



Past belichting in een energiezuinige paprikateelt?

Anja Dieleman, Frank Kempkes, Marleen Esmeijer, Anne Elings & Bert Houter





Past belichting in een energiezuinige paprikateelt?

Anja Dieleman¹, Frank Kempkes¹, Marleen Esmeijer², Anne Elings¹ & Bert Houter²

¹ Plant Research International

² PPO Glastuinbouw

© 2006 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Belichting in het energiezuinige teeltconcept – kwalitatief	5
2.1 De energiezuinige paprikatelers	5
2.1.1 Energiezuinige teler I	5
2.1.2 Energiezuinige teler II	6
2.1.3 Energiezuinige teler III	6
2.2 Reeds belichtende paprikatelers	7
2.2.1 Belichtende teler I	7
2.3 Samenvatting	8
3. Belichting in het energiezuinige teeltconcept – kwantitatief	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Scenario's	9
3.2.1 Aanpassingen in het teeltconcept	9
3.2.2 Door te rekenen scenario's	10
3.3 Uitgangspunten kas en teelt	11
3.4 Simulatie referentie (energiezuinige teler I)	12
3.5 Resultaten scenarioberekeningen	13
3.5.1 Klimaat	13
3.5.2 Productie	16
3.5.3 Energie	20
3.5.4 Energie efficiëntie	21
3.6 Samenvatting	23
4. Tuindersbijeenkomst	25
5. Discussie	29
6. Literatuur	33
Bijlage I. Etmaaltemperaturen in de scenario's	1 p.
Bijlage II. Hoeveelheid licht in de scenario's	1 p.
Bijlage III. Relatie tussen gasverbruik, electriciteitsproductie en paprikaproductie	1 p.
Bijlage IV. Presentatie 26 januari 2006	3 pp.

Samenvatting

In 2004 is door Wageningen UR een analyse gemaakt van de teeltstrategie van drie paprikatelers met een laag energiegebruik, circa 33 m³ gas per m² per jaar. De belangrijkste karakteristieken van hun teeltconcept zijn dat geteeld wordt bij een relatief lage temperatuur, dat er weinig op vocht geregeld wordt en dat er rustige klimaatovergangen aangelegd worden. In dit onderzoeksproject is nagegaan in hoeverre belichting in te passen is in dit energiezuinige teeltconcept voor paprika. Hiervoor zijn interviews gehouden met drie energiezuinige onbelichtende paprikatelers en met belichtende telers. Vervolgens zijn er berekeningen gedaan met een kasklimaatmodel en een gewasgroeimodel. Tenslotte zijn de resultaten besproken met een groep belichtende paprikatelers.

De energiezuinige (niet-belichtende) telers volgen de ontwikkelingen rondom belichting in de paprikateelt met belangstelling, maar zijn voorlopig zeker nog niet van plan om op hun bedrijven belichting te installeren uit financiële overwegingen. Zij gaven aan dat als ze zouden gaan belichten, ze het vermijden van een warmteoverschot van groot belang vinden. Dit zou betekenen dat ze alleen overdag met ongeveer 4000 lux (ca. 47 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) zouden belichten om het warmteoverschot zo veel mogelijk te beperken. Hun teeltconcept wilden ze in het geval van belichting zo veel mogelijk in stand houden, maar vanwege de warmte die door de lampen wordt afgegeven zouden de temperatuursetpoints wel anders ingesteld worden. Van de belichtende tuinders die gevraagd waren mee te werken aan het onderzoek, gaven de meesten aan dat ze nog maar zeer kort bezig waren met belichting (één teeltseizoen of minder) en om die reden nog niet voldoende ervaring met belichting hadden om hun teeltstrategie aan te kunnen geven.

Met behulp van het kasklimaatmodel KASPRO en het gewasgroeimodel INTKAM is berekend of assimilatiebelichting in het energiezuinige teeltconcept ingepast kan worden met behoud van energie-efficiëntie. Om de belichting in te kunnen passen, is een verduisterings scherm geplaatst, is de dodezone verkleind van 4 naar 2 °C, is de minimumbuis temperatuur verlaagd, is een WK installatie geplaatst en zijn de instellingen van de minimumbuis aangepast aan de starttijd van de belichting. Effecten van de volgende scenario's op energieverbruik en productie zijn berekend:

Belichtingsniveau	Belichtingsperiode	Temperatuur
3000 lux (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1 uur voor zon op tot 1 uur voor zon onder	gelijk aan onbelichte teelt
5000 lux (59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	middernacht tot 1 uur voor zon onder	hoger dan onbelichte teelt
10000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		

De belichting werd gebruikt in de periode 15 november (plantdatum) tot 1 april.

Door de installatie van belichting neemt de hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling in de kas in de belichtingsperiode toe met 16 tot 98%, afhankelijk van het belichtingsniveau en de duur van de belichting. Op jaarbasis bedraagt de hoeveelheid extra PAR licht vanwege de lampen 2 tot 15%. De berekende productie van de onbelichte teelt was 28.5 kg/m²/jaar. Als overdag belicht werd met 3000 lux (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nam de productie met circa 0.5 kg/m²/jaar toe, met 5000 lux (59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) met ruim 1 kg/m²/jaar en met 10000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) circa 2 kg/m²/jaar. Wanneer vanaf middernacht belicht werd was de productiestijging bij belichting met 3000 lux 2 kg/m²/jaar, bij 5000 lux bijna 3 kg/m²/jaar en bij 10000 lux bijna 5.5 kg/m²/jaar. Daarnaast werd de productie met 2 tot 19 dagen vervroegd, afhankelijk van het belichtingsniveau en de belichtingsperiode.

Als gevolg van de belichting nam de kasluchttemperatuur toe, met name bij belichting 's nachts onder een gesloten verduisterings scherm. Temperatuurintegratie bleek niet in staat de temperatuur terug te brengen naar het niveau van de onbelichte teelt. De temperaturen verschilden daarom nauwelijks tussen de twee temperatuurregimes.

Het energieverbruik in de scenario's waarin belicht wordt, is hoger dan in de onbelichte teelt. Wanneer overdag belicht wordt met 10000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of vanaf middernacht met 5000 of 10000 lux, ontstaat een warmteoverschot. Uit de berekening van de energie-efficiëntie (productie/energieverbruik) blijkt dat wanneer belicht wordt de energie-efficiëntie afneemt. Deze afname is sterker naarmate er met hogere intensiteiten belicht wordt. Verder blijkt dat wanneer vanaf middernacht belicht wordt de energie-efficiëntie flink lager is dan als met dezelfde intensiteit alleen gedurende de dag belicht wordt. Wanneer het warmteoverschot dat ontstaat bij hogere belichtingsniveaus ingezet kan worden op een onbelicht deel van het bedrijf, neemt de energie-efficiëntie toe. Echter ook in dit geval blijft de energie-efficiëntie lager dan wanneer niet belicht wordt.

Samenvattend moet geconcludeerd worden dat assimilatiebelichting in het energiezuinige teeltconcept niet ingepast kan worden met behoud van de energie-efficiëntie van de onbelichte teelt. De energiezuinige telers gaven al aan dat clustering van bedrijven of bedrijfsdelen noodzakelijk is om het warmteoverschot efficiënt in te zetten. Ook als dat gebeurt, is de energie-efficiëntie van het belichte en onbelichte deel samen lager dan van een onbelichte teelt. Bedrijfseconomisch kan het echter wel interessant zijn om in de paprikateelt te belichten. Hiervoor zijn echter hoge prijzen nodig voor de vroeg geproduceerde paprika's, iets wat van jaar tot jaar kan verschillen. Teelttechnisch is het van belang de temperatuur in de kas in de hand te houden. Met name wanneer in de nacht belicht wordt onder een verduisteringsscherm is dit moeilijk.

1. Inleiding

In 2004 is binnen het Energieonderzoeksprogramma een teeltconcept uitgewerkt waarmee energiegebruik in de onbelichte paprikateelt teruggebracht kan worden tot circa 33 m³ aardgas per m² per jaar met een voor paprika gebruikelijke bedrijfsuitrusting en zonder concessies aan de opbrengst (28 kg rood/m²) te hoeven doen. Dit concept is gebaseerd op een analyse van drie energiezuinige telers (Ravensbergen *et al.*, 2004a, b, c). De belangrijkste karakteristieken van dit concept zijn dat geteeld wordt bij een relatief lage temperatuur, dat er weinig op vocht geregeld wordt en dat er rustige klimaatovergangen aangelegd worden.

In de teelt van vruchtgroenten is het gebruik van assimilatiebelichting de laatste jaren sterk toegenomen. In de tomatenteelt wordt nu ruim 10% van het areaal belicht. In de jaren 2003-2004 is een aantal paprikabedrijven gestart met belichten. Het rendement uit deze belichting moest gehaald worden uit de hoge prijzen die toen nog betaald werden voor vroege productie. Door de lage paprikaprijzen in de eerste periodes van de afgelopen twee jaren stagneert het areaal belichte paprikateelt. In het seizoen 2005-2006 wordt ongeveer 60 ha paprika's belicht, met intensiteiten die uiteenlopen van circa 1500 lux (18 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) tot 10.000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Voor de onbelichte paprikateelt is een duidelijk energiezuinig teeltconcept neergelegd. Niet duidelijk is in welke mate dit teeltconcept ook voor de belichte paprikateelt toepasbaar is of welke aanpassingen nodig zijn om belichting in dit concept in te passen.

In het algemeen is het zo dat wanneer paprikaplanten meer (natuurlijk) licht ontvangen, ze sneller zullen groeien. Bij meer licht neemt het bladoppervlak toe evenals het totale plantgewicht (Nilwik, 1981a; Heuvelink & Marcelis, 1996). Bij jonge planten kan de bladafsplittingsnelheid toenemen, bij vruchtdragende planten is dit niet waargenomen. Bij jonge planten is licht dus van belang voor de gewasopbouw. Bij vruchtdragende planten speelt licht een rol in het abortieproces. Paprika is een gewas dat veel meer bloemen aanlegt dan er uitgroeien tot vruchten. Ongeveer 70% van de aangelegde bloemen aborteert. Bij weinig licht, bijvoorbeeld in de wintermaanden, kan dit percentage nog hoger liggen. Naarmate er meer licht voor de plant beschikbaar is, zullen er minder bloemen aborteren en houdt de plant meer vruchten aan (Marcelis *et al.*, 2004). Het verhogen van de hoeveelheid voor de plant beschikbaar licht door assimilatiebelichting leidt dan ook tot een betere groei en productie (Demers *et al.*, 1991; Maaswinkel, 2003). Paprika is een daglengte neutrale plant, dat wil zeggen dat het geen lange of korte dag behoeft voor de aanleg van bloemen. Wel wordt de groei en productie beïnvloed door de lichtduur. Uit belichtingsexperimenten bleek dat een verlenging van de lichtperiode van 8 naar 16 uur (Nilwik, 1981b) en van 16 naar 20 uur (Demers *et al.*, 1998) leidt tot een verhoging van de productie bij paprika. Daarentegen vonden Benoit en Ceustermans (2003) geen verschil in productie tussen 14, 16 of 20 uur belichten met 167 W m². Een verlenging van de daglengte tot 24 uur leidt tot een verminderde groei (Nilwik, 1981b; Demers *et al.*, 1998). Een korte tijd (enkele weken) continu belichten leidt nog niet tot zichtbare schade, maar wanneer langer belicht wordt kan bladvergeling en bladval optreden (Nilwik, 1981b).

In het onderzoek dat in dit rapport staat beschreven, wordt nagegaan hoe belichting in te passen is in het energiezuinig teeltconcept voor paprika. Hiervoor zijn interviews gehouden met drie energiezuinige onbelichtende paprikatelers en met belichtende telers. Er zijn modelberekeningen gedaan, waarbij een aantal scenario's rond belichting zijn uitgewerkt en de resultaten zijn bediscussieerd met een groep belichtende paprikatelers.

2. Belichting in het energiezuinige teeltconcept – kwalitatief

In dit project wordt in het energiezuinige teeltconcept belichting geïntroduceerd. Alvorens dat te doen, is overleg gevoerd met drie paprikatelers die met een herkenbaar concept energiezuinig telen (Ravensbergen, 2004a, b, c). Ook zijn de meningen en adviezen gevraagd van een aantal reeds belichtende paprikatelers. In dit hoofdstuk staan de opmerkingen, meningen en adviezen van deze telers weergegeven.

2.1 De energiezuinige paprikatelers

Drie energiezuinige paprikatelers is gevraagd of zij en vooral hoe zij hun bestaande teeltconcepten zouden aanpassen als zij zouden gaan belichten. Algemeen kan gesteld worden dat de ondernemers direct aangeven dat ze dat niet zo direct kunnen weergeven. Vooral omdat ze geen belichting toepassen, en daardoor ook niet gedwongen zijn om daar heel diep over na te denken. Hieronder is een samenvatting van de gesprekken weergegeven.

