvrije kas helemaal geen ketel CO<sub>2</sub> meer is.

De regeling van het CO<sub>2</sub> gehalte in de virtuele kas werkt met behulp van een aan/uit dosering. Als er niet of weinig geventileerd wordt geldt het "hoge setpoint" van 600 ppm. Het "lage setpoint" van 450 ppm treedt in werking bij een raamstand aan de lijzijde boven de 20%.

Het lage setpoint is aanvankelijk op 400 ppm gezet. Dan zijn er geen verliezen bij hoge ventilatie omdat het gehalte in de buitenlucht even groot is, of zelfs nog wat hoger, 408 ppm. In de wintermaanden (de eerste 12 weken en de laatste 8 weken van het jaar) leidt dat tot een gesimuleerd gemiddeld verbruik van 638 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, ongeveer het gerapporteerde OCAP verbruik voor dezelfde periode.

In de zomermaanden echter wordt er in de virtuele kas enorm geventileerd en staat het CO<sub>2</sub> setpoint dus bijna altijd laag. Dat leidt tot een verbruik dat tot wel 10 keer kleiner is dan het gerapporteerde OCAP verbruik. Het lage setpoint van 400 ppm is daarom verhoogd naar 450 ppm. Dat heeft op het verbruik in de wintermaanden weinig invloed, het stijgt van 638 naar 669 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, omdat de ventilatie zelden boven de 20% uitkomt. Het verbruik in de zomer echter is heel gevoelig voor de waarde van het lage setpoint en bereikt bij 450 ppm realistische waarden.

Gemiddeld over het hele jaar is het gesimuleerde verbruik 868 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, ongeveer gelijk aan het gerapporteerde OCAP verbruik van 898 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

### 3.4.3 Een bestaande en een nieuwe kas

Er is gerekend met twee verschillende kassen, in de resultaten aangeduid als

- "bestaand" of "oud" met 60 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> SON-T belichting
- "modern" of "nieuw" met een belichting van 60, 130, 200 of 300 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> aan PAR licht afkomstig van SON-T lampen, LED lampen of van een combinatie van beide typen ("hybride belichting" met van elk type de helft van het PAR licht). Dat zijn dus 12 combinaties van intensiteit en type belichting.

Afgezien van de intensiteit van de belichting zijn de verschillen tussen de "bestaande" en de "nieuwe" kas:

- De bestaande kas is 4 m hoog, de nieuwe is 6 m hoog.
- De transmissie voor buitenlicht van het kasdek en de constructie is voor de bestaande kas ongeveer 55% en voor de nieuwe ongeveer 70%.
- De SON-T lampen in de bestaande kas produceren 35% PAR, 35% NIR en 30% warmte terwijl een Joule PAR licht gelijk is aan  $4.57 \mu\text{mol}$  aan quanta (ofwel een elektrische efficiëntie van  $4.57 \times 0.35 = 1.60 \mu\text{mol J}^{-1}$ ). De SON-T lampen in de nieuwe kas zijn efficiënter en produceren 40% PAR, 35% NIR en 25% warmte met een elektrische efficiëntie van  $1.85 \mu\text{mol J}^{-1}$ .
- LED lampen in de nieuwe kas hebben een PAR productie van  $3.00 \mu\text{mol J}^{-1}$  elektriciteit. De warmteproductie is 45% van het elektrisch vermogen en wordt afgestaan aan de lucht in de kas.
- De bestaande kas heeft *géén* energiescherm, de nieuwe wel (SLS10 Ultra Plus). Het energiescherm gaat open boven  $80 \text{ Wm}^{-2}$  daglicht buiten en sluit bij minder dan  $50 \text{ Wm}^{-2}$ . Het is dus ook 's nachts gesloten en hangt *onder* het verduisteringsdoek.
- De bestaande kas heeft met de ramen dicht een lekkage<sup>3</sup> van 0.0005. Bij de nieuwe is dat de helft daarvan.

Voor beide kassen is een daglichtdrempel op de belichting gezet van  $450 \text{ Wm}^{-2}$  zonlicht buiten in de weken 1–7 en 43–53, en van  $250 \text{ Wm}^{-2}$  in de weken 8–13 en 34–42. Vanaf week 14 tot week 34 is er geen belichting. Als de belichting uit is vanwege de daglichtdrempel gaan de lampen weer aan als het lichtniveau  $50 \text{ Wm}^{-2}$  *onder* de drempelwaarde komt.

#### 3.4.4 Het virtuele gewas

De productie cijfers in de scenario berekeningen hebben betrekking op het volgroeide gewas waarvan bloemen geoogst worden. Dat gewas heeft een LAI<sup>4</sup> van ongeveer 3.5.

In een kas staan echter alle stadia door elkaar. Dat betekent dat de totale verdamping, een belangrijke variabele, wordt bepaald door alle stadia samen. Een teelt duurt 20–30 weken, dus zeg 25 weken. Het duurt  $\pm 10$  weken om de maximale LAI te bereiken en  $\pm 3$  weken voordat er enig blad is. Uitgaande van een lineaire toename in LAI van 0 tot 3.5 tussen over een periode van 8 weken, kom je op een gemiddelde LAI van ongeveer 2.7 over de hele teelt.

De simulaties zijn gedaan voor een statische hoeveelheid blad met een LAI van 3.5 op 2/3 van het oppervlak en een LAI van 1.0 op 1/3 van het oppervlak van de kas. De gemiddelde LAI in de kas is dan ook 2.7. De resultaten voor de gewasfotosynthese in [Hoofdstuk 4](#) hebben betrekking op het deel met een LAI van 3.5. De kasklimaat simulatie echter wordt gedaan met een gewogen gemiddelde verdamping over beide "gewassen".

<sup>3</sup>Lekkage wordt uitgedrukt als  $\text{m}^3$  lucht per seconde, per  $\text{m}^2$  bodem oppervlak en per eenheid windsnelheid buiten in  $\text{m s}^{-1}$ . De samengestelde eenheid is dus  $(\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}) / (\text{m s}^{-1}) = 1$ , waaruit blijkt dat de lekkage dimensieloos is en geen eenheid heeft. De lekkage kan gezien worden als de fractie van de windsnelheid waarmee de kaslucht als het ware "door het dak" naar buiten verdwijnt.

<sup>4</sup>De LAI is de Leaf Area Index, het bladoppervlak per eenheid grondoppervlak. Een LAI van 3 betekent dus dat er  $3 \text{ m}^2$  blad is op elke  $\text{m}^2$  grond.

De gebruikte waarden voor de parameters  $J_{\max}$  en  $V_{c,\max}$ <sup>5</sup> bij 20 °C zijn respectievelijk  $136 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en  $68 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (metingen van [Pot \*et al.\*, 2016](#)). De gemeten geleidbaarheid van de huidmondjes varieert tussen  $0.05 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ('s nachts) en  $0.20 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (overdag). De parameters die de huidmondjesopening bepalen voor bladeren van het virtuele gewas zijn hiervan afgeleid.

---

<sup>5</sup>Dit zijn parameters van het fotosynthese model van [Farquhar \*et al.\* \(1980\)](#) en [Caemmerer & Farquhar \(1981\)](#).





---

# Belichtingsscenario's

---

De scenario berekeningen zijn gedaan met de virtuele kas uit [Hoofdstuk 3](#). Er zijn  $13 \times 13 \times 12 = 2028$  modelruns gedaan voor 13 belichtingsscenario's, voor het jaar verdeeld in 13 perioden van 4 weken en voor 12 verschillende jaren buitenweer. In [paragraaf 4.1](#) worden de scenario's kort beschreven. In [paragraaf 4.2](#) worden samenvattende tabellen besproken en in [paragraaf 4.3](#) volgen de conclusies uit de modelberekeningen.

## 4.1 De 13 scenario's

Voor de bestaande kas (zie [paragraaf 3.4.3](#)) is gerekend met een SON-T belichting van  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Voor de moderne kas is gerekend met 60, 130, 200 en  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR licht uit SON-T lampen, uit LED lampen of uit elk van beide typen de helft (hybride belichting). Dat is dus 1 scenario voor de bestaande kas en 12 scenario's voor de moderne kas.

De simulaties zijn gedaan voor 13 perioden van 4 weken, te beginnen op 1 januari. Dat komt niet exact overeen met de standaard nummers voor de weken van maandag t/m zondag, maar het verschil zal bijzonder klein zijn. Het gaat in totaal om  $13 \times 4 = 52$  weken ofwel 364 dagen. Dat is op 1 dag na een jaar, dus optelsommen over alle 13 perioden kunnen als een jaartotaal worden gebruikt.

Voor iedere periode van 4 weken zijn de berekeningen herhaald met de startdatum in elk van de 12 jaren in 2003–2014. Dat betekent dus dat alle resultaten gemiddelden zijn over 12 jaren buitenweer.

## 4.2 Resultaten

### 4.2.1 Elektrische energie

In [Tabel 4.1](#) staat de elektrische energie voor de 9 perioden van 4 weken waarin de belichting gebruikt wordt. Ieder getal is een gemiddelde over de 12 gebruikte jaren buitenweer.

**Tabel 4.1.** Elektrische energie in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor een toelichting). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). Merk op dat er in de periode van week 13–16 slechts één week met belichting is (week 13) en dat er in de periode van week 33–36 slechts twee weken met belichting zitten (week 35 en week 36). Het resultaat voor *alle* 13 periodes is te vinden in [Tabel A.1](#) op [bladzijde 45](#).

scenario	Elektra ( $\text{kWh m}^{-2}$ ) voor de weken								
	1-4	5-8	9-12	13-16	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52
Oud 60 uMol	16.7	16.1	12.3	2.6	7.5	11.3	14.8	16.7	16.7
60 SON-T	14.5	13.9	10.7	2.3	6.5	9.8	12.8	14.5	14.5
130 SON-T	31.3	30.1	23.2	4.9	14.1	21.2	27.7	31.3	31.3
200 SON-T	48.2	46.4	35.6	7.5	21.7	32.7	42.6	48.2	48.2
300 SON-T	72.3	69.5	53.4	11.3	32.5	49.0	63.9	72.3	72.3
60 Hybride	11.7	11.2	8.6	1.8	5.3	7.9	10.3	11.7	11.7
130 Hybride	25.3	24.4	18.7	3.9	11.4	17.2	22.4	25.3	25.3
200 Hybride	39.0	37.5	28.8	6.1	17.5	26.4	34.4	39.0	39.0
300 Hybride	58.5	56.2	43.2	9.1	26.3	39.6	51.6	58.5	58.5
60 LED	8.9	8.6	6.6	1.4	4.0	6.0	7.9	8.9	8.9
130 LED	19.3	18.6	14.3	3.0	8.7	13.1	17.1	19.3	19.3
200 LED	29.7	28.6	22.0	4.6	13.4	20.1	26.2	29.7	29.7
300 LED	44.6	42.9	32.9	7.0	20.1	30.2	39.4	44.6	44.6