2.1.1 Energiezuinige teler I

Gesprek: juni 2005

Deze teler staat zeer sceptisch tegenover belichten. De voornaamste reden hiervoor is de financiële kant van belichting. De productieverhoging en kwaliteitsverbetering zijn volgens hem al snel te gering om de meerkosten terug te verdienen, zeker nu de paprikaprijzen in het teeltseizoen 2005 laag zijn. Dat belichting een verhoging van de productie en een verbetering van de vrucht kwaliteit oplevert, is voor hem evident. Hij heeft wel een aantal ideeën over belichting in de paprikateelt. De belangrijkste zijn:

- Met de dag mee belichten (dus maximaal circa 12 uur per dag belichten). Het voordeel hiervan is dat in nacht niet belicht hoeft te worden, waardoor de nachttemperatuur op het gewenste niveau gestuurd kan worden. Een neveneffect hiervan is dat je minder problemen hebt met het warmteoverschot. Of je in de herfst (nadagen van de teelt) nog moet gaan belichten, is voor hem een zeer groot vraagteken, ook omdat je nu bij de traditionele teelten in de herfstdag vaak onder of tegen kostprijs produceert. Een verhoging van de kosten door dan te belichten verdient zich niet terug in een hogere productie en/of prijs.
- Een voordeel van belichten is dat de vruchtrui (abortie van bloemen en hele jonge vruchtjes) in donkere periodes minder is omdat je met belichting net wat meer licht hebt. Het voordeel daarvan is dat je de arbeid weet af te vlakken door een gelijkmatiger productie gedurende het jaar.
- De teler gaf aan dat hij zijn setpoints in principe niet zou wijzigen. Echter, na enige discussie over de planttemperatuur die bij belichting hoger zal komen te liggen dan zonder belichting gaf hij aan dat hij het setpoint verwarmen iets naar beneden zou bijstellen want waarom zou je meer energie in de plant stoppen dan nu het geval is. Hij ziet dan ook geen directe reden om het teeltconcept op voorhand aan te passen.
- Bedrijven die nu (nog) met relatief veel minimumbuis werken zouden deze terug kunnen / moeten schroeven omdat anders er een te groot warmteoverschot in de kas ontstaat.
- Een belicht gewas wordt vrij snel te generatief (ervaring van huidige belichtende telers). Hierop zal geanticipeerd moeten worden. Momenteel probeert men dat door o.a. de afstand tussen de lamp en het gewas te variëren (minimale afstand 1.5 meter).
- Volgens deze teler zal het belichtingsniveau minimaal 4500 à 5000 lux (53-59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) moeten zijn om de productie echt omhoog te halen, in een vaste opstelling. Een beweegbare (horizontaal) opstelling levert te weinig op, deze kan je in de donkerste periode alleen aan een zetseltje helpen maar de stralingsom van zo'n installatie is te klein.
- De energievoorziening kent naar de toekomst toe nog een aantal zeer onbekende parameters. Energetisch gezien moet je zelf met een warmtekrachtinstallatie de stroom produceren. De 'lucratieve' handel in teruglevering wordt in ieder geval momenteel allengs minder. Daarnaast, wat en hoe gaat er met de CO₂-emissie handel gebeuren?? Dit kan zeer grote invloed hebben op financiële plaatje.

2.1.2 Energiezuinige teler II

Gesprek: juni 2005

Deze teler geeft direct aan dat hij voor zijn eigen situatie nog nooit over belichting heeft nagedacht. Hij volgt wel met grote belangstelling alle ontwikkelingen op collega bedrijven die belichting bij paprika toepassen. De belangrijkste punten die hij noemt in de vertaling naar zich zelf zijn:

- De bedrijfsgrootte moet fors omhoog naar minimaal 6 à 8 ha.
- Om een warmteoverschot te voorkomen zal er geclusterd moeten worden (warmte en mogelijk ook CO₂ leveren naar omliggende bedrijven of een deel van je eigen bedrijf niet belichten).
- De warmtekrachtinstallatie wordt het hart van de energievoorziening op je bedrijf (met of zonder teruglevering aan het net).

Hoe hij zijn setpointinstellingen zou wijzigen, als ze al wijzigen, weet hij nu nog niet. Hij geeft aan dat hij dat grotendeels pas 'on-line' zou bepalen als hij de reactie en de stand van het gewas zou zien. Hij zal wel proberen om zijn huidige teeltconcept en de stand van het gewas zoals hij het graag ziet vast te blijven houden.

De technische en financiële resultaten vindt hij over het algemeen erg tegenvallen. Deze teler was op het moment van dit gesprek op bezoek geweest bij een zwaar belichtende teler (10.000 lux; 118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De stand van het gewas in die kas viel hem erg tegen. Hij vroeg zich af hoe zo'n teelt de zomer door moet komen bij een grote verdampingsbehoefte. Hij had overigens het idee dat de problemen met de stand van het gewas niet zo zeer werden veroorzaakt door de belichting, maar door een te klein matvolume.

2.1.3 Energiezuinige teler III

Gesprek: juni 2005

Het teeltconcept van deze teler is ten opzichte van het vorige jaar (beschreven in Ravensbergen *et al.*, 2004c) iets gewijzigd. Door wat problemen met de kwaliteit van het gewas (*Fusarium*) en het geoogst product (binnenrot), is er in het voorjaar 2005 wat actiever geteeld. Dit houdt in dat er vroeger is opgestookt, zodat circa 1.5 uur voor zonsopkomst de dagtemperatuur van 21 °C is bereikt. Ook de nachttemperatuur mag iets minder ver wegzakken dan in het teeltconcept van het vorige jaar. De overstap van Ferrari naar Funky heeft hierop weinig tot geen invloed gehad. Er wordt dit seizoen meer geïnvesteerd in de ontwikkeling van de plant dan het vorige teeltseizoen. Hierdoor staat er nu (voor het oog en het gevoel) een sterkere plant.

Ook bij deze teler heeft belichting het laatste jaar sterk in de belangstelling gestaan. Hij is echter tot de conclusie gekomen dat gezien de investering je te lang het teeltplan vast moet blijven houden. Hij verwacht juist dat het teeltplan op korte termijn gewijzigd moet worden gezien de prijsontwikkeling van het aardgas. Hij vindt het interessanter om later te gaan planten, in plaats van een 4-weekse plant een 8-weekse plant neerzetten, en daarnaast ook nog eens 2 weken later zaaien. Hierdoor hoef je een maand minder in de koude periode te stoken. Het vervolgens verlengen van de teelt naar achteren is zeer sterk afhankelijk van de stand van het gewas en het laatste zetsel. Door de bedrijfsomvang (ruim 11 ha) weet hij wel een arbeidsfilm te realiseren die de vaste medewerkers aan het werk kan houden.

Zijn ideeën over belichting in zijn teeltconcept zijn:

- Bij toepassing van belichting moet je juist wel vroeg blijven zaaien, met de bijbehorende energiekosten van dien.
- De belichtingsintensiviteit moet niet zo hoog zijn. Bij 10.000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ontwikkelt de plant zich te generatief en heb je in de zomer een te zwakke plant staan (snelle veroudering). Als je gaat belichten, dan niet teveel, zo'n 3500 á 4000 lux (ca. 45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Hiermee kun je de teelt prima vervroegen.
- De belichtingsperiode zou dan ook van de teeltstart (15 november) tot ongeveer half april moeten lopen. In de herfst niet belichten.
- Belichten met de dag mee, zodat je 10 tot maximaal 12 uur belicht. Met de dag mee belichten omdat je toch erg weinig licht inbrengt. Daarnaast zul je anders ook een 2^e schermdoek moeten aanschaffen voor de

verduistering. Het transparante scherm moet je namelijk ook hebben voor de zomer om de piek van je stralingsbelasting weg te filteren (dit gebeurt door ca. 80 à 90% van de telers).

- Bij een globale straling van 250 á 300 W/m² de lampen weer uitschakelen.

De klimaatsetpoints zouden misschien op 2 punten aangepast moeten worden:

- Om de etmaaltemperatuur niet teveel te laten oplopen (de hoeveelheid extra licht is beperkt, maar je brengt nogal wat extra warmte in de kas), moet de nachttemperatuur enkele tienden naar beneden, om toch meer op de zetting te kunnen werken.
- Daarnaast zal je de verdamping gaan stimuleren, zodat je mogelijk wat sneller een vochtprobleem hebt. Dan de temperatuur van de buizen op laten lopen met de luchtvochtigheid. In de koude perioden niet direct gaan luchten, ook omdat je meestal maar weinig buis nodig hebt tijdens het belichten, en de temperatuur bij luchten dan snel onderuit kan gaan (als de buizen koud zijn, dan kan het even duren voordat je warmteafgifte hebt, zodat bij openen van de luchtramen je een temperatuurdip krijgt).

Op voorhand zou deze teler niet op meer punten het klimaat wijzigen. Uiteraard moet wel op de stand van de plant gereageerd worden, waardoor het kan zijn dat je van je standaard instellingen af moet wijken.

2.2 Reeds belichtende paprikatelers

Aan vijf paprikatelers die in hun teelt (vaste) belichting toepassen is gevraagd naar hun ervaringen met belichting. Vier telers hiervan gaven aan dat ze nog te weinig ervaring opgedaan hadden met belichting, om hun teeltstrategie onder belichting vastgesteld te hebben.

2.2.1 Belichtende teler I

Gesprek: mei 2005

Belichtende tuinder I heeft dit seizoen (2004/2005) belichting geïnstalleerd (3800 lux; 45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De reden dat hij over is gegaan op belichting is dat hij verwachtte een hogere vroegere productie te kunnen realiseren in combinatie met een betere prijs. Zijn belichtingsstrategie ziet er als volgt uit:

- Start belichting: rond 1 december (dit is 2 weken na planten).
- December - januari: belichten van 7 tot 16 uur.
- Februari: om 6 uur starten met belichten. Als meer dan 350 W m² buitenstraling (globale straling), dan gaan de lampen uit. In het algemeen geldt 'uit blijft uit'. Soms wordt bij zeer wisselende straling de dode zone wat hoger gezet. Er wordt gestopt met belichten als de warmte niet meer nuttig gebruikt kan worden (er wordt geen warmte vernietigd).
- Eind februari: start met belichten om 5:30 uur. Vanaf 9 uur gaan de lampen uit, elektriciteit levering heeft dan de prioriteit. Deze strategie gaat door tot half mei.
- Van half mei tot half augustus wordt niet belicht.
- Van half augustus tot eind oktober (einde teelt) wordt belicht van 6 tot 9 uur (dag worden korter).

Deze teler geeft aan dat de belichting geen invloed heeft op de stook- en ventilatiestrategie. Om zijn temperaturen te realiseren is het wel zo dat als de lampen uit zijn, hij een 7 °C hogere buistemperatuur nodig heeft. Ook op zijn vochtstrategie heeft de belichting geen effect. De teler trekt door het gebruik van belichting 's morgens zijn scherm gemiddeld 1 uur eerder open. De redenen hiervoor zijn dat het gewas door de warmte van de lampen al op temperatuur is (de kop is al warm) en dat hij de buis op temperatuur wil houden. Het risico bestaat dat als de zon door komt de gewenste buistemperatuur wegvalt als het scherm dicht blijft liggen omdat er dan geen warmtevraag meer is door de warmte van de lampen. Als het scherm eerder geopend wordt, valt de warmtevraag niet weg.

Gevraagd naar wat hij zou doen als de belichtingsintensiteit zou verdubbelen antwoordde hij dat de nachttemperatuur dan lager zou moeten zijn, omdat anders de etmaaltemperatuur te hoog wordt. Hij zou de overgang van nacht naar dagtemperatuur langzaam laten verlopen. Bij een dubbele belichtingsintensiteit is er te veel warmte beschikbaar.

baar. Er treden dan problemen op met de opslagcapaciteit (buffer). Ook zal dan niet de hele WK CO₂ kunnen leveren. De buffer is anders in de zomer zo vol.

2.3 Samenvatting

De drie energiezuinige telers volgen de ontwikkelingen rondom belichting in de paprikateelt met belangstelling, maar zijn voorlopig zeker nog niet van plan om op hun bedrijven belichting te installeren. De belangrijkste reden hiervoor is dat ze verwachten dat belichting in de paprikateelt bedrijfseconomisch niet uit kan. Ze gaan er wel van uit dat door belichting de productie toe zal nemen en de productkwaliteit zal verbeteren, maar ze verwachten dat de productietoename niet voldoende zal zijn om de investeringen in de belichting terug te verdienen. In deze overwegingen spelen ook de lage paprikaprijzen in het teeltseizoen 2005 een rol.

De drie energiezuinige telers geven aan dat als ze zouden gaan belichten, ze het vermijden van een warmteoverschot of het zo verantwoord mogelijk omgaan met een eventueel warmteoverschot belangrijk vinden. In de praktijk zou dit betekenen dat deze telers alleen overdag zouden belichten om het warmteoverschot zo veel mogelijk te beperken. Ze denken in dat geval met ongeveer 4000 lux ($47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) te gaan belichten, maar hun teeltconcept zo veel mogelijk in stand te houden. Temperatuursetpoints zullen wel anders ingesteld worden vanwege de warmte die door de lampen wordt afgegeven. Eén van deze telers noemt verder dat om zo verantwoord mogelijk om te gaan met een warmteoverschot, hij zijn bedrijf zou clusteren met een niet belicht bedrijf.

Van de belichtende tuinders die gevraagd waren mee te werken aan het onderzoek, gaven de meesten aan dat ze nog maar zeer kort bezig waren met belichting (één teeltseizoen of minder) en om die reden nog niet voldoende ervaring met belichting hadden om hun teeltstrategie aan te kunnen geven. De geïnterviewde teler gaf aan dat de belichting geen invloed heeft op zijn stook- en ventilatiestrategie.

3. Belichting in het energiezuinige teeltconcept – kwantitatief

3.1 Inleiding

In het project 'Quick scan energiezuinige paprikateelt' is een teeltconcept beschreven waarmee het energieverbruik in de (onbelichte) paprikateelt terug gebracht kan worden tot circa 33 m³ aardgas per m² per jaar met een voor paprika standaard bedrijfsuitrusting en zonder concessies te doen aan de opbrengst (28 kg rood/m²/jaar). Dit teeltconcept wordt gekarakteriseerd door:

- Telen bij relatief lage temperaturen
- Rustige klimaatovergangen creëren, bijvoorbeeld door een grote dode zone tussen de stook- en ventilatielijn
- Weinig op vocht regelen
- Veel schermen

In dit project wordt gekeken hoe assimilatiebelichting in dit teeltconcept ingepast kan worden. Hiertoe zijn met het kasklimaatmodel KASPRO (De Zwart, 1996) en het gewasgroeimodel INTKAM (Marcelis *et al.*, 2000) een aantal scenarioberekeningen gedaan. De uitgangspunten en resultaten van deze berekeningen worden in dit hoofdstuk weergegeven.