**Tabel 4.2.** Bruto fotosynthese in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor een toelichting). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). Het resultaat voor *alle* 13 periodes is te vinden in [Tabel A.2](#) op [bladzijde 46](#).

scenario	Bruto fotosynthese ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) voor de weken								
	1-4	5-8	9-12	13-16	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52
Oud 60 uMol	9.7	12.4	16.3	19.3	20.6	16.6	12.9	9.9	8.8
60 SON-T	10.5	13.9	19.0	23.4	24.9	19.7	14.9	10.9	9.5
130 SON-T	17.1	20.2	24.1	24.5	27.8	24.3	20.7	17.5	16.1
200 SON-T	23.4	26.3	28.9	25.5	30.7	28.9	26.5	24.0	22.5
300 SON-T	32.1	34.4	35.2	26.8	34.3	34.6	34.0	32.5	31.2
60 Hybride	10.5	13.9	19.0	23.4	24.9	19.7	14.9	10.9	9.4
130 Hybride	17.0	20.2	24.1	24.5	27.8	24.3	20.7	17.5	16.1
200 Hybride	23.4	26.2	28.9	25.5	30.7	28.9	26.5	24.0	22.5
300 Hybride	32.1	34.3	35.2	26.8	34.4	34.7	34.0	32.6	31.2
60 LED	10.5	13.9	19.0	23.4	24.9	19.7	14.9	10.9	9.4
130 LED	17.0	20.1	24.1	24.5	27.8	24.3	20.7	17.5	16.0
200 LED	23.3	26.1	28.8	25.5	30.8	29.0	26.5	23.9	22.4
300 LED	31.9	34.2	35.1	26.8	34.5	34.8	34.1	32.5	31.1

De verschillen tussen de scenario's zijn geheel toe te schrijven aan de verschillen in lampvermogen en het verschil in elektrische efficiëntie tussen de bestaande "oude" kas en de moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#)). De verschillen tussen de seizoenen (de kolommen) komen tot stand door de daglichtdrempel. Die is hetzelfde voor alle scenario's (zie ook [paragraaf 3.4.3](#)).

### 4.2.2 Bruto fotosynthese

In [Tabel 4.2](#) staat de bruto fotosynthese. Allereerst blijkt al een behoorlijk verschil tussen de bestaande kas en een moderne, lichte kas (vergelijk de eerste twee regels), vooral in de maanden dat er wat meer zonlicht is.

Hogere intensiteiten van de belichting leiden vervolgens uiteraard tot hogere producties. De 4 periodes zonder belichting zijn uit [Tabel 4.2](#) weggelaten. Ze zijn wel te vinden in [Appendix A](#) in [Tabel A.2](#) op [bladzijde 46](#). Daar is te zien dat met 200 en 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting de zomerproductie wordt benaderd of overstege.

De verschillen tussen SON-T, LED en hybride belichting zijn erg klein en worden in de simulaties veroorzaakt door verschillen in de energiebalans van het blad. Een hogere instraling (bij SON-T) leidt tot iets hogere bladtemperaturen, maar vooral tot een hogere verdamping, met consequenties voor warmtevraag en ventilatie. Het effect op de fotosynthese zelf is echter beperkt.

Daarbij moet aangetekend worden dat het effect van extra straling op de temperatuur van niet verdampende plantdelen groter is. Ook bij een (tijdelijk) lage RV of een vochttekort zullen bladeren direct warmer worden tengevolge van een hogere instraling. Het effect van SON-T versus LED belichting kan dus zeker niet alleen worden afgemeten aan het (geringe) verschil in de fotosynthese.

### 4.2.3 Buiswarmte

Het gasgebruik in de 9 periodes met belichting is te vinden in [Tabel 4.3](#). Zoals te verwachten was is het warmtegebruik bij LED belichting aanzienlijk groter dan bij SON-T belichting, vooral in de koudste maanden.

Het effect van een toenemende belichting op het warmtegebruik is lastiger te interpreteren. Vanaf 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  zien we eerst een daling van het gasgebruik (het verschil tussen 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en 130  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bij de drie typen belichting). Het ligt voor de hand dat deze daling in de warmtebehoefte het resultaat is van lampwarmte. De daling is voor SON-T inderdaad groter dan voor LED.

Bij 200 of 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting echter treedt in een aantal gevallen weer een stijging van het warmtegebruik op, bijvoorbeeld bij SON-T en hybride belichting in week 1-4 en voor alle typen belichting in week 45-48 en in week 49-52. De reden voor dit aanvankelijk wat onverwachte resultaat is dat de teelt bij dergelijke intensiteiten helemaal geen koele teelt meer is. In verband met de grote lichtsom wordt de etmaaltemperatuur op een veel hogere waarde gebracht dan bij 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting en daardoor neemt de warmtevraag weer toe.

**Tabel 4.3.** Gasgebruik in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor een toelichting). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). Merk op dat er in de periode van week 13–16 slechts één week met belichting is (week 13) en dat er in de periode van week 33–36 slechts twee weken met belichting zitten (week 35 en week 36). Het resultaat voor *alle* 13 periodes is te vinden in [Tabel A.3](#) op [bladzijde 47](#).

scenario	Gas ( $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ ) voor								
	1-4	5-8	9-12	13-16	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52
Oud 60 uMol	1.6	1.8	1.5	1.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.4
60 SON-T	1.3	1.6	1.5	1.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2
130 SON-T	1.0	1.3	1.1	1.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9
200 SON-T	1.0	1.2	1.0	1.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
300 SON-T	1.2	1.2	1.0	1.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.1
60 Hybride	1.5	1.7	1.6	1.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4
130 Hybride	1.2	1.5	1.3	1.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
200 Hybride	1.2	1.4	1.2	1.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0
300 Hybride	1.3	1.3	1.0	1.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2
60 LED	1.6	1.9	1.8	1.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5
130 LED	1.5	1.8	1.6	1.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3
200 LED	1.5	1.8	1.4	1.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.3
300 LED	1.5	1.6	1.2	1.5	0.5	0.5	0.7	1.1	1.4

**Tabel 4.4.** Gasgebruik overdag en 's nachts in week 1–4 en in week 41–44 voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor een toelichting). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). Het nachtelijk warmtegebruik in alle periodes (en in alle gesimuleerde jaren) is te vinden in [Appendix C](#) in [Tabel C.1](#) vanaf [bladzijde 59](#).

scenario	week 1–4			week 41–44		
	Overdag $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	Donker $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	Etmaal $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	Overdag $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	Donker $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	Etmaal $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$
Oud 60 uMol	0.50	1.06	1.6	0.43	0.47	0.9
60 SON-T	0.44	0.91	1.3	0.47	0.53	1.0
130 SON-T	0.15	0.86	1.0	0.22	0.52	0.7
200 SON-T	0.08	0.94	1.0	0.09	0.58	0.7
300 SON-T	0.06	1.13	1.2	0.04	0.63	0.7
60 Hybride	0.56	0.93	1.5	0.53	0.54	1.1
130 Hybride	0.22	0.98	1.2	0.25	0.58	0.8
200 Hybride	0.12	1.06	1.2	0.11	0.62	0.7
300 Hybride	0.08	1.19	1.3	0.06	0.65	0.7
60 LED	0.69	0.96	1.6	0.61	0.55	1.2
130 LED	0.34	1.14	1.5	0.33	0.67	1.0
200 LED	0.24	1.26	1.5	0.13	0.70	0.8
300 LED	0.14	1.40	1.5	0.06	0.68	0.7

#### 4.2.4 Buiswarmte overdag en 's nachts

Het is in het geval van buiswarmte van belang om onderscheid te maken tussen de warmtevraag overdag (met lampen en/of zonlicht) en die in het donker. Dat wordt gedaan in [Tabel 4.4](#) voor week 1–4 en week 41–44.

We zien de warmtevraag overdag sterk afnemen met een toenemende intensiteit van de lampen, voor SON-T belichting tot vrijwel nul. In het donker echter blijft warmte nodig en die stijgt met de belichting omdat de etmaal temperatuur bij meer licht hoger wordt. Dit mengsel van een daling overdag en een stijging in het donker veroorzaakt het ingewikkelde gedrag van het totale gasverbruik.

De nachtelijke warmtebehoefte is met 200 of 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED belichting in januari 25% hoger dan met SON-T belichting. Dat komt omdat met SON-T lampen de temperatuur overdag verder oploopt (tot aan het ventilatiepunt) en daardoor komt het stookpunt in de nacht lager te liggen dan met LED lampen en is dus ook het gasgebruik lager.

[Tabel 4.5](#) toont het nachtelijk warmtegebruik (nu in  $\text{MJ m}^{-2}$ ) in zes gesimuleerde periodes, alsmede het jaarverbruik *zonder de zomerperiode van week 17–32* (zie hieronder [paragraaf 4.2.5](#)). De standaard deviaties in de totaal kolom zijn berekend uit de verschillen tussen de jaren 2003–2014 waarvoor de simulaties zijn gedaan.

Het beeld dat uit [Tabel 4.5](#) naar voren komt bevestigt dat van [Tabel 4.4](#). De warmtevraag neemt toe met de belichting (door de hogere etmaal temperatuur bij meer licht), het minst voor SON-T en het sterkst voor LED belichting. De verschillen tussen de scenario's zijn echter niet heel groot en ruwweg slechts een factor 2 groter dan de verschillen tengevolge van verschillend weer. Het nachtelijk warmtegebruik in alle periodes (en in alle gesimuleerde jaren) is te vinden in [Tabel C.1](#).