3.2 Scenario's

3.2.1 Aanpassingen in het teeltconcept

De berekeningen zijn gebaseerd op het teeltconcept van de energiezuinige paprikateelt I (Ravensbergen *et al.*, 2004a). De instellingen die horen bij dat teeltconcept zijn de basisinstellingen voor de modelberekeningen. Om te voorkomen dat voor de praktijk niet realistische instellingen de resultaten beïnvloeden, was het nodig om in het teeltconcept een paar aanpassingen door te voeren om belichting in het teeltconcept in te kunnen passen. Zo was het nodig de grote dode zone die nu in het teeltconcept zit te verkleinen. Op het moment dat er een grote belichtingscapaciteit wordt geïnstalleerd, zal de kasluchttemperatuur vanzelf gaan stijgen. Wordt er dan niets aan de dode zone gedaan, dan kan de etmaalttemperatuur meer gaan stijgen dan gewenst. Dit komt met name voor wanneer in de nacht wordt belicht. Om dit te voorkomen wordt de dode zone verkleind van 4 °C naar 2 °C in de scenario's waarin 's nachts wordt belicht, zodat 'overtollige' warmte sneller afgelucht zal gaan worden. Verder wordt bij de introductie van belichting in het teeltconcept een verduisterings scherm geplaatst. Door maximaal 5% temperatuurkier toe te laten, realiseert dit scherm tenminste 95% reductie van de lichtuitstoot. Het verduisterings scherm sluit als de globale straling kleiner is dan 5 W m⁻² is. Als de kasluchttemperatuur meer dan 0.5 °C boven het setpoint verwarmen komt, wordt er een temperatuurkier getrokken. Er is een beweegbaar gevels scherm (verduistering). Naast het horizontale verduisterings/lichtreflectiescherm, blijft het (transparante) energiescherm gehandhaafd. Er is gekozen om in de scenario's waar met de dag mee wordt belicht alleen het transparante scherm te gebruiken, omdat de lichtuitstoot in die gevallen geen probleem is. Om de lampen van elektriciteit te kunnen voorzien, wordt er een warmtekrachtinstallatie geplaatst, met een elektrisch rendement van 41% (in documentatie over grote WK-installaties wordt wel 42-43% genoemd, echter hier wordt geen rekening gehouden met elektriciteitsverbruik van pompen en ventilatoren om de installatie draaiende te houden) en een thermisch rendement van 50%. Met deze installatie wordt ook CO₂ gedoseerd. De installatie draait alleen indien de lampen aan zijn en is net zo groot als het benodigde elektrisch geïnstalleerd vermogen van de lampen (per m²).

3.2.2 Door te rekenen scenario's

Belichtingsniveaus

- 3.000 lux (35 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- 5.000 lux (59 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- 10.000 lux (118 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Voor een SON-T lamp wordt gerekend met 1000 lux = $11.7647 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 2.3529 \text{ W m}^{-2} \text{ PAR}$. Bij een PAR rendement van de lamp van 25%, komt 1000 lux dus overeen met $9.4118 \text{ W}_{\text{elektrisch}} \text{ m}^{-2}$ (Spaargaren, 2000). Er wordt dus gerekend met elektrisch geïnstalleerde vermogens van 28, 47 en 94 W m^{-2} .

Belichtingsperiode

- Van de teeltstart (15 november) tot 1 april, van 1 uur voor zonsopkomst tot 1 uur voor zonsondergang. Als de globale straling groter is dan 350 W m^{-2} gaan de lampen uit. Daalt de globale straling weer onder deze 350 W m^{-2} , dan gaan de lampen weer aan.
- Van de teeltstart (15 november) tot 1 april, van middernacht tot 1 uur voor zonsondergang. Als de globale straling groter is dan 350 W m^{-2} gaan de lampen uit. Daalt de globale straling weer onder deze 350 W m^{-2} , dan gaan de lampen weer aan.

Temperatuur

Door de belichting, in combinatie met het schermen, zal de kasluchttemperatuur gaan stijgen. Om de etmaaltemperatuur van het onbelichte teeltconcept te handhaven, moet in bepaalde fasen van de dag het setpoint verwarmen verlaagd worden. De effecten van de volgende twee temperatuurstrategieën worden doorgerekend:

- Etmaaltemperatuur laten stijgen ten opzichte van de onbelichte teelt door de warmte van de lampen.
- Etmaaltemperatuur proberen gelijk te houden aan de onbelichte teelt door temperatuurverlaging middels een temperatuurintegratieregeling, waarbij het setpoint verwarmen niet onder de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ komt.

In het totaal worden zo $3 \times 2 \times 2$ is 12 scenario's doorgerekend en vergeleken met de referentie (onbelichte teelt van energiezuinige teler I).

Tabel 3.1. Beschrijvingen van de scenario's.

Naam scenario	Belichtingsniveau (lux)	Belichtingsperiode	Etmaaltemperatuur
Referentie (energiezuinige teler I)	0	n.v.t.	n.v.t.
Belichten alleen gedurende de dag			
3000_D_Thoger	3.000	gedurende de dag	mag iets omhoog
3000_D_Tgelijk	3.000	gedurende de dag	blijft gelijk
5000_D_Thoger	5.000	gedurende de dag	mag iets omhoog
5000_D_Tgelijk	5.000	gedurende de dag	blijft gelijk
10000_D_Thoger	10.000	gedurende de dag	mag iets omhoog
10000_D_Tgelijk	10.000	gedurende de dag	blijft gelijk
Belichten in de nacht en gedurende de dag			
3000_N+D_Thoger	3.000	start in de nacht	mag iets omhoog
3000_N+D_Tgelijk	3.000	start in de nacht	blijft gelijk
5000_N+D_Thoger	5.000	start in de nacht	mag iets omhoog
5000_N+D_Tgelijk	5.000	start in de nacht	blijft gelijk
10000_N+D_Thoger	10.000	start in de nacht	mag iets omhoog
10000_N+D_Tgelijk	10.000	start in de nacht	blijft gelijk

3.3 Uitgangspunten kas en teelt

Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een standaardkas, met de volgende technische bedrijfsgegevens:

Oppervlakte kas:	40.000 m ² .
Type kas:	Venlo, 8 m tralie
Vakmaat:	4.5 m
Poothoogte:	5 m
Scherf:	SLS 10 Ultra Plus
Isolatie gevel:	vast folie hele jaar
Buffergrootte:	100 m ³ /ha. Indien de buffer vol is, wordt CO ₂ -dosering gestopt.
Type condensor	enkel op retour
Type verwarmingsnet:	1 net van 5 x 2 buizen per 8 m (45 mm), maximale buistemperatuur 70 °C
Zuivere CO ₂	nee

Tabel 3.2. *Aanpassingen aan de kasuitrusting en de klimaatregeling in de scenario's.*

Scenario	Aanpassingen ten opzichte van de referentie
Belichten alleen gedurende de dag	
3000_D_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 28 W/m ²
3000_D_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 28 W/m ² TI met 2 °C bandbreedte
5000_D_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 47 W/m ² ; minimumbuistemperatuurverlaging
5000_D_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 47 W/m ² ; TI met 2 °C bandbreedte; minimumbuistemperatuurverlaging
10000_D_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 94 W/m ² ; minimumbuistemperatuurverlaging
10000_D_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 94 W/m ² ; TI met 2 °C bandbreedte; minimumbuistemperatuurverlaging
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag	
3000_D+N_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 28 W/m ² ; 2 ^e scherm; tijdstippen minimumbuis en verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind
3000_D+N_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 28 W/m ² ; 2 ^e scherm; TI met 2 °C bandbreedte; tijdstippen minimumbuis verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind
5000_D+N_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 47 W/m ² ; 2 ^e scherm; tijdstippen minimumbuis verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind; minimumbuistemperatuurverlaging
5000_D+N_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 47 W/m ² ; 2 ^e scherm; TI met 2 °C bandbreedte; tijdstippen minimumbuis verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind; minimumbuistemperatuurverlaging
10000_D+N_Thoger	wk-installatie met elektrisch vermogen van 94 W/m ² ; 2 ^e scherm; tijdstippen minimumbuis verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind; minimumbuistemperatuurverlaging
10000_D+N_Tgelijk	wk-installatie met elektrisch vermogen van 94 W/m ² ; 2 ^e scherm; TI met 2 °C bandbreedte; tijdstippen minimumbuis verschoven naar starttijd belichting; dode zone in de nacht verkleind; minimumbuistemperatuurverlaging

De paprika teelt (cultivar Ferrari, rood) start op 15 november 2003 (plantdatum) en loopt door tot 1 november 2004. De planten zijn gezaaid op 9 oktober 2003. De plantdichtheid is 2.38 planten per m². Er worden per plant 3 stengels aangehouden, resulterend in een stengeldichtheid van 7.14 stengels per m². Er wordt een grote dode

zone van 2 tot 5 °C (afhankelijk van dagdeel en seizoen) toegepast op de ventilatielijn. Daardoor wordt er nog maar een kleine lichtverhoging doorgevoerd (1 à 2 °C). Er wordt geen gebruik gemaakt van minimumraam instellingen, echter wel van een minimumbuis temperatuur. Deze is 2 uur voor zonsopkomst 40 °C, 1 uur voor zonopkomst 43 °C en 6 uur na zonopkomst afgebouwd tot de kasluchttemperatuur. Op licht kan de minimumbuis temperatuur sneller worden afgebouwd. Het vochtsetpoint is jaarrond hoog (90%). Bij overschrijding van het vochtsetpoint wordt afhankelijk van de buitentemperatuur 1 tot 3% raamstand per% vochtoverschrijding ingezet (buitentemperatuur van respectievelijk 5 en 15 °C)

Om de in de vorige paragraaf beschreven scenario's op een realistische wijze te kunnen doorrekenen, zijn in de kasuitrusting en regeling een aantal aanpassingen doorgevoerd (Tabel 3.2).

Verklaring bij omschrijving van de aanpassingen

- Als er een warmtekrachtinstallatie aanwezig is, dan zal deze (indien in gebruik) in eerste instantie ook de CO₂-voorziening verzorgen.
- Het 2^e scherm mag maximaal op een temperatuurkier of vochtkier van 5% worden gezet om aan de reductie van de lichtuitstoot van 95% te voldoen.
- De temperatuurintegratie module wordt alleen gebruikt in de periode dat er ook belicht wordt, van 15 november tot 1 april.
- Het tijdstip van de minimumbuis is verschoven naar de starttijd van de belichting (bij start belichting om middernacht). De minimumbuis is dan om 23:00 uur 40 °C, 24:00 uur 43 °C en 3 uur na zonopkomst is deze afgebouwd tot de kasluchttemperatuur.
- De dode zone wordt tijdens de belichtingsperiode in de nachturen verkleind tot 2 °C om de kasluchttemperatuur niet teveel te laten stijgen.
- De minimumbuis temperatuurverlaging wordt doorgevoerd omdat de lampen bij de grotere belichtingsintensiteiten een zodanige hoeveelheid warmte produceren, dat hiermee in ieder geval een deel van de warmte-inbreng van de buizen overbodig wordt. Bij een belichtingsintensiteit van 5000 lux (59 μmol m⁻² s⁻¹) is er 3 °C van de buis temperatuur afgehaald als de lampen aan zijn en bij 10.000 lux (118 μmol m⁻² s⁻¹) 8 °C ten opzichte van de referentie (35 °C in plaats van 43 °C).

3.4 Simulatie referentie (energiezuinige teler I)

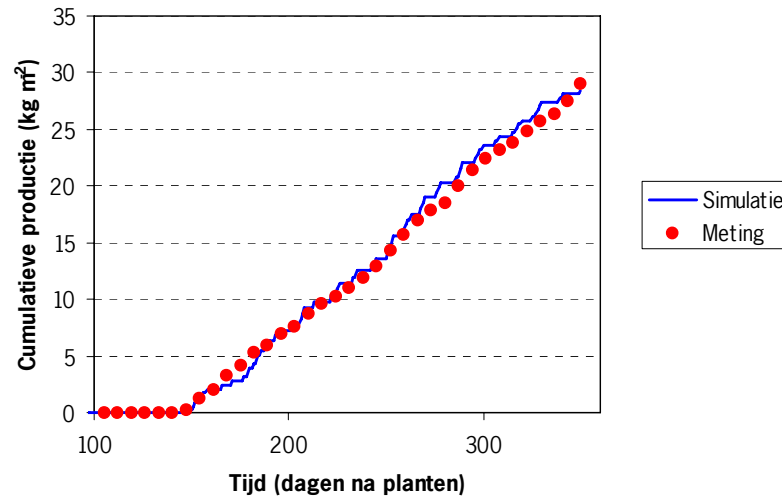
Voor de modelberekeningen zijn de uitgangspunten van de kas en teelt ingevoerd in het kasklimaatmodel KASPRO en het gewasgroeimodel INTKAM. KASPRO genereert op basis van de instellingen en het buitenklimaat een kasklimaat, dat vervolgens door INTKAM wordt gebruikt om de gewasontwikkeling en -productie te berekenen.

Energiezuinige teler I realiseerde in het seizoen 2003/2004 een productie van 29.1 kg paprika's per m², met een gemiddeld vers vruchtgewicht van 168.5 gram. Het gewasgroeimodel simuleerde een totale versproductie van 28.5 kg m⁻² (Figuur 3.1), bij een gemiddeld vers vruchtgewicht van 176 gram. Het is opvallend dat de teler een zeer stabiel productiepatroon weet te realiseren. De gesimuleerde productie vertoont een lichte golfbeweging die gekoppeld is aan de toe- en afname van de globale straling in het seizoen.

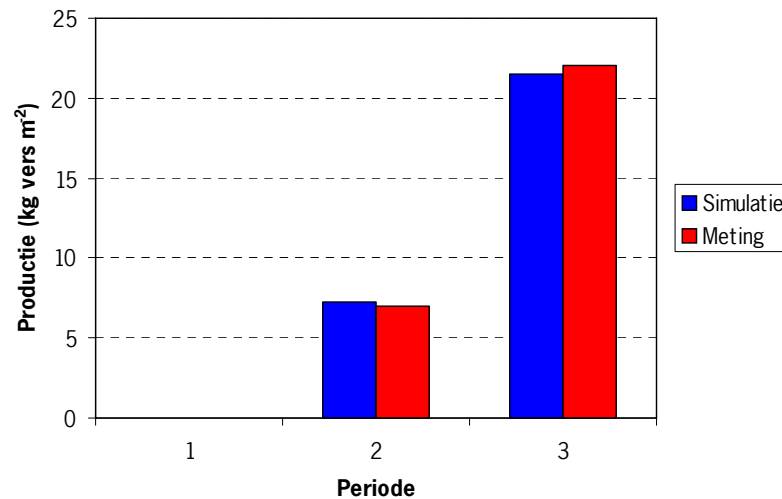
In het kader van dit onderzoek worden drie perioden onderscheiden:

- Van planten tot 1 april. In deze periode wordt belicht.
- Van 1 april tot 1 juni. In deze periode kunnen najleffecten van de belichting op groei en productie aanwezig zijn.
- Van 1 juni tot het einde van de teelt. In deze periode zullen eventuele najl effecten zwak zijn.