**Tabel 4.5.** Gesimuleerde nachtelijke warmtevraag in  $\text{MJ m}^{-2}$  voor enkele periodes van 4 weken alsmede het totaal over negen periodes van 4 weken, *zonder de weken 17–32* (de zomer). De standaard deviaties komen voort uit de verschillen in weer tussen de gesimuleerde jaren 2003–2014. Het nachtelijk warmtegebruik in alle periodes (en in alle gesimuleerde jaren) is te vinden in [Appendix C](#) in [Tabel C.1](#) vanaf [bladzijde 59](#).

scenario	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week						totaal ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) zonder week 17–32
	1-4	13-16	33-36	41-44	45-48	49-52	
Oud 60 uMol	34.9	45.0	11.9	15.7	23.6	31.8	$247.1 \pm 32.3$
60 SON-T	30.0	46.2	14.1	17.4	23.0	27.6	$241.2 \pm 23.5$
130 SON-T	28.4	45.4	13.1	17.2	20.0	24.6	$229.8 \pm 27.0$
200 SON-T	31.2	44.3	12.7	19.2	22.8	27.0	$238.8 \pm 24.3$
300 SON-T	37.2	43.8	12.5	20.9	28.6	35.3	$260.8 \pm 21.9$
60 Hybride	30.8	46.3	14.2	17.8	23.8	28.6	$246.0 \pm 22.8$
130 Hybride	32.5	46.2	13.9	19.2	23.1	28.7	$254.3 \pm 27.7$
200 Hybride	35.1	45.0	12.7	20.5	24.6	30.6	$258.9 \pm 26.5$
300 Hybride	39.4	44.0	12.7	21.3	29.5	37.4	$270.6 \pm 23.8$
60 LED	31.6	46.3	14.4	18.1	24.5	29.4	$249.7 \pm 22.3$
130 LED	37.7	46.8	14.8	22.1	28.1	34.2	$283.7 \pm 25.8$
200 LED	41.5	46.2	13.0	23.1	29.1	37.5	$294.1 \pm 26.7$
300 LED	46.1	44.6	12.6	22.5	32.8	44.0	$300.2 \pm 25.2$

### 4.2.5 Buiswarmte in de zomer

In [Tabel 4.3](#) op [bladzijde 34](#) zijn de vier periodes zonder belichting weer weggelaten. Ze zijn wel te vinden in [Appendix A](#) in [Tabel A.3](#) op [bladzijde 47](#). Daarin is te zien dat het gasgebruik in de zomer niet afneemt naar (bijna) nul. Om verschillende redenen is het gesimuleerde zomerverbruik hoger dan nodig:

Allereerst wordt in de simulaties geprobeerd om op *alle dagen apart* de gewenste gemiddelde etmaal temperatuur  $\overline{T}_{et}$  te realiseren. Om een te lage  $\overline{T}_{et}$  te voorkomen wordt dan soms 's nachts gestookt, terwijl op andere dagen een te hoge  $\overline{T}_{et}$  niet kan worden voorkomen omdat het buiten te warm blijft (en er geen koeling is). Met andere woorden, er is geen correctie voor te warme dagen en zo'n correctie zou gas besparen (met behulp van een gemiddelde over de laatste 7 dagen bijvoorbeeld).

Verder wordt soms de verwarming door de virtuele klimaatcomputer aangeschakeld om in de vroege ochtend de kas in twee uur tijds op te warmen tot het dagsetpoint. Ook dat is in de zomer niet nodig en kan met een betere instelling van de klimaatcomputer worden voorkomen.

Ook in de praktijk wordt er 's zomers gestookt, voor ontvochtiging in de nacht bijvoorbeeld, maar veel minder. Daar moet dus nauwkeurig naar worden gekeken en dan kan de simulatie worden verbeterd. Echter, omdat dit allemaal niet speelt in het belichtingsseizoen is daar nog geen aandacht aan besteed.

### 4.2.6 Verdamping, CO<sub>2</sub> gebruik en ventilatie

In [Tabel 4.6](#) is te zien dat de verdamping sterk toeneemt met de belichting (en de fotosynthese). Dat effect is het sterkst voor SON-T belichting vanwege de extra instraling. Het ventilatievoud neemt echter niet toe maar af! De reden is de

**Tabel 4.6.** Gesimuleerde lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie in week 1–4 voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor een toelichting). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). Tabellen voor alle 13 periodes zijn te vinden in [Appendix B](#).

scenario	Lichtsom $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$	CO <sub>2</sub> gebruikt $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	gebruikt %	Verdamping $\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$	Vent $\text{d}^{-1}$	Temp °C
Oud 60 uMol	5.7	576	25	0.5	3.5	10.2
60 SON-T	6.3	558	28	0.5	2.8	10.6
130 SON-T	10.2	634	40	0.8	1.6	13.6
200 SON-T	14.1	774	45	1.1	1.0	16.4
300 SON-T	19.8	943	50	1.6	0.7	19.5
60 Hybride	6.3	553	29	0.5	2.7	10.6
130 Hybride	10.2	570	45	0.7	1.3	13.5
200 Hybride	14.1	665	52	0.9	0.7	16.3
300 Hybride	19.8	805	59	1.3	0.4	19.4
60 LED	6.3	544	29	0.5	2.6	10.5
130 LED	10.2	548	46	0.6	1.0	13.4
200 LED	14.1	591	58	0.8	0.5	16.1
300 LED	19.8	699	67	1.1	0.1	19.2

hogere etmaaltemperatuur die afhankelijk gemaakt is van de lichtsom (beide ook in [Tabel 4.6](#)). Bij een hogere kasttemperatuur is raamventilatie zoveel efficiënter dat het ventilatievoud afneemt met de intensiteit van de belichting.

Het gevolg van een lager ventilatievoud is dan weer een efficiënter gebruik van de gedoseerde CO<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub> gift stijgt daardoor veel minder snel dan de productie in [Tabel 4.2](#).

Het CO<sub>2</sub> gebruik is voor alle periodes van 4 weken te vinden in [Tabel A.4](#) op [bladzijde 48](#) in [Appendix A](#). Tabellen zoals [Tabel 4.6](#) voor week 1–4 zijn gemaakt voor alle gesimuleerde periodes en zijn te vinden in [Appendix B](#).

De opgenomen fractie van de CO<sub>2</sub> is berekend met de *bruto fotosynthese*. Door onderhoudsademhaling en conversieverliezen bij de groei wordt van de aanvankelijk geproduceerde suikers ruwweg 1/3 deel weer omgezet in CO<sub>2</sub> en water. In de simulaties is daarmee geen rekening gehouden zodat de waarden voor de opgenomen fractie in werkelijkheid lager zal uitkomen.

### 4.3 Discussie en conclusies

Met een etmaal temperatuur die de 20°C benadert is de Freesia teelt bij een hoge intensiteit van de belichting geen koele teelt meer te noemen. De vereiste temperatuur tijdens de belichting kan bijna helemaal met lampwarmte worden bereikt, in het bijzonder als tenminste een deel van de belichting uit SON-T lampen bestaat. In verband met de hogere etmaaltemperatuur neemt echter de warmtebehoefte in de donkerperiode eerder toe dan af.

De extra warmte van SON-T lampen vertaalt zich in een lager gasgebruik, ook als de lampen uit zijn! Het is echter dure, met elektriciteit geproduceerde warmte en dat is alleen voordelig als SON-T licht ook om andere redenen gewenst is.

In de simulaties is gerekend met twee schermen in de nacht, dus met betere schermen is nog wel iets meer, maar niet veel meer warmte te besparen.

Het lijkt niet goed mogelijk om de donkerperiode door te komen zonder een warmtebron. Het opwarmen van een warmtebuffer met behulp van een warmtepomp die overdag de latente warmte uit de kaslucht terugwint (ontvochtiging) is een mogelijkheid. Er hoeft dan niet gekierd en gelucht te worden en de CO<sub>2</sub> blijft binnen. In [van Weel et al. \(2016\)](#) worden verschillende mogelijkheden beschreven.

In het geval van Freesia teelt met veel belichting is het winnen van warmte in de zomer voor gebruik in de winter mogelijk niet nodig. Als er overdag voldoende latente warmte (verdampingswarmte) wordt teruggewonnen om de nacht door te komen dan kan met een kleinere opslag worden volstaan. De teruggewonnen warmte is uiteindelijk natuurlijk afkomstig van de lampen (de stralingsenergie en de lampwarmte) en we hebben het hier dus over het verplaatsen van warmte van de dag naar de nacht.

Het te compenseren nachtelijk warmtegebruik buiten de zomer bedraagt ongeveer 250 MJ m<sup>-2</sup> iets meer met LED belichting en iets minder met SON-T belichting (zie de totaal kolom voor 9 periodes van 4 weken in [Tabel 4.5](#) op [bladzijde 35](#)).

De verdampingswarmte van een liter water is 2.4 MJ. Als met een warmtepomp een condenserend oppervlak op 10°C onder de kasttemperatuur wordt gehouden zal bij een vochtgehalte van 90% in de kas ongeveer 40% van het vocht op het gekoelde oppervlak condenseren. Met een verdamping van 1.5 kg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> kan dan in vier weken 40 MJ m<sup>-2</sup> via ontvochtiging uit de kaslucht worden gepompt en in

9 periodes van 4 weken dus ongeveer  $360 \text{ MJ m}^{-2}$  (vergelijk [Tabel 4.5](#)). Dat is de juiste orde van grootte. Of het genoeg is hangt af van lekventilatie en condensatie tegen het kasdek (goede schermen!!), de grootte van de buffer, het optreden van koudeperiodes en de lengte van koudeperiodes.

De gevolgen van een hogere etmaaltemperatuur voor de koeling van de grond zijn niet in het model opgenomen omdat de warmtestromen van en naar de bodem zijn genegeerd (in verband met het gebruik van een isolerende laag korrels). Als er ook in de winter warmte wordt "weggekoeld" in de grond dan zal dat de warmtevraag van de kaslucht verhogen.

Tenslotte moet bij de interpretatie van de resultaten bedacht worden dat alle berekende waarden beïnvloed worden door afwijkingen in parameter waarden en door de vereenvoudigingen die nu eenmaal eigen zijn aan elk simulatiemodel.



---

# Discussie, conclusies en aanbevelingen voor onderzoek

---

In deze verkennende studie oriënteren we ons op een moderne, duurzame en efficiënte freesiateelt. Dit doen we door middel van een analyse van de knelpunten in de huidige teelt (Hoofdstuk 2.1) in combinatie met modelmatige berekeningen van de effecten van verschillende belichtingsscenario's op gewasproductiviteit, kas-klimaat en energieverbruik (Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4).

Uit de berekeningen blijkt dat de extra belichting goed benut wordt voor extra assimilatie (Tabel 4.2). Ook wordt het CO<sub>2</sub> veel effectiever benut bij hogere intensiteiten belichting door de hogere CO<sub>2</sub>-opname door het gewas en de verminderde ventilatie, vooral bij LED licht (Tabel 4.6). De verwachting is dat die extra assimilatie omgezet zal kunnen worden in extra productie (meer stelen en zwaardere stelen). In hoeverre dit werkelijk lukt zal moeten blijken uit een proef.

Waar een mogelijk probleem zit bij hogere intensiteiten belichting is dat de temperatuur van de kaslucht te ver moet oplopen om de assimilatie in balans te houden met de gewasvraag (groei). Temperaturen van rond de 20°C of hoger geven mogelijk fysiologische problemen met de knopontwikkeling. Vooral 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting geeft relatief hoge lichtsommen. In de huidige teelt wordt alleen in juni en juli gemiddeld rond de 20  $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  PAR in de kas gehaald. Bij 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  zal de belichting al ten dele moeten worden afgeschakeld ná week 4 en vóór week 47 om niet boven de 20  $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  PAR in de kas uit te komen (Figuur 2.5). Dat zou een slechte benutting van de investering in belichting betekenen. Op dit moment lijkt 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting haalbaarder.

Het elektraverbruik neemt logischerwijs lineair toe met een toenemende intensiteit belichting (Tabel 4.1). Echter, door SON-T geheel of gedeeltelijk te vervangen door de modernste LED-belichting wordt de verhouding tussen productiviteit en elektraverbruik een stuk gunstiger. Nog afgezien van de kostprijs van de LED lampen zelf, dringt zich vervolgens de vraag op wat de gevolgen zijn van 100% LED voor de warmtevraag.