In de eerste periode (tot 1 april) is er bij de energiezuinige teler I nog geen productie, en er wordt ook nog geen productie gesimuleerd (Figuur 3.2). De gesimuleerde producties zijn in de tweede en de derde periodes nagenoeg gelijk aan de gemeten producties (een zeer lichte overschatting in de tweede periode, en een zeer lichte onderschatting in de derde periode).



Figuur 3.1. Gemeten (energiezuinige teler I) en gesimuleerde cumulatieve paprikaproductie.



Figuur 3.2. Gemeten (energiezuinige teler I) en gesimuleerde paprikaproductie in de volgende drie perioden: planten tot 1 april (periode 1), 1 april tot 1 juni (periode 2) en 1 juli tot einde teelt (periode 3).

3.5 Resultaten scenarioberoeeningen

3.5.1 Klimaat

Het gebruik van assimilatiebelichting heeft invloed op het gerealiseerde klimaat. Met name hoge belichtingsintensiteiten in combinatie met het (in de toekomst verplichte) schermgebruik laten de kasluchttemperatuur snel stijgen. In deze paragraaf wordt ingegaan op gerealiseerde kasluchttemperatuur, hoeveelheid licht, RV en CO₂-niveaus.

3.5.1.1 Kasluchttemperatuur

Ondanks de aanpassingen in de regeling om de ruimtetemperatuur niet 'te ver' te laten oplopen, stijgt de kasluchttemperatuur bij de grotere belichtingsintensiteiten toch behoorlijk. Uit Tabel 3.3 en de figuren in Bijlage I blijkt dat de kasluchttemperatuur op etmaalbasis tot bijna 2 °C kan stijgen ten opzichte van de referentie.

Tabel 3.3. Gemiddelde kasluchttemperatuur (°C) voor 4 weekse perioden na de teeltstart in de belichtingsperiode (15 november – 1 april) en de totale periode 15 november – 1 april.

Scenario	Periode					
	15 nov - 12 dec	13 dec - 9 jan	10 jan - 6 feb	7 feb - 5 mrt	6 mrt - 1 apr	15 nov - 1 apr
Referentie	20.1	19.2	18.3	18.8	19.3	19.2
Belichten alleen gedurende de dag						
3000_D_Thoger	20.4	19.3	18.4	18.9	19.5	19.3
3000_D_Tgelijk	20.4	19.3	18.4	18.9	19.5	19.3
5000_D_Thoger	20.6	19.4	18.6	19.1	19.6	19.4
5000_D_Tgelijk	20.5	19.4	18.6	19.1	19.6	19.4
10000_D_Thoger	21.0	19.8	19.0	19.4	19.8	19.8
10000_D_Tgelijk	20.9	19.7	18.9	19.3	19.7	19.7
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag						
3000_D+N_Thoger	20.9	19.8	19.0	19.1	19.8	19.7
3000_D+N_Tgelijk	20.7	19.6	18.9	19.0	19.6	19.6
5000_D+N_Thoger	21.2	20.0	19.2	19.3	20.0	20.0
5000_D+N_Tgelijk	21.0	19.8	19.0	19.3	19.8	19.8
10000_D+N_Thoger	22.0	20.6	19.8	20.0	20.5	20.6
10000_D+N_Tgelijk	21.5	20.1	19.4	19.7	20.1	20.1

Naarmate de belichtingsintensiteit hoger wordt, neemt de temperatuurstijging ten opzichte van de referentie toe. De temperatuur stijgt het meest in de scenario's waar vanaf middernacht belicht wordt. Dit is het gevolg van de verplichting het verduisteringsscherm tot minimaal 95% dicht te laten lopen (lichtreductie). Het blijkt erg lastig te zijn om de kasluchttemperatuur in de nachtperiode onder het verduisteringsscherm te laten dalen. De enige mogelijkheid is de dode zone tussen stoken en ventileren nog verder terug te brengen, eventueel tot zelfs een negatieve waarde. In de scenario's waarin 's nachts belicht wordt, is de dode zone al teruggebracht tot 2 °C, wat al een halvering is ten opzichte van het (onbelichte) energiezuinige teeltconcept. Door de hogere kasluchttemperatuur wordt er meer geventileerd. Waar in de referentie in de winterperiode de ramen altijd dicht liggen, wordt er bij de grotere belichtingsintensiteiten in de winter al gemiddeld 2 tot 4% raamstand ingezet om de temperatuur te drukken.

In de scenario's met de toevoeging 'Tgelijk' wordt via temperatuurintegratie getracht de etmaaltemperatuur gelijk te houden aan de referentie. Uit Tabel 3.3 blijkt dat de toegepaste temperatuurintegratie niet voldoende is om de etmaaltemperatuur terug te brengen tot het niveau van de referentie. Door temperatuurintegratie toe te passen, wordt de stijging van de etmaaltemperatuur met maximaal 0.5 °C teruggebracht tot 1.5 °C. De reden dat temperatuurintegratie niet voldoende is om de temperatuur terug te brengen naar die van de referentie is het aantal uren waarin de temperatuurcompensatie kan plaatsvinden, namelijk uren waarin niet belicht wordt en de zonnestraling nog niet zo sterk is dat daardoor de kas op temperatuur wordt gehouden, beperkt zijn.

Na 1 april wordt er niet meer belicht en zijn er geen verschillen meer in etmaaltemperaturen tussen de verschillende scenario's.

3.5.1.2 Licht

Door de introductie van belichting neemt de hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR) in de kas toe. In het teeltseizoen komt er 1240 MJ per m² PAR straling de kas in. De scenario's waar vanaf middernacht belicht wordt, hebben 2 scherminstallaties. Dit kost ruim 2% licht op jaarbasis (Tabel 3.4). In de periode waarin belicht wordt (15 november tot 1 april), komt er 179 MJ/m² PAR licht van de zon. Als er belicht wordt met 3000 lux gedurende de

dag, komt daar 28 MJ/m² lamplicht bij. Dat is 16% meer licht. Als echter 's nachts al wordt begonnen met belichting met 10000 lux, leveren de lampen 176 MJ/m². Dat betekent dat de hoeveelheid PAR licht in de periode 15 november tot 1 april hierdoor verdubbeld wordt. Van deze straling wordt 92-94% door de planten geabsorbeerd. Dit percentage is afhankelijk van het belichtingsniveau (Tabel 3.4). Op jaarbasis echter is de bijdrage van de lampen aan de hoeveelheid PAR licht beperkt. Wanneer met vanaf middernacht met 10000 lux belicht wordt, leveren de lampen 176 MJ/m² licht en de zon 1213 MJ/m². De bijdrage van de lampen is dus op jaarbasis nooit meer dan 15% van de totale hoeveelheid PAR.

Tabel 3.4. Hoeveelheid PAR licht in de kas per jaar van de zon, van de lampen en totaal, hoeveelheid PAR licht door de planten geabsorbeerd en percentage van het licht dat door de planten wordt geabsorbeerd.

Scenario	Zon [MJ/m ²]	Lamp [MJ/m ²]	Totaal [MJ/m ²]	% licht geabsorbeerd
Referentie	1240	0	1240	94
Belichten alleen gedurende de dag				
3000_D_Thoger	1240	28	1268	94
3000_D_Tgelijk	1240	28	1268	94
5000_D_Thoger	1240	47	1287	93
5000_D_Tgelijk	1240	47	1287	93
10000_D_Thoger	1240	93	1333	93
10000_D_Tgelijk	1240	93	1333	93
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag				
3000_D+N_Thoger	1213	52	1265	93
3000_D+N_Tgelijk	1213	52	1265	93
5000_D+N_Thoger	1213	88	1301	93
5000_D+N_Tgelijk	1213	88	1301	93
10000_D+N_Thoger	1213	176	1389	92
10000_D+N_Tgelijk	1213	176	1389	92

3.5.1.3 Kaslucht RV

In alle scenario's waar 's nachts ook belicht wordt stijgt de RV met 4 tot 6%. Alleen in de eerste periode na de teeltstart daalt de RV licht. Doordat het gewas dan nog klein is, en dus weinig kan verdampen, en er toch al wat op temperatuur geventileerd moet worden, wordt er juist meer vocht afgevoerd dan in de referentie. Het scherm is daarnaast een forse barrière om vocht af te voeren. In de scenario's waar met de dag mee wordt belicht, is de stijging van de RV slechts gering (tot 1%).

3.5.1.4 CO₂

Doordat de elektriciteit in de scenario's met een warmtekrachtinstallatie wordt opgewekt, is er meer CO₂ beschikbaar dan wanneer een ketel wordt gebruikt. Nadeel is echter dat er veel CO₂ vrijkomt op momenten dat de CO₂-vraag klein is, namelijk in de nachturen als er weinig geventileerd wordt. Uit Tabel 3.5 blijkt dat het gasverbruik door de ketel bij alle scenario's vergelijkbaar is. Dit is logisch omdat het grootste deel van de CO₂ in de zomer gedoseerd wordt, terwijl de warmtekrachtinstallatie na 1 april niet meer draait. In de periode 15 november – 1 april wordt er in de referentie 4.9 kg CO₂/m² gedoseerd. Dat de totale hoeveelheid gedoseerde CO₂ toch toeneemt bij een toename van de belichtingsintensiteit, is het gevolg van de toegenomen ventilatie om de gewenste kasluchttemperatuur te handhaven. Desondanks daalt het gemiddeld gerealiseerde CO₂-niveau tijdens de uren dat het licht is of er belicht wordt in de periode 15 november – 1 april bij een toename van de belichtingscapaciteit iets, ondanks dat er meer

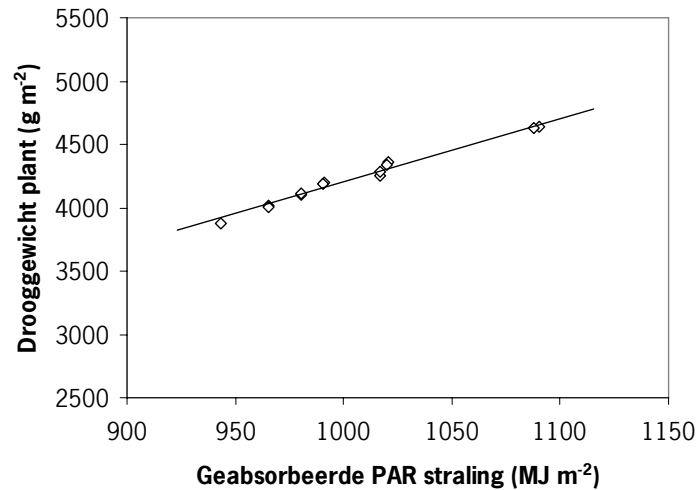
CO₂ is gedoseerd. De oorzaak hiervan is tweeledig. De regeling van warmtekracht, ketel en buffer is zodanig opgebouwd dat als er een warmteoverschot is de buffer als eerste wordt gevuld. Is de buffer vervolgens vol, dan pas wordt de warmte vernietigd. Hierdoor kan het voorkomen dat in relatief warme nachten waarin de belichting aan is, de warmtevraag zo klein is dat vrijwel alle warmte van de warmtekrachtinstallatie in de buffer moet worden opgeslagen. Gevolg hiervan is dat er overdag minder ruimte in de buffer aanwezig is dan in de referentie en er dus minder CO₂ met de ketel geproduceerd kan worden. Er wordt immers geen 'ketel' warmte vernietigd ten behoeve van de CO₂ dosering. Aan de andere kant moet er door het warmteoverschot in de kas ook nog eens eerder en meer geventileerd worden, waardoor het CO₂ verlies toeneemt. Bij elkaar zorgt dit voor een kleine daling van het gemiddelde CO₂-niveau. In de periode 15 november – 6 februari is de daling nog nihil. In de zomer (na 2 april) zijn er geen verschillen tussen de scenario's omdat de warmtekrachtinstallatie dan is uitgeschakeld.

Tabel 3.5. Gedoseerde hoeveelheid rookgassen uit de ketel en de warmtekrachtinstallatie en het CO₂-niveau tijdens de uren dat het licht is, dan wel dat de belichting is aangeweest voor de periode 15 november – 1 april.

Scenario	Gedoseerd rookgas			CO ₂ niveau [ppm]
	WK [kg/m ²]	Ketel [kg/m ²]	Totaal [kg/m ²]	
Referentie	0.0	4.9	4.9	954
Belichten alleen gedurende de dag				
3000_D_Thoger	5.9	1.7	7.6	982
3000_D_Tgelijk	5.8	1.6	7.4	983
5000_D_Thoger	9.0	1.6	10.6	978
5000_D_Tgelijk	8.6	1.6	10.1	978
10000_D_Thoger	16.1	0.8	16.9	867
10000_D_Tgelijk	15.1	0.7	15.8	873
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag				
3000_D+N_Thoger	10.8	1.6	12.3	994
3000_D+N_Tgelijk	10.6	1.5	12.1	994
5000_D+N_Thoger	16.9	1.1	18.0	983
5000_D+N_Tgelijk	16.0	0.9	16.9	977
10000_D+N_Thoger	30.9	0.6	31.4	896
10000_D+N_Tgelijk	28.7	0.4	29.2	877

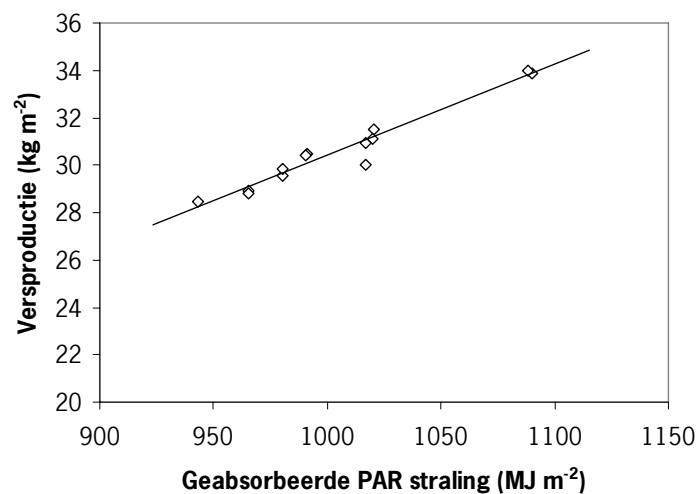
3.5.2 Productie

Naarmate de hoeveelheid door de plant geabsorbeerd licht toeneemt, neemt de fotosynthese van het gewas toe. Het drooggewicht van de plant aan het einde van het teeltseizoen neemt ook (lineair) toe met de hoeveelheid geabsorbeerde straling (Figuur 3.3).