In de donkerste periode van het jaar halveert overdag de berekende warmtevraag bij 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED ten opzichte van de situatie met 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  oude SON-T (Tabel 4.4). Wat een groter probleem lijkt is de nachtelijke warmtevraag. Die blijft in alle berekende belichtingsscenario's relatief hoog en ligt bij 100% LED

aanmerkelijk hoger dan bij 100% SON-T (hybride belichting zit daar zoals verwacht tussenin). Dit staat een fossielvrije, intensieve freesiateelt mogelijk in de weg. Hieronder enkele overwegingen ten aanzien van de nachtelijke warmtevraag waaronder ook maatregelen om aan die warmtevraag te voldoen of om die in meer of mindere mate te beperken:

- Overdag de temperatuur verder laten oplopen en 's nachts verder laten zakken beperkt de warmtevraag in de nacht. Hiertoe is slechts beperkt extra ruimte, omdat in de berekeningen het gestelde maximum van 7°C temperatuurverschil tussen dag en nacht (i.v.m. voorkomen stengelbreuk) vaak al bereikt is. Op heel koude dagen is er bij 100% LED belichting ook warmtevraag overdag, dus dan biedt zo'n maatregel sowieso geen uitkomst.
- Actieve ontvochtiging beperkt de nachtelijke warmtevraag doordat het scherm volledig gesloten kan blijven. In de berekeningen wordt 's nachts gekierd om te ontvochtigen en dat kost warmte. Bovendien kan de latente warmte uit de te ontvochtigen kaslucht worden teruggewonnen en worden gebruikt om met een warmtepomp een warmtebuffer op te warmen. Ook overdag hoeft zo minder gelucht te worden en kan dus de warmtevraag verder worden beperkt.
- In de scenario berekeningen van [Hoofdstuk 4](#) is bodemkoeling genegeerd, terwijl dit wel praktisch is in de freesiateelt. De bedrijven die duurzaam koelen doen dit in het algemeen met behulp van een elektrische warmtepomp in combinatie met warmte- en koudeopslag in aquifers. Hierdoor is warmte óver die in de nacht ingezet kan worden<sup>1</sup>.
- Langer doorbelichten dan 16 uur per dag. Een te lange fotoperiode staat erom bekend de doorgroei van haken op de bloemtakken te remmen. Maar mogelijk heeft het lichtspectrum daar invloed op en is met het juiste spectrum wél een langere belichting zonder problemen te realiseren. Dit beperkt de warmtevraag, zeker onder gesloten doeken als het buiten donker is. Of dit fysiologisch mogelijk is ligt aan het mechanisme dat de haak-doorgroei remt bij lange fotoperiodes: Indien het om een fytochroom-A gestuurd proces gaat is met de juist belichting een langere fotoperiode mogelijk, maar indien het om een fytochroom-B gestuurd proces gaat niet ([Trouwborst et al., 2013](#)). Mogelijk is er sprake van een geheel ander mechanisme.

Een andere overweging betreft het gebruik van lampwarmte. Met hybride of SON-T belichting is de vraag naar buiswarmte zowel overdag als 's nachts lager dan bij 100% LED ([Tabel 4.4](#)). De vraag is echter of het opwarmen van de kas met dure, uit elektrische energie geproduceerde warmte past binnen het concept van een duurzame en efficiënte freesiateelt<sup>2</sup>. Hoe dan ook zal op koude dagen in de winter een aanvullende warmtebron nodig zijn voor de nacht, zelfs bij  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T (zie [Appendix C, Tabel C.1](#) op [bladzijde 59](#)). Het gebruik van 100% LED in combinatie met voldoende warmteopslag lijkt daarom passender.

De hoge PAR opbrengst pleit dus voor LED lampen. Maar het is de vraag of 100% LED belichting geen fysiologische problemen geeft: Krijgen de ontwikke-

<sup>1</sup>Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het opnemen van bodemkoeling in de berekeningen de warmtevraag zal vergroten ten opzichte van de in dit rapport geschatte hoeveelheden. De isolatie van de bodem is immers niet perfect. Belangrijk is echter ook dat een warmtepomp al aanwezig is en de installatie mogelijk kan worden uitgebreid als er geen gas meer wordt gebruikt.

<sup>2</sup>Bij het "verstoken" van elektriciteit zoals in een waterkoker wordt elektrische energie direct in warmte omgezet. Dat kost voor dezelfde hoeveelheid warmte veel meer elektriciteit dan het gebruik van een warmtepomp. Ook de warmte die een SON-T lamp genereert ontstaat doordat een deel van de elektriciteit in warmte wordt omgezet en ook dat is dus "dure warmte".

lende bloemknoppen bij belichting zonder de NIR-stralingswarmte van SON-T nog voldoende warmte in verhouding tot de assimilatie? En heeft het lichtspectrum invloed op de morfologische ontwikkeling van bloemtakken en knoppen?

Om te toetsen of en hoe een moderne, duurzame en intensieve freesiateelt kan plaatsvinden wordt aanbevolen de volgende vragen experimenteel te onderzoeken:

1. Wordt de extra assimilatie bij  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  belichting goed omgezet in productie van stelen (aantal en/of gewicht)?
2. Is de gekozen relatie tussen de dagelijkse lichtsom en de temperatuur passend voor een goede balans tussen aanbod van assimilaten (source) en vraag naar assimilaten (sink)?
3. Geeft de hogere etmaaltemperatuur van rond de  $20^\circ\text{C}$  gedurende een groot gedeelte van de teelt geen fysiologische problemen met de knopontwikkeling?
4. Geeft een groter verschil tussen dag- en nachttemperatuur (tot  $7^\circ\text{C}$  of nog meer) om te besparen op de warmtevraag in de nacht kwaliteitsproblemen? Nu is in de praktijk het verschil in de winter meestal kleiner dan  $7^\circ\text{C}$ .
5. Hoe verloopt de fysiologische ontwikkeling bij 100% LED versus hybride belichting? In hoeverre liggen eventuele verschillen aan het spectrum en/of de warmtebalans?
6. Kan langer dan 16 uur belicht worden met het juiste spectrum zonder remmende werking op de haak-doorgroei? Dat zou leiden tot een veel lagere warmtevraag in de nacht.

# Referenties

- Caemmerer, S., Farquhar, G. D., 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153, 376–387.
- Farquhar, G. D., Caemmerer, S. V., Berry, J. A., 1980. A biochemical-model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta* 149, 78–90.
- Goudriaan, J., 1977. Crop micrometeorology: a simulation study. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. PhD thesis Agricultural University Wageningen.
- Goudriaan, J., van Laar, H. H., 1994. Modelling potential crop growth processes. Textbook with exercises. *Current Issues in Production Ecology, Volume 2*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Pot, S., Schapendonk, A., Snel, J., Pronk, H., 2016. Telen op basis van plantbalans bij koude teelten (vergelijkend praktijkonderzoek met freesia als voorbeeldgewas). Plant Dynamics, Randwijk. Op internet beschikbaar als [https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/20026\\_Eindrapport\\_Telen\\_op\\_basis\\_van\\_plantbalans\\_bij\\_koude\\_teelten\\_Freesia.pdf](https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/20026_Eindrapport_Telen_op_basis_van_plantbalans_bij_koude_teelten_Freesia.pdf).
- Trouwborst, G., Hogewoning, S. W., Pot, C. S., 2013. Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V., Bunnik. 61p. Op internet beschikbaar als [http://www.plantlighting.nl/wp-content/uploads/Plant-Lighting-BV-2013\\_Stuurlicht-bij-de-tijd\\_paprikaproef\\_eindrapport.pdf](http://www.plantlighting.nl/wp-content/uploads/Plant-Lighting-BV-2013_Stuurlicht-bij-de-tijd_paprikaproef_eindrapport.pdf).
- van Weel, P. A., de Zwart, H. F., Voogt, J. O., 2016. Vochtbeheersing in kassen en terugwinning van latente energie, een verkenning naar vochtbeheersing in kassen en de mogelijkheden van het terugwinnen van de energie die opgesloten zit in de gewasverdamping. Rapport, Wageningen University & Research, Wageningen. Rapport GTB-1421, DOI 10.18174/401229.
-

# Appendices

---

## Resultaten voor alle perioden van 4 weken

---

Hier staan enkele tabellen uit [Hoofdstuk 4](#) nogmaals afgedrukt, nu inclusief de periodes in de zomer. De regels in de tabellen zijn voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor verdere uitleg).

In de zomer periodes, als er geen belichting is, is het resultaat voor de 12 belichtingsscenario's hetzelfde en blijft er alleen het verschil tussen de bestaande kas ("oud") en de moderne kas (de overige 12 scenario's) over.

Merk op dat het gasverbruik in de zomer (in [Tabel A.3](#)) te hoog gesimuleerd wordt (zie daarover ook [paragraaf 4.2.5](#)). Het is echter wel precies hetzelfde voor de 12 scenarios in een moderne kas (omdat er niet belicht wordt). De *verschillen* is de totaal kolom geven dus het effect van extra belichting weer.

**Tabel A.1.** Elektrische energie in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor verdere uitleg). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). De laatste kolom bevat het totaal over de 13 periodes (dus voor  $13 \times 28 = 364$  dagen).

scenario	Electra ( $\text{kWh m}^{-2}$ ) voor													
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	totaal
Oud 60 uMol	16.7	16.1	12.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	11.3	14.8	16.7	16.7	114.8
60 SON-T	14.5	13.9	10.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	9.8	12.8	14.5	14.5	99.3
130 SON-T	31.3	30.1	23.2	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	21.2	27.7	31.3	31.3	215.2
200 SON-T	48.2	46.4	35.6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	21.7	32.7	42.6	48.2	48.2	331.1
300 SON-T	72.3	69.5	53.4	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	49.0	63.9	72.3	72.3	496.7
60 Hybride	11.7	11.2	8.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	7.9	10.3	11.7	11.7	80.3
130 Hybride	25.3	24.4	18.7	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	17.2	22.4	25.3	25.3	174.0
200 Hybride	39.0	37.5	28.8	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	26.4	34.4	39.0	39.0	267.7
300 Hybride	58.5	56.2	43.2	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	39.6	51.6	58.5	58.5	401.5
60 LED	8.9	8.6	6.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	6.0	7.9	8.9	8.9	61.2
130 LED	19.3	18.6	14.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	13.1	17.1	19.3	19.3	132.7
200 LED	29.7	28.6	22.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4	20.1	26.2	29.7	29.7	204.1
300 LED	44.6	42.9	32.9	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	30.2	39.4	44.6	44.6	306.2

**Tabel A.2.** Bruto dagelijkse fotosynthese in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie paragraaf 3.4.3 en paragraaf 4.1 voor verdere uitleg). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003-2014). De laatste kolom bevat het gemiddelde dagverbruik (dus over  $13 \times 28 = 364$  dagen).