Figuur 3.3. Effect van de hoeveelheid geabsorbeerde PAR straling op het drooggewicht van de totale plant aan het einde van het teeltseizoen (1 november) voor de referentie en de verschillende scenario's.

Ook de productie van paprika's, uitgedrukt in kilo's per plant, neemt (lineair) toe met de hoeveelheid geabsorbeerde straling (Figuur 3.4). De productie in de onbelichte teelt is 28.5 kg per m² per jaar en deze neemt toe naar maximaal 34.0 kg m² jaar⁻¹ bij 10.000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) belichting. Mogelijk meer nog dan de absolute stijging van de hoeveelheid kilo's is het van belang wanneer deze kilo's geproduceerd worden, in verband met het verloop van de prijzen van de paprika's in het seizoen (zie Tabel 3.6).

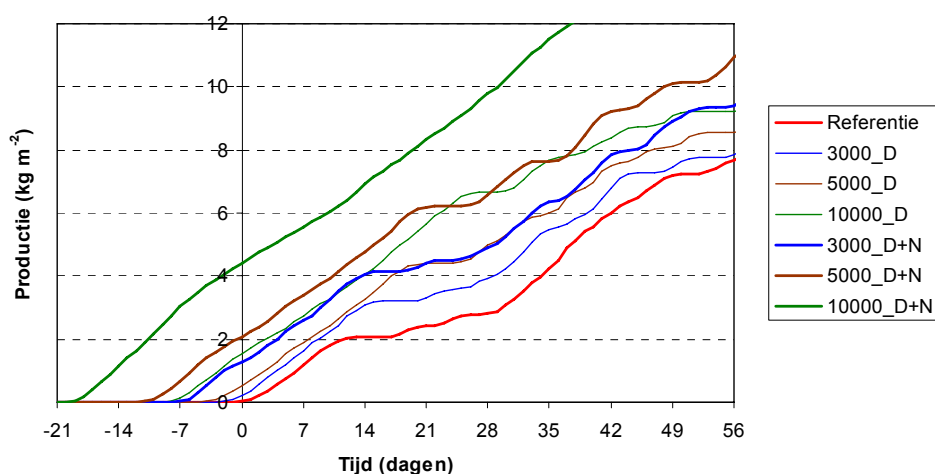


Figuur 3.4. Effect van de hoeveelheid geabsorbeerde PAR straling op de productie aan het einde van het teeltseizoen (1 november) voor de referentie en de verschillende scenario's.

Tabel 3.6. Prijzen van groene en rode paprika's in de verschillende periodes van het jaar (KWIN 2005/2006).

Periode	Prijs (€/kg)	
	Groen	Rood
1	-	-
2	-	-
3	1.49	2.99
4	2.04	2.69
5	1.40	2.20
6	1.51	1.62
7	0.81	1.44
8	0.86	0.79
9	1.03	1.12
10	1.20	1.28
11	0.55	1.16
12	0.72	-
13	-	-

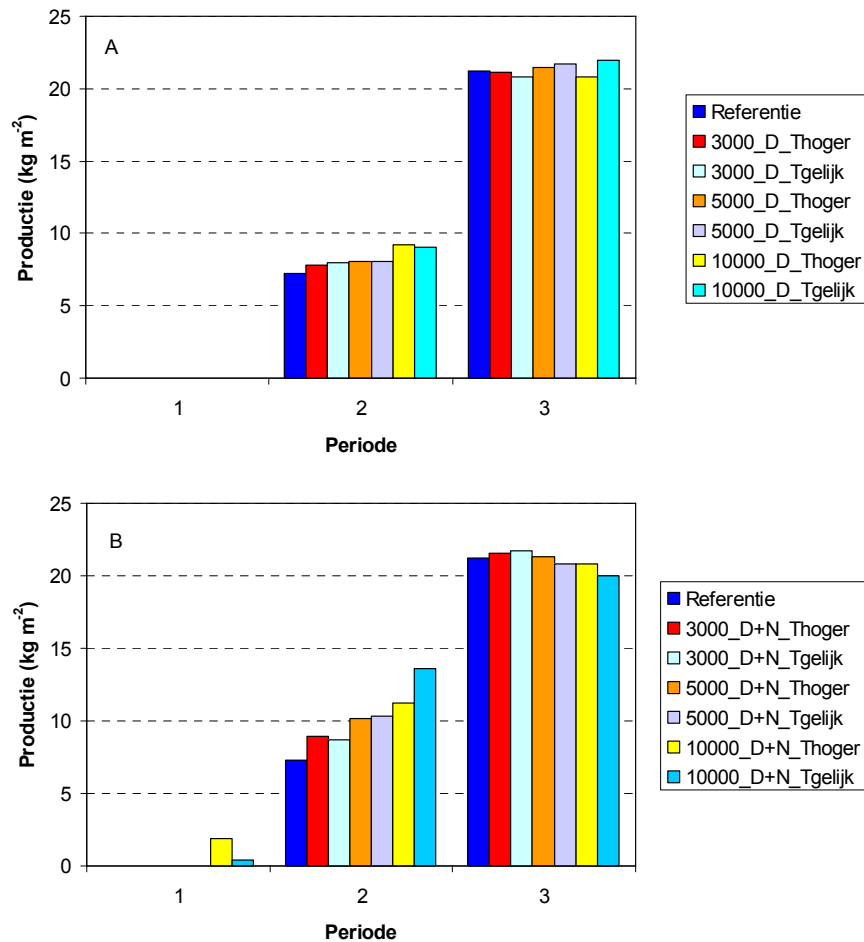
Het belichten van de paprikaplanten leidt bij eenzelfde plantdatum tot een vervroeging van de productie. Uit Figuur 3.5 blijkt dat de eerste kilo per plant in de scenario's waarin met 3000 lux ($35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gedurende de dag wordt belicht 2 dagen eerder wordt geproduceerd. Wanneer met 5000 lux ($59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gedurende de dag wordt belicht, komt de eerste kilo nog een dag eerder. Bij belichten met 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gedurende de dag wordt de productie van de eerste kilo per plant een week vervroegd. Wanneer overdag en 's nachts wordt belicht met 5000 lux, wordt de productie met 11 dagen vervroegd. Als ook 's nachts wordt belicht met 10000 lux, is deze vervroeging 19 dagen. Dit leidt uiteindelijk tot de hogere producties aan het einde van de teelt.



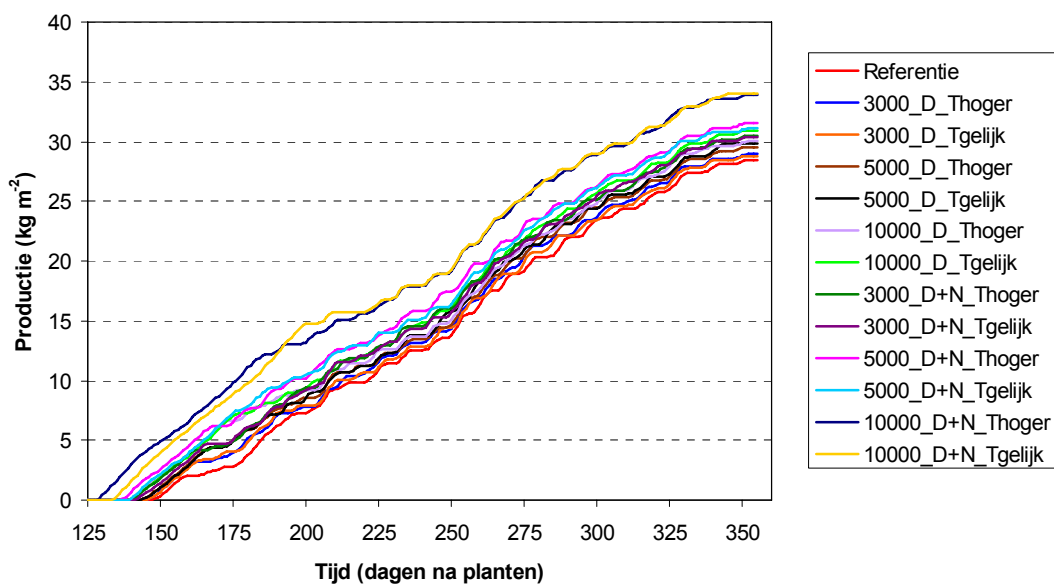
Figuur 3.5. Begin van de productie van de onbelichte referentie en de 6 scenario's Thoger. Zie voor de toelichting op de legenda Tabel 3.2. De start van de productie van de referentie is op 0 dagen gezet.

Om de effecten van de belichting goed te beoordelen, is de productieperiode in 3 delen gesplitst, te weten van planten tot 1 april (in deze periode wordt belicht), van 1 april tot 1 juni (na-ijleffecten van belichting op groei en productie aanwezig) en van 1 juni tot einde teelt (eventuele na-ijleffecten zwak). Uit Figuur 3.6 is te zien dat de referentie (onbelichte teelt) nog geen productie heeft in de periode tot 1 april. In de twee belichtingsscenario's waarin vanaf middernacht met 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) belicht wordt, is de productie zodanig vervroegd dat deze scenario's

in deze periode wel een productie realiseren. In periode 2 (1 april tot 1 juni) realiseren bijna alle scenario's een hogere productie dan de onbelichte referentie. Deze productiestijging wordt veroorzaakt door een groter aantal vruchten per plant, niet door een toename van het gemiddeld vruchtgewicht. In de laatste periode echter, zijn de effecten van de belichting nauwelijks meer terug te zien in de productie. Het verloop van de productie over het hele teeltseizoen is te zien in Figuur 3.7. Uit deze Figuur blijkt dat vervroeging van de start van de productie bij de scenario's waarin belicht wordt, gedurende het hele jaar leidt tot een productieverhoging, die het hele teeltseizoen blijft bestaan.



Figuur 3.6. Gesimuleerde paprikaproductie voor de referentie en de 12 scenario's in drie productieperioden. In Figuur A worden de 6 scenario's waarin alleen overdag belicht wordt weergegeven, in Figuur B de scenario's waarin 's nachts en overdag belicht wordt. Periode 1 is van planten tot 1 april (belichtingsperiode), periode 2 is van 1 april tot 1 juni, periode 3 is van 1 juni tot het einde van de teelt. Zie voor de toelichting op de legenda Tabel 3.2.



Figuur 3.7. Gesimuleerde cumulatieve productie van paprika's (kg m^{-2}) gedurende het seizoen voor de referentie (rode lijn) en de 12 scenario's. Zie voor de toelichting op de legenda Tabel 3.2.

3.5.3 Energie

Door de komst van de warmtekrachtinstallatie en de belichting stijgt het energieverbruik in de scenario's met belichting ten opzichte van de (onbelichte) referentie. Bij hogere belichtingsintensiteiten zal er zelfs een warmteoverschot ontstaan. In eerste instantie zal de overtollige warmte in de buffer worden opgeslagen. Is de buffer vol, dan zal er warmte vernietigd worden of wordt de warmte op een onbelicht deel van het bedrijf ingezet, zolang de warmtekrachtinstallatie moet blijven draaien om de elektriciteit voor de assimilatielampen te produceren. Uit Tabel 3.7 blijkt dat ook al bij lage belichtingsniveaus het energieverbruik oploopt (zie paragraaf 3.5.4 voor de energie efficiëntie). Daarnaast is duidelijk het verdringingseffect van de warmtekrachtinstallatie op de ketel te zien. De belangrijkste redenen dat er in de belichte scenario's meer energie wordt gebruikt is het feit dat de etmaaltemperaturen iets hoger zijn dan in de onbelichte referentie (zie Tabel 3.3) en het feit dat er meer gelucht wordt om de temperatuur niet te hoog op te laten lopen. Van een warmteoverschot is pas sprake bij een belichtingsintensiteit van 5000 lux ($59 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) die vanaf middernacht wordt gebruikt. Bij 10.000 lux ($118 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) loopt het warmteoverschot al op tot ruim 500 MJ, zo'n 16 m^3 aardgas. Dit is zelfs nog meer dan dat er met de ketel wordt bijgestookt in deze scenario's. Het is echter onmogelijk gezien de faseverschuiving in het jaar tussen resterende warmtevraag (in de zomer en herfst) en het warmteoverschot (winter en voorjaar), dit warmteoverschot in te zetten ter vervanging van het bijstoken met de ketel. Voor deze warmte moet een nuttige toepassing worden gevonden. Dit is heel goed mogelijk door een deel van het bedrijf niet te belichten en met deze warmte te verwarmen.

De assimilatiebelichting wordt in de scenario's die met de dag mee belichten ongeveer 1100 uur gebruikt in de periode 15 november tot 1 april en in de scenario's die vanaf middernacht belichten ongeveer 2100 uur.

Tabel 3.7. Gasverbruiken van ketel en warmtekrachtinstallatie, de elektriciteits- en warmteproductie van de warmtekrachtinstallatie en de vernietigde warmte van de referentie case en 12 scenario's.

	Ketel	Warmtekrachtinstallatie			Restwarmte [MJ/m ² /jaar]	Totaal gasverbruik [m ³ /m ² /jaar]
	Gasverbruik	Gasverbruik	Elektriciteit	Warmte		
	[m ³ /m ² /jaar]	[m ³ /m ² /jaar]	productie [kWh/m ² /jaar]	productie [MJ/m ² /jaar]		
Referentie	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	34.1
Belichten alleen gedurende de dag						
3000_D_Thoger	27.4	8.6	30.9	135.7	0.0	36.0
3000_D_Tgelijk	27.1	8.6	30.9	135.7	0.0	35.7
5000_D_Thoger	23.2	14.4	51.9	227.8	0.1	37.6
5000_D_Tgelijk	22.8	14.4	51.9	227.8	0.2	37.2
10000_D_Thoger	18.1	28.8	103.8	455.6	123.0	46.9
10000_D_Tgelijk	17.6	28.8	103.8	455.6	132.2	46.4
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag						
3000_D+N_Thoger	26.3	16.1	58.2	255.3	0.0	42.5
3000_D+N_Tgelijk	25.9	16.1	58.2	255.3	0.0	42.0
5000_D+N_Thoger	18.1	27.1	97.6	428.6	4.0	45.2
5000_D+N_Tgelijk	17.6	27.1	97.6	428.6	7.3	44.7
10000_D+N_Thoger	14.3	54.2	195.2	856.9	478.1	68.5
10000_D+N_Tgelijk	14.3	54.2	195.2	856.9	503.4	68.4

3.5.4 Energie efficiëntie

Uit de voorgaande paragrafen is gebleken dat bij het toenemen van de hoeveelheid assimilatiebelichting zowel de productie als het energiegebruik toeneemt. In Bijlage I staan figuren weergegeven die de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit en de hoeveelheid gas die is gebruikt relateren aan de productie. In hoeverre de toename van de productie de toename in het energiegebruik compenseert wordt bepaald door de energie efficiëntie. De energie efficiëntie wordt berekend door de productie te delen door de hoeveelheid gebruikte energie. Uit Tabel 3.8 blijkt dat bij hogere belichtingsintensiteiten de energie efficiëntie afneemt. In de onbelichte teelt blijkt de productie per eenheid gebruikte energie het hoogst te zijn. Belichten met 3000 lux (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gedurende de dag blijkt een energie efficiëntie te hebben die niet veel lager is dat van de onbelichte teelt. Wanneer echter ook 's nachts wordt belicht, is er meer energie nodig voor een zekere productietoename dan wanneer alleen overdag wordt belicht. De reden hiervoor is dat 's nachts onder het verduisteringsdoek de temperatuur hoger is dan wanneer niet belicht wordt en dat er dan warmte afgelucht wordt om te voorkomen dat de temperatuur in de kas te hoog oploopt.

De verhouding tussen de arealen belicht en onbelicht om de restwarmte die bij grote belichtingsintensiteiten ontstaat nuttig te kunnen aanwenden, is bepaald door op weekbasis de restwarmte te matchen met de warmtevraag van de referentie. Hierbij is er van uit gegaan dat binnen een week met behulp van een warmtebuffer de ongelijkheid tussen warmtevraag van de niet belichte kas en de restwarmte van de belichte kas kan worden opgevangen. Restwarmte ontstaat alleen bij de hogere belichtingsniveaus en dan nog met name in de scenario's waar vanaf middernacht belicht wordt. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het verplicht sluiten van het verduisterings scherm om de lichtuitstoot te beperken. In Tabel 3.9 zijn voor de scenario's met restwarmte de verhoudingen van onbelicht oppervlak ten opzichte van belicht oppervlak weergegeven.

Tabel 3.8. *Versproductie, gebruikte energie en de energie efficiëntie van de referentie en de 12 scenario's.*

Scenario	Productie [kg/m ²]	Energie (excl. restwarmte) [MJ/m ²]	Energie (incl. restwarmte) [MJ/m ²]	Energie efficiëntie (excl. restwarmte) [g/MJ]	Energie efficiëntie (incl. restwarmte) [g/MJ]
Referentie	28.5	1081	1081	26.3	26.3
Belichten alleen gedurende de dag					
3000_D_Thoger	28.9	1138	1138	25.4	25.4
3000_D_Tgelijk	28.8	1130	1130	25.5	25.5
5000_D_Thoger	29.6	1189	1189	24.9	24.9
5000_D_Tgelijk	29.8	1178	1178	25.3	25.3
10000_D_Thoger	30.1	1361	1484	22.1	20.2
10000_D_Tgelijk	30.9	1338	1470	23.1	21.0
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag					
3000_D+N_Thoger	30.5	1344	1344	22.7	22.7
3000_D+N_Tgelijk	30.4	1329	1329	22.9	22.9
5000_D+N_Thoger	31.5	1426	1430	22.1	22.0
5000_D+N_Tgelijk	31.1	1407	1414	22.1	22.0
10000_D+N_Thoger	33.9	1690	2168	20.1	15.6
10000_D+N_Tgelijk	34.0	1662	2165	20.5	15.7

Tabel 3.9. *Ratio van onbelicht oppervlak ten opzichte belicht oppervlak nodig om het warmteoverschot nuttig te kunnen gebruiken op weekbasis (periode 15 november tot 1 april).*

	Restwarmte [MJ/m ² /jaar]	Hoogste ratio [-]	Laagste ratio [-]	Gemiddelde ratio [-]
Belichten alleen gedurende de dag				
10000_D_Thoger	123.0	0.85	0.01	0.21
10000_D_Tgelijk	132.2	0.93	0.01	0.23
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag				
5000_D+N_Thoger	4.0	0.09	0.00	0.01
5000_D+N_Tgelijk	7.3	0.11	0.00	0.02
10000_D+N_Thoger	478.1	1.70	0.45	0.79
10000_D+N_Tgelijk	503.4	1.69	0.46	0.83

Omdat de bepaling van het warmteoverschot op weekbasis is gemaakt in de periode dat er belicht wordt en er gedurende de belichtingsperiode nogal wat variatie is in de ratio, zijn in de Tabel de hoogste, de laagste en het gemiddelde weergegeven. Uit de Tabel blijkt dus dat er bij de grote belichtingsintensiteiten meer dan een eens zo groot oppervlak met dezelfde teelt moet zijn om alle warmteoverschotten nuttig te kunnen aanwenden. Om de restwarmte volledig te benutten moet de niet-belichte kas dus een oppervlakte (per ha belichte kas) hebben van 900 m² tot 1.7 ha. Het is maar 1 week in de belichtingsperiode noodzakelijk om dit oppervlak niet belichte teelt te hebben om geen warmte te hoeven vernietigen.

Voor de bepaling van de energie-efficiëntie kan nu de totale energie-input van de belichte kas, met de bijbehorende productie en de energie-input van de niet belichte kas, met de productie van de niet belichte kas naar rato worden uitgerekend. Als voorbeeld wordt de case 10000_D+N_Tgelijk genomen. Om geen warmte te moeten vernietigen, is

bij deze case naast iedere m² belicht ook nog eens 1.69 m² niet-belicht nodig. Ieder m² niet belichte teelt (referentie) heeft op jaarbasis een warmtebehoefte van 1081 MJ (Tabel 3.8). De warmtebehoefte van het niet belichte kasoppervlak is dus $(1.69 \times 1081) = 1827$ MJ minus het warmteoverschot van de belichte kas van 503 MJ is 1324 MJ. De hoeveelheid gebruikte energie voor 1 ha belichte teelt met 10000 lux is 2165 MJ (Tabel 3.8). De energie-efficiëntie van het belichte en onbelichte deel samen wordt dan $(1.69 \times 28.5 + 34.0)/(1324 + 2165) = 23.5$ g/MJ.

Als de resultaten in Tabellen 3.8 en 3.10 vergeleken worden, is te zien dat het inzetten van restwarmte van de belichte kas op een niet-belicht deel van het bedrijf de energie-efficiëntie verbetert. Echter, ook wanneer het warmteoverschot op een niet-belicht deel van het bedrijf wordt ingezet, is de energie efficiëntie bij de toepassing van belichting lager dan wanneer geen assimilatiebelichting wordt toegepast.

Tabel 3.10. Energie efficiëntie van een de referentie en een aantal scenario's uitgaande van een bedrijf met een deel belichte en een deel onbelichte kas.

	Energie efficiëntie [g/MJ]
Referentie	26.3
Belichten alleen gedurende de dag	
10000_D_Thoger	23.8
10000_D_Tgelijk	24.5
Belichten vanaf middernacht en gedurende de dag	
50000_D+N_Thoger	22.4
50000_D+N_Tgelijk	22.4
10000_D+N_Thoger	23.3
10000_D+N_Tgelijk	23.5

3.6 Samenvatting

Met behulp van het kasklimaatmodel KASPRO en het gewasgroeimodel INTKAM is berekend of assimilatiebelichting in het energiezuinige teelconcept voor paprika (Ravensbergen *et al.*, 2004) ingepast kan worden met behoud van energie-efficiëntie. Om de belichting in te kunnen passen, is een verduisterings scherm geplaatst, is de dode zone verkleind van 4 naar 2 °C, is de minimumbuis temperatuur verlaagd, is een WK installatie geplaatst en zijn de instellingen van de minimumbuis aangepast aan de starttijd van de belichting. Effecten van de volgende scenario's op energieverbruik en productie zijn berekend:

Belichtingsniveau	Belichtingsperiode	Temperatuur
3000 lux (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1 uur voor zonop tot 1 uur voor zon onder	gelijk aan onbelichte teelt
5000 lux (59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	middernacht tot 1 uur voor zon onder	hoger dan onbelichte teelt
10000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		

De belichting werd gebruikt in de periode 15 november (plantdatum) tot 1 april.

Door de installatie van belichting neemt de hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling in de kas in de belichtingsperiode toe met 16 tot 98%, afhankelijk van het belichtingsniveau en de duur van de belichting. Op jaarbasis bedraagt de hoeveelheid extra licht vanwege de lampen 2 tot 15%. De berekende productie van de onbelichte teelt was

28.5 kg/m²/jaar. Als overdag belicht werd met 3000 lux (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nam de productie met circa 0.5 kg/m²/jaar toe, met 5000 lux (59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) met ruim 1 kg en met 10000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) circa 2 kg. Wanneer vanaf middernacht belicht werd was de productiestijging bij belichting met 3000 lux 2 kg/m²/jaar, bij 5000 lux bijna 3 kg en bij 10000 lux bijna 5.5 kg. Daarnaast werd de productie met 2 tot 19 dagen vervroegd, afhankelijk van het belichtingsniveau en de belichtingsperiode.

Als gevolg van de belichting neemt de kasluchttemperatuur toe, met name bij belichting 's nachts onder een gesloten verduisterings scherm. Temperatuurintegratie bleek niet in staat de temperatuur terug te brengen naar het niveau van de onbelichte teelt. Daarom was er nauwelijks effect van het temperatuurregime op de productie in de scenario-berekeningen.

Het energieverbruik in de scenario's waarin belicht wordt, is hoger dan in de onbelichte teelt. Wanneer overdag belicht wordt met 10000 lux (118 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of vanaf middernacht met 5000 of 10000 lux, ontstaat een warmteoverschot. Uit de berekening van de energie efficiëntie (productie/energieverbruik) blijkt dat wanneer belicht wordt de energie efficiëntie afneemt. Deze afname is sterker naarmate er met hogere intensiteiten belicht wordt. Verder blijkt dat wanneer vanaf middernacht belicht wordt de energie efficiëntie flink lager is dan als met dezelfde intensiteit alleen gedurende de dag belicht wordt. De reden hiervoor is dat 's nachts onder het verduisteringsdoek de temperatuur hoger is dan wanneer niet belicht wordt en dat er dan warmte afgelucht wordt om te voorkomen dat de temperatuur in de kas te hoog oploopt.

Wanneer het warmteoverschot dat ontstaat bij hogere belichtingsniveaus ingezet kan worden op een onbelicht deel van het bedrijf, neemt de energie efficiëntie toe. Echter ook in dit geval blijft de energie efficiëntie lager dan wanneer niet belicht wordt.

4. Tuindersbijeenkoms

Op donderdag 26 januari 2006 zijn de resultaten van dit project toegelicht voor een studiegroep van 8 belichtende paprikatelers en voor één van de energiezuinige (onbelichtende) telers die aan dit onderzoek heeft meegewerkt. Naast deze acht tuinders zijn er nog slechts twee andere paprikatelers in Nederland die belichten. Gedurende het winterseizoen komt deze studiegroep wekelijks bij elkaar om de stand van het gewas te bediscussieren.

In de presentatie werden de werkwijze van het project, de bevindingen van de interviews en de resultaten van de modelberekeningen toegelicht door Anja Dieleman, Frank Kempkes en Marleen Esmeijer.

Reacties uit de groep naar aanleiding van de presentatie

Er ontstond een discussie over de vergelijking van lamplicht en zonlicht. De getoonde omrekeningen betroffen omrekeningen van lux naar elektrisch vermogen (W/m^2). Het lamplicht werd vervolgens bij de zon opgeteld. Volgens de tuinders mag het licht van de lampen niet één op één vergeleken worden met zonlicht omdat met name de fractie blauw licht van een assimilatielamp veel lager is. Hierdoor is er volgens hen in de winter te weinig blauw licht om de plant goed kunnen sturen. Een oplossing zou kunnen liggen in het bijhangen van blauwe lampjes dan wel LEDs, maar de kostprijs én de benodigde energie staan dit in de weg.