scenario	Productie ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) voor													
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	gemiddeld
Oud 60 uMol	9.7	12.4	16.3	19.3	21.9	24.8	24.9	22.7	20.6	16.6	12.9	9.9	8.8	17.0
60 SON-T	10.5	13.9	19.0	23.4	26.6	30.2	30.5	27.9	24.9	19.7	14.9	10.9	9.5	20.1
130 SON-T	17.1	20.2	24.1	24.5	26.6	30.2	30.5	27.9	27.8	24.3	20.7	17.5	16.1	23.7
200 SON-T	23.4	26.3	28.9	25.5	26.6	30.2	30.5	27.9	30.7	28.9	26.5	24.0	22.5	27.1
300 SON-T	32.1	34.4	35.2	26.8	26.6	30.2	30.5	27.9	34.3	34.6	34.0	32.5	31.2	31.6
60 Hybride	10.5	13.9	19.0	23.4	26.6	30.2	30.5	27.9	24.9	19.7	14.9	10.9	9.4	20.1
130 Hybride	17.0	20.2	24.1	24.5	26.6	30.2	30.5	27.9	27.8	24.3	20.7	17.5	16.1	23.6
200 Hybride	23.4	26.2	28.9	25.5	26.6	30.2	30.5	27.9	30.7	28.9	26.5	24.0	22.5	27.1
300 Hybride	32.1	34.3	35.2	26.8	26.6	30.2	30.5	27.9	34.4	34.7	34.0	32.6	31.2	31.6
60 LED	10.5	13.9	19.0	23.4	26.6	30.2	30.5	27.9	24.9	19.7	14.9	10.9	9.4	20.1
130 LED	17.0	20.1	24.1	24.5	26.6	30.2	30.5	27.9	27.8	24.3	20.7	17.5	16.0	23.6
200 LED	23.3	26.1	28.8	25.5	26.6	30.2	30.5	27.9	30.8	29.0	26.5	23.9	22.4	27.0
300 LED	31.9	34.2	35.1	26.8	26.6	30.2	30.5	27.9	34.5	34.8	34.1	32.5	31.1	31.5



**Tabel A.3.** Gasgebruik in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie paragraaf 3.4.3 en paragraaf 4.1 voor verdere uitleg). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003-2014). De laatste kolom bevat het totaal over de 13 periodes (dus voor  $13 \times 28 = 364$  dagen). Merk op dat het verbruik in de zomer te hoog gesimuleerd wordt (zie daarover ook paragraaf 4.2.5). Het is echter wel precies hetzelfde voor de 12 scenarios in een moderne kas (omdat er niet belicht wordt). De *verschillen* is de totaal kolom geven dus het effect van extra belichting weer.

scenario	Gas ( $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ ) voor													totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	
Oud 60 uMol	1.6	1.8	1.5	1.6	1.3	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.4	14.8
60 SON-T	1.3	1.6	1.5	1.6	1.3	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	14.6
130 SON-T	1.0	1.3	1.1	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	12.1
200 SON-T	1.0	1.2	1.0	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9	11.7
300 SON-T	1.2	1.2	1.0	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.9	1.1	12.1
60 Hybride	1.5	1.7	1.6	1.7	1.3	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	15.5
130 Hybride	1.2	1.5	1.3	1.6	1.3	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	13.2
200 Hybride	1.2	1.4	1.2	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	12.6
300 Hybride	1.3	1.3	1.0	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	12.6
60 LED	1.6	1.9	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	16.4
130 LED	1.5	1.8	1.6	1.6	1.3	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	15.0
200 LED	1.5	1.8	1.4	1.6	1.3	0.9	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	1.3	14.2
300 LED	1.5	1.6	1.2	1.5	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	1.1	1.4	13.8

**Tabel A.4.** Dagelijks CO<sub>2</sub> gebruik in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie paragraaf 3.4.3 en paragraaf 4.1 voor verdere uitleg). Elk getal is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014). De laatste kolom bevat het gemiddelde dagverbruik (dus over  $13 \times 28 = 364$  dagen).

scenario	CO <sub>2</sub> (kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) voor												gemiddeld	
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48		49-52
Oud 60 uMol	576	709	903	1036	1093	1146	1159	974	971	834	725	611	546	868
60 SON-T	558	669	882	1062	1150	1243	1250	1064	1048	889	764	618	532	902
130 SON-T	634	701	908	1074	1150	1243	1250	1064	1175	1120	1001	784	604	977
200 SON-T	774	795	954	1088	1150	1243	1250	1064	1319	1346	1196	939	749	1067
300 SON-T	943	979	1115	1131	1150	1243	1250	1064	1478	1581	1425	1110	913	1183
60 Hybride	553	657	877	1060	1150	1243	1250	1064	1046	888	760	621	523	899
130 Hybride	570	653	870	1068	1150	1243	1250	1064	1167	1098	957	709	538	949
200 Hybride	665	712	889	1073	1150	1243	1250	1064	1282	1271	1088	800	633	1009
300 Hybride	805	856	1011	1107	1150	1243	1250	1064	1424	1470	1262	941	771	1104
60 LED	544	648	872	1058	1150	1243	1250	1064	1044	884	757	620	522	897
130 LED	548	627	855	1065	1150	1243	1250	1064	1168	1102	939	678	516	939
200 LED	591	652	844	1062	1150	1243	1250	1064	1246	1197	987	685	553	963
300 LED	699	763	926	1086	1150	1243	1250	1064	1376	1359	1110	790	662	1037



---

## Verdamping, CO<sub>2</sub> gebruik, ventilatie en temperatuur

---

Hieronder staat voor elke periode van 4 weken een tabel afgedrukt met daarin de lichtsom, het CO<sub>2</sub> gebruik, de fractie daarvan die wordt opgenomen, de verdamping, de ventilatie als ventilatievoud, en de gemiddelde temperatuur.

De regels in de tabellen zijn voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor verdere uitleg). Elk getal in de tabellen is een gemiddelde van resultaten voor 12 jaren buitenweer (2003–2014).

De opgenomen fractie van de CO<sub>2</sub> is berekend met de bruto fotosynthese. Door onderhoudsademhaling en conversieverliezen bij de groei wordt van de aanvankelijk geproduceerde suikers ruwweg 1/3 deel weer omgezet in CO<sub>2</sub> en water.

**Tabel B.1.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 1–4. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	5.7	576	25	0.5	3.5	10.2
60 SON-T	6.3	558	28	0.5	2.8	10.6
130 SON-T	10.2	634	40	0.8	1.6	13.6
200 SON-T	14.1	774	45	1.1	1.0	16.4
300 SON-T	19.8	943	50	1.6	0.7	19.5
60 Hybride	6.3	553	29	0.5	2.7	10.6
130 Hybride	10.2	570	45	0.7	1.3	13.5
200 Hybride	14.1	665	52	0.9	0.7	16.3
300 Hybride	19.8	805	59	1.3	0.4	19.4
60 LED	6.3	544	29	0.5	2.6	10.5
130 LED	10.2	548	46	0.6	1.0	13.4
200 LED	14.1	591	58	0.8	0.5	16.1
300 LED	19.8	699	67	1.1	0.1	19.2

**Tabel B.2.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 5–8. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	7.4	709	26	0.7	2.0	11.3
60 SON-T	8.7	669	31	0.7	1.7	12.3
130 SON-T	12.4	701	43	0.9	0.9	15.1
200 SON-T	16.2	795	49	1.2	0.6	17.6
300 SON-T	21.6	979	52	1.7	0.6	19.8
60 Hybride	8.7	657	31	0.7	1.6	12.2
130 Hybride	12.4	653	46	0.9	0.8	15.0
200 Hybride	16.2	712	54	1.1	0.4	17.5
300 Hybride	21.6	856	59	1.5	0.4	19.7
60 LED	8.7	648	32	0.7	1.6	12.1
130 LED	12.4	627	47	0.8	0.6	14.9
200 LED	16.2	652	59	1.0	0.3	17.3
300 LED	21.6	763	66	1.2	0.2	19.4

**Tabel B.3.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 9–12. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	10.1	903	27	1.0	2.2	13.4
60 SON-T	12.3	882	32	1.1	1.8	14.9
130 SON-T	15.2	908	39	1.2	1.0	17.0
200 SON-T	18.1	954	45	1.5	0.8	18.8
300 SON-T	22.3	1115	47	1.8	0.9	19.9
60 Hybride	12.3	877	32	1.1	1.7	14.9
130 Hybride	15.2	870	41	1.2	0.9	16.9
200 Hybride	18.1	889	48	1.4	0.6	18.7
300 Hybride	22.3	1011	51	1.6	0.7	19.9
60 LED	12.3	872	32	1.1	1.7	14.9
130 LED	15.2	855	42	1.1	0.9	16.8
200 LED	18.1	844	50	1.3	0.5	18.6
300 LED	22.3	926	56	1.4	0.5	19.8

**Tabel B.4.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 13–16. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	12.9	1036	27	1.4	4.4	15.5
60 SON-T	16.3	1062	32	1.6	3.0	17.4
130 SON-T	16.9	1074	34	1.7	2.8	17.7
200 SON-T	17.6	1088	34	1.7	2.7	18.0
300 SON-T	18.4	1131	35	1.8	2.8	18.2
60 Hybride	16.3	1060	32	1.6	3.0	17.4
130 Hybride	16.9	1068	34	1.7	2.8	17.7
200 Hybride	17.6	1073	35	1.7	2.7	18.0
300 Hybride	18.4	1107	36	1.7	2.7	18.2
60 LED	16.3	1058	32	1.6	3.0	17.4
130 LED	16.9	1065	34	1.7	2.8	17.7
200 LED	17.6	1062	35	1.7	2.7	18.0
300 LED	18.4	1086	36	1.7	2.7	18.1

**Tabel B.5.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 17–20. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	15.0	1093	29	1.8	8.0	17.0
60 SON-T	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
130 SON-T	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
200 SON-T	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
300 SON-T	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
60 Hybride	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
130 Hybride	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
200 Hybride	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
300 Hybride	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
60 LED	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
130 LED	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
200 LED	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4
300 LED	19.1	1150	34	2.0	5.5	18.4

**Tabel B.6.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 21–24. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	17.3	1146	32	2.1	11.0	18.5
60 SON-T	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
130 SON-T	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
200 SON-T	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
300 SON-T	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
60 Hybride	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
130 Hybride	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
200 Hybride	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
300 Hybride	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
60 LED	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
130 LED	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
200 LED	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4
300 LED	21.9	1243	36	2.3	8.2	19.4

**Tabel B.7.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 25–28. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	17.4	1159	32	2.1	15.4	19.3
60 SON-T	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
130 SON-T	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
200 SON-T	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
300 SON-T	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
60 Hybride	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
130 Hybride	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
200 Hybride	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
300 Hybride	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
60 LED	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
130 LED	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
200 LED	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2
300 LED	22.0	1250	36	2.4	10.7	20.2