Blauw licht

Licht met golflengtes van 400 tot 700 nm wordt door planten gebruikt voor de fotosynthese (PAR licht). Rode straling (600-700 nm) is het meest efficiënt voor de fotosynthese van planten, het draagt bij aan de aanmaak van chlorofyl (bladgroen) en speelt een rol in het fotoperiodisme en fotomorfogenese. Groene straling (500-600 nm) geeft de minste fysiologische respons in planten. Blauwe straling (400-500 nm) draagt bij aan de fotosynthese en aan de fotomorfogenese. Blauw licht is met name van belang voor de vorming van chlorofyl, de ontwikkeling van de chloroplasten, de huidmondjesopening, de aanmaak van enzymen en de 24-uurs cyclus van de fotosynthese en fotomorfogenese. Een verhoogd aandeel van blauw licht in het natuurlijk licht heeft een remmend effect op de celstrekking, waardoor stengels korter worden en bladeren dikker. Omgekeerd heeft een afname van de hoeveelheid blauw licht een toename van het bladoppervlak en de stengelstrekking tot gevolg. De hoeveelheid blauw licht kan niet voor alle plantensoorten ongelimiteerd worden teruggebracht. Te weinig blauw licht kan tot negatieve effecten op de plantontwikkeling leiden. Voor paprika bleek een minimum hoeveelheid blauw licht van $4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ voldoende voor een normale plantontwikkeling (Schuerger *et al.*, 1997). Ook in de winter onder bewolkte omstandigheden wordt dit minimum niveau voor blauw licht ruimschoots gehaald. Uit een onderzoek waarin negen plantesoorten opgekweekt werden in de winter onder kunstlicht in combinatie met natuurlijk licht werd geconcludeerd dat natuurlijk licht ook in de winter voldoende blauw licht bevat voor een normale ontwikkeling van de planten (Cathey & Campbell, 1979)

In het algemeen krijg je bij snijbloemen door bijbelichten in de winter wel meer takken, maar bij groentegewassen zie je vooral een verplaatsing van de productie optreden. De ervaringen met belichting in de paprika laten zien dat wat je in de winter aan kilo's paprika wint, je later in het seizoen weer kwijt raakt. Dit werd later in de discussie overigens genuanceerd in dat de productiewinst door belichting aan het begin van de teelt, gedurende het seizoen wel blijft bestaan. Tomaat en komkommer zouden minder gevoelig zijn voor het aandeel blauw licht, waardoor volgens de telers bij deze gewassen de gewassturing en productie beter verloopt als assimilatiebelichting gebruikt wordt, en meer licht meer zin heeft dan bij paprika.

In het verlengde werd een discussie over zaaidata gevoerd. Bij paprika is het heel moeilijk om tegen het licht in te telen, zelfs met belichting tot circa 3000 lux ($35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Zaai op 1 september levert te veel problemen op met zetting in de winter. Als gezaaid wordt op of na 1 oktober zijn die problemen veel minder. Alle tuinders uit de groep hadden afgelopen jaar (2005) al later gezaaid dan het jaar ervoor, en de verwachting was dat het dit jaar (2006) bij

een aantal weer later zal worden, maar nog wel voor 15 oktober, de vroege zaaidatum voor niet-belichtende tuinders. Dit zou betekenen dat teeltvervroeging als gevolg van toepassing van assimilatiebelichting een pas op de plaats maakt. Belangrijkste reden hiervoor is dat vroege productie zich dit jaar en vorig jaar te slecht uitbetaald heeft en dat de door deze groep gebruikte belichtingsintensiteit in feite te klein is om van het licht af te telen. Bij de gekleurde paprika haalt een latere zaaidatum het productieverval met een eerdere zaaidatum weer in. Het voordeel van vroeger zaaien zit hem in andere factoren als betere arbeidsplanning en teeltwisseling in gunstigere periode, niet in een meerproductie.

Wat doet extra licht met gewas

Belichten is vooral nuttig om het gewas tot zetten te dwingen (knop maken) en bij het doorkleuren van de vruchten. Dit laatste betekent dat resultaten bij telers met groene paprika's anders zullen zijn dan bij telers met rode of gele paprika's. De ervaring leert dat onder belichting planten een paar dagen eerder zetten en de vruchten net even sneller uitgroeien. De gepresenteerde vervroeging van 2,5 week bij 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in de nacht wordt als veel te veel en de vervroeging bij de lage intensiteiten als te weinig beschouwd. De vervroeging bij de gesimuleerde zaaidatum wordt door de telers bij 3000 lux geschat op 4 à 5 dagen en bij 5000 lux op 7 à 8 dagen. Verder werd gediscussieerd over belichten overdag of 's nachts. In de studiegroep zitten telers die alleen overdag belichten. Eén van de telers heeft wel eens meegedaan aan een proef op zijn bedrijf, waarin ook 's nachts belicht werd met 2500 lux. Hij zag dat wanneer 's nachts de lampen aangingen, de CO_2 -concentratie in de kas daalde. Belichten 's nachts werkt dus niet alleen als stuurlicht, maar stimuleert ook de fotosynthese. De berekende toename van 0,4 kg per m^2 bij 3000 lux wordt door de tuinders als veel te laag afgedaan. Hun ervaring is dat ze met 3000 lux toch wel 1 kilo meer produceren per m^2 . Daarmee wordt de energie-efficiëntie van deze optie weer wat beter.

De discussie ging vervolgens over het vergelijken van de resultaten. Vergelijken van resultaten kan alleen tussen tuinders met dezelfde zaaidatum en dan nog geldt dat de strategie van de tuinder de opbrengst sterk beïnvloedt. Van belang is wanneer de tuinder de vruchten laat komen, of hij wel of niet hardgroen oogst van de eerste twee zetsels bij rode paprika, wanneer en hoe hij het gewas stuurt. Bij alle afwegingen geldt een gewasbelang maar zeker ook een economisch belang. De telers gaven een voorbeeld van twee tuinders met ongeveer dezelfde bedrijfsuitrusting, met wel 6 kilo per m^2 verschil in productie bij dezelfde plantdatum.

De reden om met belichting te starten lag voor een enkele tuinder in de uitdaging om de teelt verder te brengen, voor de meesten was het een economische afweging. In de jaren tot 2004 lagen de vroege prijzen veel hoger dan nu en met belichting kon je hier meer van meepakken. De afgelopen twee jaar vielen de vroege prijzen echter zwaar tegen. Mede hierdoor stagneert de uitbreiding van het belichte areaal bij paprika.

De presentatie werd met een aantal stellingen afgesloten.

Stelling 1 Belichting met 5000 lux is optimaal

Volgens de telers ligt dit energietechnisch dicht bij de waarheid; alle energie kan nog goed benut worden. Teelttechnisch waarschijnlijk ook. Bij 5000 lux ($59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gaat de teelt makkelijker dan bij lagere belichtingsniveaus en de plant zet makkelijker. 5000 lux is een goed gemiddelde voor zaai vanaf 1 oktober, maar eigenlijk zou je variabel (afschakelbare lampen) moeten kunnen belichten. Soms heeft het gewas 10.000 lux nodig (bijvoorbeeld om zetting te krijgen in een donkere periode), soms is 2500 lux genoeg (voor het laten uitgroeien van de vruchten of als het buiten licht genoeg is). Vooralsnog is de kostprijs van afschakelbare lampen te hoog om variabel te gaan belichten.

Stelling 2 De winst van belichten zit alleen in de vroege productie

Hier zou volgens de telers 'alleen' veranderd moeten worden in 'ook'. Zelf zouden ze deze stelling om zetten in 'Belichting verhoogt de kans op een goed rendement'. De niet belichtende teler voegt hier aan toe dat hij verwacht dat de arbeidsfilm door belichting verbeterd wordt. Hij vindt ook dat de meerwaarde van belichting zou moeten komen uit een (betaalde) onderscheiding van de kwaliteit van het product en niet zozeer de verhoogde productie. Dit is echter in de praktijk niet het geval.

De telers geven aan dat zij met belichting langer doorgaan in het seizoen dan waarvan in de berekeningen is uitgegaan. In de berekeningen gingen de lampen helemaal uit op 1 april. Daarentegen blijken de telers in het voorjaar

langer door te gaan met belichten, soms tot half mei. Ook in het najaar worden de lampen nuttig ingezet. Vanaf augustus tot ergens de derde week september dragen de lampen bij aan een betere kleuring en kwaliteit en snellere uitgroei van de vruchten.

Stelling 3 Het warmteoverschot is voor mij geen probleem

Met hun huidige belichtingniveaus, waarbij geen van de telers van deze studiegroep meer dan 4000 lux ($47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) heeft, hebben zij ook geen warmteoverschot. Zij streven er ook naar dit niet te krijgen. Zij gaan er van uit dat met 6000-6500 lux ($70-76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) je de warmte nog goed kwijt kunt, daarboven niet. Bij hogere lichtniveaus is clustering noodzakelijk. De paprikateler die in Nederland met de hoogste intensiteit belicht (10000 lux) heeft om die reden op zijn eigen bedrijf een twee keer zo groot deel onbelichte paprika's staan. Volgens één van de aanwezige tuinders reken je eerst uit wat je aan warmte en CO_2 kwijt kunt en pas je daar vervolgens je belichtingsniveau op aan.

5. Discussie

In dit project is nagegaan op welke wijze belichting ingepast zou kunnen worden in het energiezuinige teeltconcept voor paprika (Ravensbergen *et al.*, 2004). Dit teeltconcept kenmerkt zich door een laag energieverbruik doordat bij relatief lage temperaturen wordt geteeld, er weinig op vocht geregeld wordt en dat er rustige klimaatovergangen aangelegd worden. Wanneer paprikaplanten meer licht krijgen, groeien ze sneller. Bij meer licht nemen bladoppervlak, totale plantgewicht, aantal vruchten en vruchtproductie toe. Wanneer in de winter assimilatiebelichting toegepast wordt, zijn deze effecten op het gewas dan ook te verwachten.

Projectresultaten

In dit project zijn modelberekeningen uitgevoerd, waarbij aan het energiezuinige teeltconcept belichting is toegevoegd. Er zijn 12 scenario's doorgerekend waarbij de intensiteit of periode van de belichting varieerde en het temperatuurregime aangepast werd. De resultaten laten zien dat wanneer de intensiteit van de belichting toeneemt ook de productie toeneemt. Belichten met 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en met die belichting om middernacht beginnen levert bijna 5.5 kg paprika's per m^2 per jaar meer op, een productiestijging van 19% ten opzichte van de onbelichte teelt. Daarnaast wordt onder invloed van belichting de productie vervroegd. Volgens de berekeningen wordt de productie met 2 dagen vervroegd als overdag met 3000 lux ($35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) wordt belicht en met 3 dagen bij 5000 lux ($59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Volgens de telers echter zijn deze effecten groter. Zij schatten de vervroeging bij 3000 lux op 4 à 5 dagen en bij 5000 lux op 7 à 8 dagen. Deze productievervroeging kan (financieel) van groot belang zijn als de prijzen in het begin van het jaar hoog zijn, zoals in 2003 en 2004 het geval was. Wanneer de vroege paprika's niet voldoende betaald worden, staat de rentabiliteit van belichting in de paprikateelt onder druk.

Plantdatum

In deze studie is uitgegaan van een (standaard) plantdatum voor paprika van 15 november. Wanneer eerder wordt gezaaid dan ongeveer 15 oktober en eerder wordt geplant dan 15 november, wordt 'van het licht af' geteeld, hetgeen wil zeggen dat de plantbelasting te hoog wordt op het moment dat er weinig licht beschikbaar is. Dat levert over het algemeen problemen op met vruchtzetting. Bij een paprikaplant waar (te) veel vruchten aanhangen op het moment dat er weinig licht beschikbaar is, treedt abortie op van bloemen en vruchten. Juist daardoor kan de plant terecht komen in een cyclus van productie in vluchten, iets wat een teler juist probeert te voorkomen. Om een te hoge plantbelasting en onregelmatigheid in de zetting te voorkomen, worden bij zowel de onbelichte teelt als de belichte paprikateelt de eerste vruchten vaak groen geoogst. Wanneer met een lage intensiteit bijbelicht wordt (tot 3000 lux), is de hoeveelheid bijbelichting niet voldoende om de planten te laten zetten. Mede door de lage prijzen voor de vroege productie is de tendens onder de belichtende paprikatelers in Nederland om niet meer vroeg te zaaïen (1 september), maar later. Zij verwachtten dat ze komend jaar weer later zouden zaaïen, maar nog wel voor 15 oktober. Er is in Nederland één bedrijf waar met 10000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) belicht wordt en waar de plantdatum is vervroegd tot september. Echter ook op dit bedrijf zijn de eerste kilo's groen geoogst, en is pas vanaf week 10 rood geoogst (Boonekamp, 2006).

Teeltduur

In de onbelichte teelt wordt een paprikagewas gedurende 11 maanden per jaar geteeld. Bij lage belichtingsintensiteiten is de productiestijging beperkt, maar bij hogere belichtingsintensiteiten ligt met name de winterproductie van het gewas hoger dan van de onbelichte teelt. Er is nog nauwelijks informatie over hoe de productie van een gewas dat in de winter zwaar belicht is in de zomer is. In de praktijk wordt wel de term 'slijtage' gebruikt. Het is misschien nodig om bij een zwaar belichte teelt over te gaan tot twee plantingen per seizoen, een in september voor de belichte winter- en voorjaarsproductie, en een in maart voor de onbelichte zomer- en herfstproductie. Een belangrijk nadeel hiervan is echter dat er in de zomer langdurig geen productie is, omdat er bij paprika een lange periode tussen planten en eerste oogst zit.

Daglengte

In de scenario's waarin ook 's nachts werd belicht, waren de lampen aan van middernacht tot 1 uur voor zonsopgang. Op 1 april gaat de zon onder om kwart over 8, dat betekent maximaal een belichtingsperiode van $19\frac{3}{4}$ uur.

Uit Canadees onderzoek is gebleken dat een lichtperiode van 20 uur voor paprika optimaal is (Demers & Gosselin, 2002). Langere lichtperiodes hadden geen positief effect op groei en productie. Een kortdurend gebruik (5-7 weken) van continu licht kan vegetatieve groei en vruchtproductie mogelijk wel positief beïnvloeden (Demers & Gosselin, 2002). Maar wanneer planten nog langer aan daglengtes van 24 uur worden blootgesteld, treedt bladvergeling en bladval op (Nilwik, 1981b). Bij een daglengte van 16 uur worden de zwaarste vruchten geproduceerd, maar de totale productie neemt nog iets toe wanneer tot 20 uur belicht wordt (Demers *et al.*, 1998).

Verduisteringsdoek

Temperatuursturing onder de lampen en het verduisterings scherm is van groot belang voor de energiebalans van belichting. 's Nachts belichten onder een verduisterings scherm heeft ingrijpende gevolgen voor de temperatuur in de kas. De temperatuur loopt onder het verduisterings scherm 's nachts tot ruim 3 °C boven de temperatuur van de referentie op wanneer met 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) belicht wordt. Om te voorkomen dat de kasluchttemperatuur te sterk oploopt, moet de temperatuur van de buizen terug gebracht worden en wordt de dode zone tussen stook- en ventilatielijn verkleind. Dat betekent dat de ramen boven het verduisterings scherm geopend worden om de warmte af te luchten. Zowel de hogere kasluchttemperatuur als het feit dat warmte weggelucht wordt als 's nachts onder verduisteringsdoek wordt belicht, zijn de oorzaken van de lagere energie-efficiëntie van belichten 's nachts in vergelijking tot belichting overdag.