**Tabel B.8.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 29–32. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	15.8	974	34	2.0	17.8	19.8
60 SON-T	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
130 SON-T	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
200 SON-T	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
300 SON-T	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
60 Hybride	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
130 Hybride	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
200 Hybride	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
300 Hybride	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
60 LED	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
130 LED	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
200 LED	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6
300 LED	20.0	1064	39	2.3	12.3	20.6



**Tabel B.9.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 33–36. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	13.8	971	31	1.7	16.1	18.4
60 SON-T	17.3	1048	35	1.9	10.5	19.4
130 SON-T	19.0	1175	35	2.0	9.4	20.1
200 SON-T	20.8	1319	34	2.1	8.8	20.5
300 SON-T	23.3	1478	34	2.3	9.1	20.7
60 Hybride	17.3	1046	35	1.9	10.4	19.4
130 Hybride	19.0	1167	35	1.9	9.2	19.9
200 Hybride	20.8	1282	35	2.0	8.6	20.5
300 Hybride	23.3	1424	36	2.2	8.7	20.7
60 LED	17.3	1044	35	1.8	10.3	19.3
130 LED	19.0	1168	35	1.9	9.0	19.8
200 LED	20.8	1246	36	2.0	8.2	20.4
300 LED	23.3	1376	37	2.1	8.2	20.7

**Tabel B.10.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 37–40. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	10.9	834	30	1.2	13.3	16.1
60 SON-T	13.4	889	33	1.4	8.7	17.1
130 SON-T	16.0	1120	32	1.5	6.9	18.5
200 SON-T	18.7	1346	32	1.8	5.3	19.6
300 SON-T	22.5	1581	32	2.1	5.1	20.4
60 Hybride	13.4	888	33	1.4	8.6	17.0
130 Hybride	16.0	1098	33	1.5	6.5	18.3
200 Hybride	18.7	1271	34	1.6	4.9	19.6
300 Hybride	22.5	1470	35	1.9	4.5	20.4
60 LED	13.4	884	33	1.3	8.5	17.0
130 LED	16.0	1102	33	1.4	6.2	18.1
200 LED	18.7	1197	36	1.5	4.5	19.5
300 LED	22.5	1359	38	1.7	4.0	20.4

**Tabel B.11.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 41–44. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	8.1	725	26	0.8	10.8	13.6
60 SON-T	9.7	764	29	0.9	7.4	14.3
130 SON-T	13.2	1001	30	1.1	5.2	16.3
200 SON-T	16.6	1196	33	1.4	3.2	18.4
300 SON-T	21.6	1425	35	1.9	2.6	20.0
60 Hybride	9.7	760	29	0.9	7.2	14.3
130 Hybride	13.2	957	32	1.0	4.8	16.2
200 Hybride	16.6	1088	36	1.3	2.8	18.3
300 Hybride	21.6	1262	40	1.6	2.2	20.0
60 LED	9.7	757	29	0.9	7.0	14.2
130 LED	13.2	939	32	1.0	4.4	16.0
200 LED	16.6	987	40	1.1	2.3	18.3
300 LED	21.6	1110	45	1.4	1.7	19.9

**Tabel B.12.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 45–48. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	gebruikt %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	5.9	611	24	0.6	6.0	10.9
60 SON-T	6.7	618	26	0.6	4.6	11.3
130 SON-T	10.6	784	33	0.8	2.7	14.1
200 SON-T	14.5	939	38	1.2	1.5	16.8
300 SON-T	20.1	1110	43	1.7	1.1	19.6
60 Hybride	6.7	621	26	0.6	4.4	11.3
130 Hybride	10.6	709	37	0.7	2.3	14.0
200 Hybride	14.5	800	44	1.0	1.2	16.7
300 Hybride	20.1	941	51	1.4	0.8	19.6
60 LED	6.7	620	26	0.5	4.2	11.2
130 LED	10.6	678	38	0.6	1.8	13.9
200 LED	14.5	685	52	0.8	0.9	16.7
300 LED	20.1	790	61	1.1	0.4	19.6

**Tabel B.13.** Lichtsom, CO<sub>2</sub> gift, verdamping en ventilatie voor week 49–52. Zie voor toelichting de tekst op [bladzijde 50](#).

scenario	Lichtsom mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	opname %	Verdamping kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Vent d <sup>-1</sup>	Temp °C
Oud 60 uMol	5.1	546	24	0.5	3.3	9.7
60 SON-T	5.6	532	26	0.5	2.7	10.1
130 SON-T	9.5	604	40	0.7	1.6	13.1
200 SON-T	13.4	749	45	1.0	1.0	15.9
300 SON-T	19.0	913	50	1.6	0.7	19.4
60 Hybride	5.6	523	27	0.5	2.6	10.0
130 Hybride	9.5	538	44	0.6	1.3	13.0
200 Hybride	13.4	633	52	0.9	0.7	15.9
300 Hybride	19.0	771	60	1.3	0.4	19.3
60 LED	5.6	522	27	0.4	2.5	9.9
130 LED	9.5	516	46	0.6	1.0	12.8
200 LED	13.4	553	60	0.7	0.4	15.7
300 LED	19.0	662	69	1.0	0.2	19.1

---

## De nachtelijke warmtevraag

---

Hieronder staat een tabel met de nachtelijke warmtevraag van een virtuele kas in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenario's in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor verdere uitleg).

Voor ieder scenario is eerst het resultaat voor 12 jaren buitenweer gegeven (2003–2014). Daarna volgt achter de naam van het scenario het gemiddelde over de voorgaande 12 regels. De laatste kolom bevat de totale nachtelijke warmtebehoefte over de 13 periodes van 4 weken (dus over  $13 \times 28 = 364$  dagen). De standaard deviatie is het gevolg van verschillen tussen de jaren.

Merk op dat het gasverbruik in de zomer (in [Tabel A.3](#)) te hoog gesimuleerd wordt (zie daarover ook [paragraaf 4.2.5](#)). Het is echter wel precies hetzelfde voor de 12 scenario's in een moderne kas (omdat er niet belicht wordt). De *verschillen* is de totaal kolom geven dus het effect van extra belichting weer.

In verband met het optreden van koudeperiodes zal de variatie in de warmtebehoefte voor wekelijkse periodes groter zijn. Deze tabel geeft echter alvast een indruk van de variatie tussen de jaren tengevolge van verschillend weer.

**Tabel C.1.** Nachtelijke warmtevraag in gesimuleerde periodes van 4 weken voor een "oude" bestaande kas met  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting ("oud 60 mol") en voor 12 belichtingsscenarios in een moderne kas (zie [paragraaf 3.4.3](#) en [paragraaf 4.1](#) voor verdere uitleg). Voor ieder scenario is eerst het resultaat voor 12 jaren buitenweer gegeven (2003–2014). Daarna volgt achter de naam van het scenario het gemiddelde over de voorgaande 12 regels. De laatste kolom bevat het gemiddelde dagverbruik over de 13 periodes van 4 weken (dus over  $13 \times 28 = 364$  dagen).

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week													totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	
2003	40.9	46.0	26.6	57.3	38.1	20.7	17.2	14.7	12.6	14.7	23.5	22.2	31.8	366.3
2004	35.0	34.0	33.5	45.1	36.5	33.5	23.6	17.4	10.8	10.2	12.9	28.6	34.6	355.8
2005	26.6	42.8	39.3	39.1	42.6	27.8	12.9	19.1	12.0	14.3	10.1	27.2	32.7	346.4
2006	45.5	43.4	48.9	42.6	32.2	27.1	12.1	13.6	14.2	9.9	13.8	15.5	20.8	339.5
2007	18.8	27.0	24.3	40.5	33.6	18.5	19.6	20.5	13.7	15.1	18.4	22.1	34.0	306.2
2008	23.5	28.6	30.4	52.0	30.4	23.6	19.5	17.6	10.4	13.7	18.3	24.5	39.6	332.0
2009	44.7	43.3	27.6	37.7	37.2	25.6	14.4	17.5	7.9	10.8	15.4	12.5	38.9	333.6
2010	52.4	51.0	31.8	48.9	43.1	28.1	14.5	20.1	12.8	12.4	17.6	36.3	50.6	419.5
2011	36.3	36.5	32.1	35.4	37.2	23.6	18.4	20.8	14.3	9.7	14.4	24.1	20.9	323.8
2012	24.6	53.7	22.9	42.4	36.3	23.4	17.3	22.2	8.8	9.0	18.2	22.0	29.4	330.2
2013	46.7	45.4	45.8	62.6	40.6	33.5	16.9	14.8	11.3	13.1	13.3	26.1	22.9	393.0
2014	23.7	28.5	23.4	36.4	32.0	21.9	21.5	14.7	14.3	11.1	12.0	22.1	24.9	286.5
Oud 60 uMol	34.9	40.0	32.2	45.0	36.7	25.6	17.3	17.8	11.9	12.0	15.7	23.6	31.8	$344.4 \pm 36.1$
2003	34.9	39.6	31.5	53.4	37.5	20.1	17.1	14.9	15.0	17.5	24.8	22.4	28.0	356.8
2004	30.6	30.1	33.1	47.8	37.8	30.1	27.3	17.5	13.0	13.4	15.3	27.5	30.8	354.4
2005	23.9	38.2	37.5	42.1	40.7	27.8	13.3	23.3	13.3	16.9	10.9	26.1	29.7	343.5
2006	37.4	36.8	45.1	46.0	31.5	27.2	12.6	13.9	15.5	10.7	15.0	15.6	19.6	326.9
2007	17.5	27.4	26.7	42.2	32.2	20.4	22.6	22.3	17.1	17.3	19.6	22.0	29.2	316.4
2008	21.5	26.6	30.2	52.7	28.9	22.2	20.1	18.4	13.0	18.0	20.1	23.2	33.0	327.9
2009	36.9	37.8	29.5	40.1	36.2	26.1	15.6	19.2	10.6	13.4	18.0	13.2	32.5	329.0
2010	42.4	43.2	32.3	46.6	42.4	25.6	15.1	20.3	15.5	14.4	20.5	32.4	40.6	391.2
2011	31.9	32.4	33.7	37.9	33.3	24.1	20.9	22.7	16.2	11.4	17.4	24.3	18.8	325.2
2012	22.8	47.0	26.1	45.6	37.2	22.3	18.8	23.2	10.1	14.0	19.8	22.0	25.6	334.5

*vervolg op volgende bladzijde*

Tabel C.1 – vervolg

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week													totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	
2013	38.5	39.6	41.8	58.6	39.4	30.2	20.2	15.6	13.1	16.7	14.1	25.3	21.2	374.3
2014	21.2	26.4	27.6	41.0	34.1	21.8	21.2	15.6	17.1	12.5	12.9	22.2	21.8	295.4
60 SON-T	30.0	35.4	32.9	46.2	35.9	24.8	18.7	18.9	14.1	14.7	17.4	23.0	27.6	339.6 $\pm$ 26.2
2003	34.1	43.2	30.0	52.3	37.5	20.1	17.1	14.9	13.0	16.0	25.5	19.8	23.6	347.0
2004	27.0	28.6	34.0	47.5	37.8	30.1	27.3	17.5	11.7	12.9	15.0	24.6	27.2	341.3
2005	22.6	38.9	36.9	39.8	40.7	27.8	13.3	23.3	12.6	16.5	11.2	21.7	25.7	331.1
2006	35.3	34.0	46.9	44.5	31.5	27.2	12.6	13.9	15.1	11.0	14.9	14.3	16.1	317.2
2007	16.3	23.2	23.6	40.2	32.2	20.4	22.6	22.3	16.3	16.6	19.3	18.9	26.9	298.7
2008	18.2	26.8	29.6	53.1	28.9	22.2	20.1	18.4	13.1	17.2	19.6	20.9	29.4	317.6
2009	35.7	36.2	26.1	40.2	36.2	26.1	15.6	19.2	8.2	13.3	18.4	11.3	31.6	318.0
2010	44.0	43.9	31.2	45.7	42.4	25.6	15.1	20.3	13.3	13.9	18.0	29.5	42.2	385.2
2011	28.6	33.4	32.6	37.3	33.3	24.1	20.9	22.7	15.5	11.0	17.2	22.1	13.9	312.5
2012	20.0	48.5	22.2	44.8	37.2	22.3	18.8	23.2	9.7	11.5	18.8	18.3	23.6	319.1
2013	42.6	41.5	42.2	59.1	39.4	30.2	20.2	15.6	12.9	15.7	14.8	20.4	16.1	370.8
2014	16.8	25.4	25.2	39.9	34.1	21.8	21.2	15.6	15.1	13.2	13.8	18.7	18.8	279.4
130 SON-T	28.4	35.3	31.7	45.4	35.9	24.8	18.7	18.9	13.1	14.1	17.2	20.0	24.6	328.2 $\pm$ 29.4
2003	34.7	43.4	24.3	51.0	37.5	20.1	17.1	14.9	12.3	16.4	26.4	21.6	26.2	345.9
2004	29.7	30.9	31.1	46.6	37.8	30.1	27.3	17.5	11.1	12.7	18.0	25.4	27.4	345.6
2005	25.5	38.9	35.7	38.8	40.7	27.8	13.3	23.3	12.4	16.5	12.5	25.0	27.5	337.9
2006	37.2	36.9	43.6	43.4	31.5	27.2	12.6	13.9	15.3	11.4	17.5	17.4	18.4	326.3
2007	19.4	26.6	23.5	38.6	32.2	20.4	22.6	22.3	16.0	16.6	20.9	23.1	29.0	311.1
2008	23.4	31.2	29.2	52.7	28.9	22.2	20.1	18.4	13.6	16.8	21.9	22.9	32.1	333.4
2009	38.8	38.5	25.6	39.7	36.2	26.1	15.6	19.2	8.3	13.6	19.8	14.7	34.0	330.0
2010	45.2	45.2	30.0	44.8	42.4	25.6	15.1	20.3	12.5	14.9	19.8	32.4	40.8	389.0
2011	30.7	35.4	29.4	36.0	33.3	24.1	20.9	22.7	14.9	11.1	18.8	24.3	19.4	321.0
2012	24.3	49.0	22.6	43.4	37.2	22.3	18.8	23.2	9.3	12.5	21.4	21.9	24.1	330.0

*vervolg op volgende bladzijde*

Tabel C.1 – *vervolg*

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week													totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	
2013	43.0	42.7	41.0	58.6	39.4	30.2	20.2	15.6	12.5	16.8	17.0	23.4	20.7	381.2
2014	22.1	29.5	22.0	38.3	34.1	21.8	21.2	15.6	14.3	13.9	16.5	21.3	23.8	294.3
200 SON-T	31.2	37.3	29.8	44.3	35.9	24.8	18.7	18.9	12.7	14.5	19.2	22.8	27.0	337.1 $\pm$ 26.6
2003	40.0	43.8	23.4	50.7	37.5	20.1	17.1	14.9	12.4	16.7	27.6	26.6	34.0	364.8
2004	36.2	33.1	30.3	46.4	37.8	30.1	27.3	17.5	10.9	12.9	19.6	30.6	35.5	368.2
2005	32.0	38.7	34.6	38.7	40.7	27.8	13.3	23.3	12.5	16.2	14.4	30.6	35.4	358.3
2006	43.4	39.5	39.3	42.7	31.5	27.2	12.6	13.9	14.9	11.2	18.2	22.4	28.2	344.9
2007	27.3	30.2	24.1	38.1	32.2	20.4	22.6	22.3	15.5	17.5	23.0	28.8	36.7	338.8
2008	30.5	33.3	29.4	52.0	28.9	22.2	20.1	18.4	13.0	16.9	22.6	28.9	38.9	355.0
2009	43.7	40.5	26.5	39.7	36.2	26.1	15.6	19.2	8.0	14.0	21.4	22.6	41.6	355.1
2010	50.2	45.9	28.7	43.8	42.4	25.6	15.1	20.3	12.2	14.9	23.1	37.3	48.9	408.3
2011	35.5	37.5	28.1	35.8	33.3	24.1	20.9	22.7	15.0	11.4	20.2	29.5	29.4	343.4
2012	31.3	49.3	23.4	43.2	37.2	22.3	18.8	23.2	9.4	13.2	23.4	28.1	33.2	355.9
2013	45.7	43.1	39.5	57.1	39.4	30.2	20.2	15.6	12.2	16.5	19.9	29.8	29.6	398.6
2014	30.2	31.3	22.0	37.9	34.1	21.8	21.2	15.6	14.5	13.8	17.4	27.5	31.9	319.2
300 SON-T	37.2	38.9	29.1	43.8	35.9	24.8	18.7	18.9	12.5	14.6	20.9	28.6	35.3	359.2 $\pm$ 24.5
2003	35.6	39.7	31.8	53.5	37.5	20.1	17.1	14.9	15.1	17.7	25.4	23.2	29.4	361.1
2004	31.5	30.9	33.6	47.8	37.8	30.1	27.3	17.5	13.2	13.7	15.8	27.8	31.3	358.3
2005	25.6	38.4	38.0	42.0	40.7	27.8	13.3	23.3	13.3	17.0	10.9	26.6	30.6	347.5
2006	37.7	37.4	45.3	46.2	31.5	27.2	12.6	13.9	15.5	10.8	15.1	16.4	20.8	330.3
2007	18.5	28.2	27.4	42.2	32.2	20.4	22.6	22.3	17.2	17.5	20.2	23.5	30.3	322.5
2008	22.8	27.6	31.2	52.7	28.9	22.2	20.1	18.4	13.1	18.4	20.5	23.9	33.6	333.4
2009	37.8	38.4	30.2	40.2	36.2	26.1	15.6	19.2	10.8	13.6	18.3	14.1	33.1	333.5
2010	42.5	43.7	32.8	46.8	42.4	25.6	15.1	20.3	15.6	14.8	20.8	33.1	40.9	394.3
2011	32.1	32.9	34.0	38.0	33.3	24.1	20.9	22.7	16.3	11.5	17.9	25.4	20.6	329.8
2012	24.3	47.5	26.8	45.9	37.2	22.3	18.8	23.2	10.2	14.5	20.5	23.1	26.4	340.7

*vervolg op volgende bladzijde*

Tabel C.1 – *vervolg*

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week														totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52		
2013	39.0	40.4	42.1	58.7	39.4	30.2	20.2	15.6	13.3	16.9	14.5	26.2	23.1	379.8	
2014	22.6	27.8	28.4	41.0	34.1	21.8	21.2	15.6	17.2	12.6	13.0	22.8	23.5	301.6	
60 Hybride	30.8	36.1	33.5	46.3	35.9	24.8	18.7	18.9	14.2	14.9	17.8	23.8	28.6	344.4 ± 25.6	
2003	36.9	47.3	33.1	52.8	37.5	20.1	17.1	14.9	14.2	17.5	28.9	23.1	28.3	371.7	
2004	31.7	33.5	38.5	48.0	37.8	30.1	27.3	17.5	13.2	14.0	17.8	27.5	32.7	369.7	
2005	26.6	43.2	41.2	41.2	40.7	27.8	13.3	23.3	13.3	17.7	12.2	26.6	29.3	356.5	
2006	41.6	39.9	49.5	46.0	31.5	27.2	12.6	13.9	16.0	11.4	16.3	15.1	18.7	339.7	
2007	18.5	27.7	27.4	41.4	32.2	20.4	22.6	22.3	16.9	18.6	21.1	22.0	31.2	322.3	
2008	21.8	31.1	33.9	54.0	28.9	22.2	20.1	18.4	13.5	19.8	21.9	24.2	33.7	343.4	
2009	41.1	40.6	31.2	40.8	36.2	26.1	15.6	19.2	8.9	14.6	19.6	12.8	37.0	343.7	
2010	49.6	48.1	34.7	46.9	42.4	25.6	15.1	20.3	14.9	15.0	21.3	33.2	47.4	414.5	
2011	32.5	37.1	35.7	38.2	33.3	24.1	20.9	22.7	15.8	11.7	19.6	25.2	17.6	334.6	
2012	23.7	51.9	25.8	45.5	37.2	22.3	18.8	23.2	10.4	13.4	21.4	21.7	27.2	342.6	
2013	45.1	45.8	45.7	59.4	39.4	30.2	20.2	15.6	13.6	17.5	15.5	23.7	19.0	390.7	
2014	20.4	31.2	29.4	40.4	34.1	21.8	21.2	15.6	16.4	13.5	14.7	21.6	22.7	303.1	
130 Hybride	32.5	39.8	35.5	46.2	35.9	24.8	18.7	18.9	13.9	15.4	19.2	23.1	28.7	352.7 ± 30.3	
2003	39.2	49.4	28.3	51.4	37.5	20.1	17.1	14.9	12.4	16.9	29.7	23.7	29.7	370.2	
2004	33.6	36.2	37.0	47.1	37.8	30.1	27.3	17.5	11.2	12.6	19.1	27.1	30.8	367.4	
2005	29.6	45.0	38.4	39.3	40.7	27.8	13.3	23.3	12.0	17.0	13.0	27.6	30.8	357.7	
2006	42.9	41.5	48.9	43.7	31.5	27.2	12.6	13.9	14.9	11.3	18.3	18.1	19.7	344.4	
2007	21.9	30.0	26.6	39.2	32.2	20.4	22.6	22.3	16.2	17.3	22.5	25.3	34.3	330.8	
2008	25.7	35.4	34.3	53.5	28.9	22.2	20.1	18.4	14.0	17.4	23.0	25.0	35.4	353.4	
2009	44.1	42.4	28.7	40.1	36.2	26.1	15.6	19.2	8.1	14.2	21.1	15.9	39.2	350.7	
2010	51.5	49.5	33.3	46.3	42.4	25.6	15.1	20.3	12.7	15.5	21.0	34.4	48.2	415.7	
2011	33.9	39.4	33.3	36.7	33.3	24.1	20.9	22.7	15.0	11.4	19.8	26.5	21.5	338.5	
2012	26.8	52.6	23.9	44.0	37.2	22.3	18.8	23.2	9.3	13.0	23.0	23.1	27.7	345.1	

*vervolg op volgende bladzijde*



Tabel C.1 – vervolg

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week														totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52		
2013	47.7	48.0	45.3	59.4	39.4	30.2	20.2	15.6	12.6	17.0	18.2	25.0	22.9	401.6	
2014	24.6	36.2	25.0	39.0	34.1	21.8	21.2	15.6	14.1	13.8	17.0	23.4	26.7	312.5	
200 Hybride	35.1	42.1	33.6	45.0	35.9	24.8	18.7	18.9	12.7	14.8	20.5	24.6	30.6	357.3 ± 28.7	
2003	42.1	47.1	24.1	50.7	37.5	20.1	17.1	14.9	12.4	16.4	28.5	27.3	35.6	373.9	
2004	38.3	35.5	31.8	46.4	37.8	30.1	27.3	17.5	10.9	13.3	20.0	31.4	37.3	377.6	
2005	33.7	40.6	36.2	38.9	40.7	27.8	13.3	23.3	12.5	16.3	14.8	32.1	37.1	367.4	
2006	46.6	42.2	41.6	42.7	31.5	27.2	12.6	13.9	15.5	11.4	18.7	23.0	29.0	355.8	
2007	28.6	31.5	24.7	38.1	32.2	20.4	22.6	22.3	15.8	17.7	23.1	29.6	39.2	345.9	
2008	32.1	35.5	31.2	52.2	28.9	22.2	20.1	18.4	13.4	16.8	23.0	30.1	41.6	365.5	
2009	46.8	42.9	27.2	39.7	36.2	26.1	15.6	19.2	8.3	14.2	21.7	23.2	45.2	366.3	
2010	53.6	49.1	30.3	44.1	42.4	25.6	15.1	20.3	12.5	14.7	23.8	38.8	52.3	422.6	
2011	37.6	40.3	29.2	35.9	33.3	24.1	20.9	22.7	14.9	11.5	20.5	30.4	31.0	352.3	
2012	32.8	51.2	24.0	43.3	37.2	22.3	18.8	23.2	9.4	13.3	23.6	28.9	35.3	363.2	
2013	48.9	45.8	41.0	58.1	39.4	30.2	20.2	15.6	12.3	16.9	20.7	30.6	31.2	410.9	
2014	31.6	33.4	22.6	37.9	34.1	21.8	21.2	15.6	14.2	14.1	17.6	28.7	33.8	326.4	
300 Hybride	39.4	41.2	30.3	44.0	35.9	24.8	18.7	18.9	12.7	14.7	21.3	29.5	37.4	369.0 ± 26.2	
2003	36.1	39.9	32.0	53.6	37.5	20.1	17.1	14.9	15.2	17.9	25.8	23.9	30.1	364.2	
2004	32.0	31.6	33.9	47.8	37.8	30.1	27.3	17.5	13.4	14.0	16.3	28.2	31.5	361.5	
2005	27.0	38.6	38.2	42.1	40.7	27.8	13.3	23.3	13.3	17.1	11.0	27.0	31.4	350.9	
2006	38.1	37.7	45.3	46.4	31.5	27.2	12.6	13.9	15.7	10.9	15.6	17.1	21.6	333.4	
2007	19.5	28.8	28.0	42.2	32.2	20.4	22.6	22.3	17.4	17.7	20.6	24.4	31.1	327.1	
2008	23.8	28.6	31.7	52.8	28.9	22.2	20.1	18.4	13.2	18.6	20.8	24.5	34.2	337.7	
2009	38.2	38.7	30.8	40.3	36.2	26.1	15.6	19.2	10.9	13.7	18.8	15.0	33.4	336.7	
2010	42.6	43.7	33.3	46.9	42.4	25.6	15.1	20.3	15.6	14.9	21.1	33.4	41.1	396.1	
2011	32.4	33.1	34.3	38.1	33.3	24.1	20.9	22.7	16.5	11.6	18.3	26.1	22.1	333.5	
2012	25.7	48.0	27.2	46.1	37.2	22.3	18.8	23.2	10.3	14.9	20.9	24.0	26.8	345.5	

*vervolg op volgende bladzijde*

Tabel C.1 – *vervolg*

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week														totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52		
2013	39.6	41.1	42.4	58.7	39.4	30.2	20.2	15.6	13.5	17.0	14.9	27.0	24.7	384.3	
2014	23.7	28.8	28.9	41.0	34.1	21.8	21.2	15.6	17.3	12.8	13.3	23.3	24.4	306.1	
60 LED	31.6	36.5	33.8	46.3	35.9	24.8	18.7	18.9	14.4	15.1	18.1	24.5	29.4	348.1 ± 25.1	
2003	41.6	50.0	35.5	53.0	37.5	20.1	17.1	14.9	15.7	19.3	32.0	27.1	34.6	398.5	
2004	37.8	38.1	40.9	48.1	37.8	30.1	27.3	17.5	14.2	15.6	21.2	32.2	37.0	397.9	
2005	31.1	46.9	44.0	42.3	40.7	27.8	13.3	23.3	13.7	19.5	13.1	32.0	35.8	383.7	
2006	47.3	45.8	50.6	47.6	31.5	27.2	12.6	13.9	16.7	11.8	19.0	19.5	24.7	368.2	
2007	22.6	33.0	31.5	42.0	32.2	20.4	22.6	22.3	17.7	21.0	23.4	27.7	36.7	353.1	
2008	28.1	34.7	37.7	54.3	28.9	22.2	20.1	18.4	14.4	22.4	25.6	29.7	40.8	377.2	
2009	46.6	46.2	35.2	41.1	36.2	26.1	15.6	19.2	10.3	16.6	24.0	16.5	40.4	373.9	
2010	52.6	51.6	38.2	48.3	42.4	25.6	15.1	20.3	15.7	16.7	25.4	37.6	50.1	439.5	
2011	38.3	40.9	39.0	39.1	33.3	24.1	20.9	22.7	16.7	13.1	22.2	30.6	24.6	365.4	
2012	29.9	54.3	30.6	46.2	37.2	22.3	18.8	23.2	10.9	18.3	24.4	27.7	32.2	376.0	
2013	48.4	48.6	47.8	59.4	39.4	30.2	20.2	15.6	13.8	19.8	18.7	29.7	26.0	417.5	
2014	28.1	36.7	32.7	40.6	34.1	21.8	21.2	15.6	17.8	14.7	16.2	27.0	27.8	334.3	
130 LED	37.7	43.9	38.6	46.8	35.9	24.8	18.7	18.9	14.8	17.4	22.1	28.1	34.2	382.1 ± 28.3	
2003	44.7	55.8	34.9	52.3	37.5	20.1	17.1	14.9	12.8	17.9	35.1	27.9	37.1	407.9	
2004	40.6	42.3	43.9	48.3	37.8	30.1	27.3	17.5	11.6	13.5	21.5	32.4	39.4	406.3	
2005	35.6	50.3	44.1	40.4	40.7	27.8	13.3	23.3	12.4	17.4	14.2	33.0	35.2	387.8	
2006	50.6	49.0	52.5	45.1	31.5	27.2	12.6	13.9	15.3	11.6	20.1	19.9	24.6	373.9	
2007	26.3	35.7	33.3	40.6	32.2	20.4	22.6	22.3	16.5	18.4	24.6	30.8	41.5	365.2	
2008	33.3	42.0	41.6	55.1	28.9	22.2	20.1	18.4	14.2	18.6	26.2	30.5	41.8	392.9	
2009	53.0	48.7	36.6	41.2	36.2	26.1	15.6	19.2	8.5	15.4	23.6	19.0	47.3	390.3	
2010	58.4	54.5	39.3	47.9	42.4	25.6	15.1	20.3	13.3	16.4	24.7	39.4	57.9	454.9	
2011	39.0	45.9	38.9	38.0	33.3	24.1	20.9	22.7	15.2	12.0	22.8	31.0	29.0	372.9	
2012	33.7	57.3	28.5	45.5	37.2	22.3	18.8	23.2	9.6	14.3	27.4	27.3	33.7	378.9	

*vervolg op volgende bladzijde*

Tabel C.1 – vervolg

startyear	Nachtelijk warmtegebruik ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) in week														totaal
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	49-52		
2013	51.2	53.4	49.6	59.5	39.4	30.2	20.2	15.6	12.8	18.7	18.9	29.4	30.0	428.9	
2014	31.8	45.3	32.4	40.1	34.1	21.8	21.2	15.6	14.2	14.3	17.8	28.7	32.8	350.0	
200 LED	41.5	48.3	39.6	46.2	35.9	24.8	18.7	18.9	13.0	15.7	23.1	29.1	37.5	392.5 $\pm$ 28.8	
2003	48.9	55.8	27.8	51.0	37.5	20.1	17.1	14.9	12.5	17.0	32.2	30.1	43.7	408.4	
2004	46.2	42.4	38.0	46.8	37.8	30.1	27.3	17.5	11.2	13.0	21.2	35.1	44.9	411.6	
2005	40.6	48.2	39.5	39.1	40.7	27.8	13.3	23.3	12.1	16.6	14.9	36.2	40.8	393.1	
2006	54.5	48.6	49.1	43.0	31.5	27.2	12.6	13.9	15.1	11.9	19.3	24.5	32.6	383.8	
2007	33.8	35.5	28.2	38.6	32.2	20.4	22.6	22.3	15.8	17.5	24.0	33.9	46.4	371.2	
2008	38.6	41.6	36.9	53.2	28.9	22.2	20.1	18.4	13.4	17.3	24.4	34.3	47.9	397.1	
2009	57.6	49.0	31.7	40.0	36.2	26.1	15.6	19.2	8.2	14.6	23.1	25.9	52.3	399.4	
2010	59.9	55.9	35.4	45.5	42.4	25.6	15.1	20.3	12.8	15.4	25.3	42.5	60.6	456.5	
2011	42.6	46.4	34.9	36.4	33.3	24.1	20.9	22.7	14.9	11.8	21.9	33.4	39.7	383.1	
2012	39.9	55.7	26.1	43.9	37.2	22.3	18.8	23.2	9.2	13.8	25.6	31.4	41.3	388.4	
2013	52.8	51.5	45.8	59.2	39.4	30.2	20.2	15.6	12.6	16.9	20.7	33.2	38.4	436.5	
2014	37.1	42.7	25.6	38.4	34.1	21.8	21.2	15.6	13.9	14.6	17.2	32.8	39.4	354.4	
300 LED	46.1	47.8	34.9	44.6	35.9	24.8	18.7	18.9	12.6	15.0	22.5	32.8	44.0	398.6 $\pm$ 27.6	