Temperatuur

De temperatuur is van invloed op de vruchtzetting, fotosynthese, ontwikkeling van het bladoppervlak en een groot aantal andere fysiologische processen, die indirect ook van invloed zijn op de productie. Onder de lampen wordt de kop van de plant warmer. De buistemperaturen worden lager ingesteld om te hoge kasluchttemperaturen te voorkomen. Dit betekent dat er bij de belichte teelt waarschijnlijk een sterkere verticale temperatuurgradiënt zal zijn dan in de onbelichte teelt. Dit heeft als gevolg dat de temperatuur bij de onderste vruchten lager zal zijn en daardoor mogelijk de afrijping van de vruchten zal vertragen. Hoe groot de verticale temperatuurgradiënt in de belichte teelt is en wat dit voor gevolgen heeft op de ontwikkeling van de verschillende plantenorganen op verschillende hoogtes is nog niet bekend.

Warmteoverschot

Het energieverbruik in de scenario's waarin belicht wordt, is hoger dan in de onbelichte teelt. Wanneer overdag belicht wordt met 10000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of vanaf middernacht met 5000 of 10000 lux, ontstaat een warmteoverschot. Uit de berekening van de energie efficiëntie (productie/energieverbruik) blijkt dat wanneer belicht wordt de energie efficiëntie afneemt. Deze afname is sterker naarmate er met hogere intensiteiten belicht wordt. Verder blijkt dat wanneer vanaf middernacht belicht wordt de energie efficiëntie flink lager is dan als met dezelfde intensiteit alleen gedurende de dag belicht wordt. Uit PPO onderzoek bleek verder ook dat het gewas te vegetatief werd door ook 's nachts te belichten. Als alleen overdag de lampen aan gehouden werden, ontstond wel een evenwichtig gewas (Maaswinkel, 2003). De energie efficiëntie kan verbeterd worden door het warmteoverschot dat ontstaat als belicht wordt met 10.000 lux ($118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in te zetten op een niet-belicht gedeelte van het bedrijf (Tabel 3.10). Ook in dit geval blijft de energie efficiëntie echter lager dan wanneer geen assimilatiebelichting wordt gebruikt. Nadeel van de combinatie van een belicht deel van het bedrijf en een onbelicht deel is dat een zeer groot gedeelte van het jaar er in het geheel geen sprake is van enig warmteoverschot, onder andere in de periode dat er niet belicht wordt. In de berekende scenario's is alleen uitgegaan van het gebruik van de warmtekrachtinstallatie bij elektriciteitsvraag van de assimilatiebelichting. Als er in de berekeningen scenario's meegenomen zouden zijn waarin 's zomers elektriciteit voor het openbare net geproduceerd zou worden, dan zou de energie-efficiëntie ondanks een grotere CO₂ beschikbaarheid dalen, maar zou het financiële rendement wel degelijk kunnen toenemen.

Rentabiliteit

Of belichting in de paprikateelt economisch rendabel is zal erg afhangen van de import van paprika's uit landen aan de Middellandse zee. Uit een onderzoek van PPO werd geconcludeerd dat het mogelijk is jaarrond paprika's te telen met lichtintensiteiten van 10.000 en 15.000 lux, maar dat het met de kostprijzen voor elektriciteit (4 of 7 eurocent per kWh) niet rendabel is te rekenen (Maaswinkel, 2003). Mogelijk verschilt het per kleur paprika's of belichting economisch uit kan, en welke intensiteit uit kan. Telers gaven aan dat zij van mening zijn dat belichting pas uit kan

als een belichte Nederlandse paprika niet opgaat in de bulk van in het buitenland geproduceerde paprika's. Dit is nu echter niet het geval, en is ook in de toekomst niet te verwachten.

Conclusie

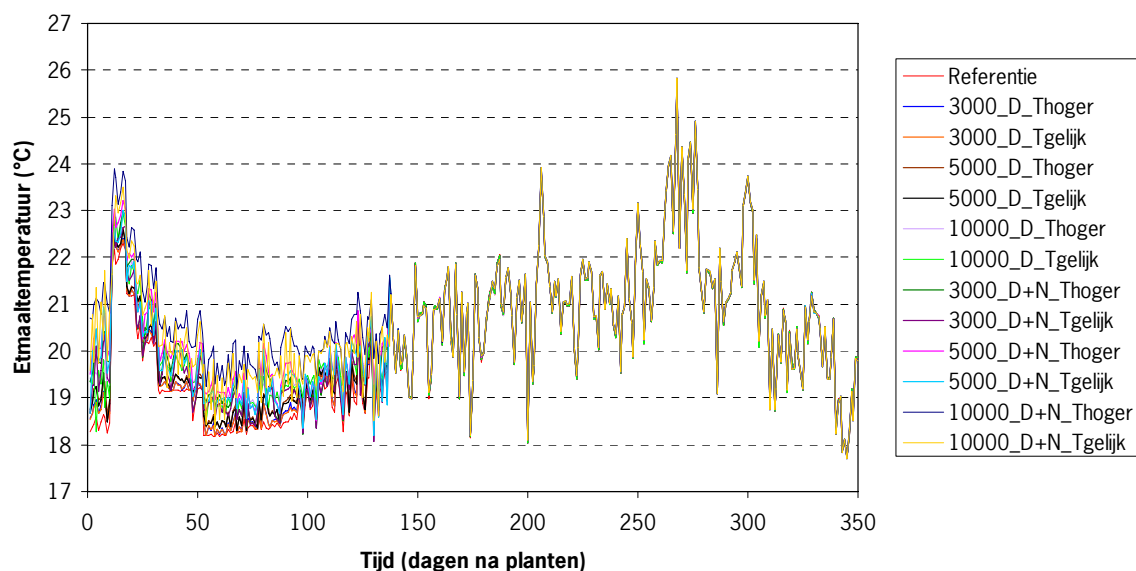
Samenvattend moet geconcludeerd worden dat assimilatiebelichting in het energiezuinige teeltconcept niet ingepast kan worden met behoud van de energie-efficiëntie van de onbelichte teelt. De energiezuinige telers gaven al aan dat clustering van bedrijven of bedrijfsdelen noodzakelijk is om het warmteoverschot efficiënt in te zetten. Ook als dat gebeurt, is de energie-efficiëntie van het belichte en onbelichte deel samen lager dan van een onbelichte teelt. Bedrijfseconomisch kan het echter wel interessant zijn om in de paprikateelt te belichten. Wanneer geproduceerd wordt op een moment dat de paprikaprijzen hoog zijn, zou belichting financieel mogelijk wel uit kunnen. Teelttechnisch is het van belang de temperatuur in de kas in de hand te houden. Met name wanneer in de nacht belicht wordt onder een verduisteringsscherm is dit moeilijk.

6. Literatuur

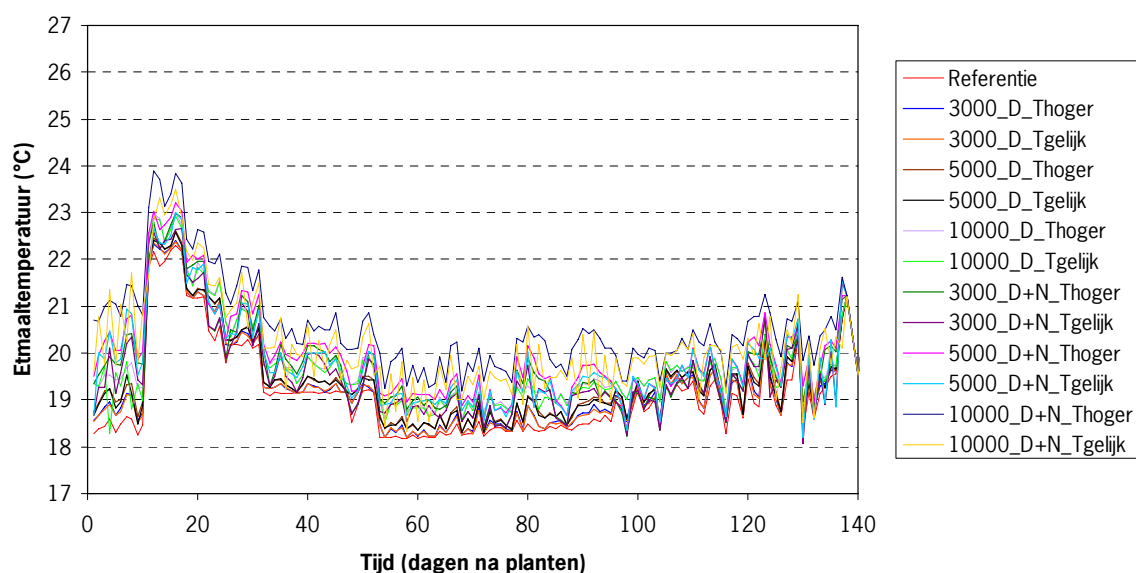
- Benoit, F. & N. Ceustermans, 2003.
Verdere bevindingen met de belichting van paprika. *ProeftuinNieuws* 11: 36-38.
- Boonekamp, G., 2006.
Gekleurde paprika's voorlopig niet jaarrond. *Groenten & Fruit* 3: 14-15.
- Cathy, H.M. & L.E. Campbell, 1979.
Relative efficiëntie of high- and low-pressure sodium and incandescent filament lamps used to supplement natural winter light in greenhouses. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104: 812-825.
- De Zwart, H.F., 1996.
Analysing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen, 236 pp.
- Demers, D.A., J. Charbonneau & A. Gosselin, 1991.
Effets de l'éclairage d'appoint sur la croissance et la productivité du poivron cultivé en serre. *Canadian Journal of Plant Sciences* 71: 587-594.
- Demers, D.A., A. Gosselin & H.C. Wien, 1998.
Effects of supplemental light duration on greenhouse sweet pepper plants and fruit yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123(2): 202-207.
- Demers, D.A. & A. Gosselin, 2002.
Growing greenhouse tomato and sweet pepper under supplemental lighting: optimal photoperiod, negative effects of long photoperiod and their causes. *Acta Horticulturae* 580: 83-88.
- Heuvelink, E. & L.F.M. Marcelis, 1996.
Influence of assimilate supply on leaf formation in sweet pepper and tomato. *Journal of Horticultural Science* 71(3): 405-414.
- Maaswinkel, R., 2003.
Paprika onder 'vast' licht nog niet rendabel. *Groenten & Fruit* 41:32-33.
- Marcelis, L.F.M., H.A.G.M. van den Boogaard & E. Meinen, 2000.
Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors. In: Proc. Int. Conf. Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-Harvested Processing. IFAC: 351-356.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L.R. Baan Hofman-Eijer, J. den Bakker & L.B. Xue, 2004.
Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55(406): 2261-2268.
- Nilwik, H.J.M, 1981a.
Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 1. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48: 129-136.
- Nilwik, H.J.M, 1981b.
Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 2. Interacting effects of irradiance, temperature and plant age in controlled conditions. *Annals of Botany* 48: 137-145.
- Ravensbergen, P., M. Esmeijer, F. Kempkes, A. Dieleman & J. Verstegen, 2004a.
Kan het nog beter? Advies voor energiebesparing aan een energiezuinige paprikateiler I. LEI rapport, 33 pp.
- Ravensbergen, P., G.J. Swinkels, J. Verstegen, M. Esmeijer & A. Dieleman, 2004b.
Kan het nog beter? Advies voor energiebesparing aan een energiezuinige paprikateiler II. LEI rapport, 24 pp.
- Ravensbergen, P., J. Verstegen, M. Esmeijer, G.J. Swinkels & F. Kempkes, 2004c.
Kan het nog beter? Advies voor energiebesparing aan een energiezuinige paprikateiler III. LEI rapport, 32 pp.
- Schuerger, A.C., C.S. Brown & E.C. Stryjewski, 1997.
Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany* 79: 273-282.
- Spaargaren, J.J., 2000.
Belichten van tuinbouwgewassen. Uitgave Hortilux Schredèr.

Bijlage I.

Etmaaltemperaturen in de scenario's



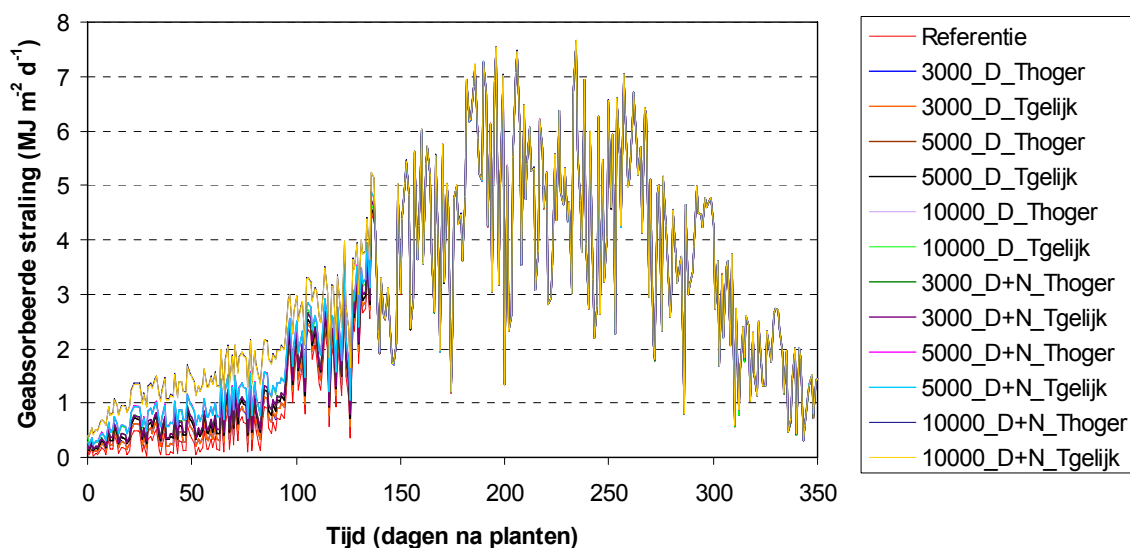
Figuur 1. Gesimuleerde dagelijkse etmaaltemperatuur (°C) gedurende het hele seizoen voor de praktijksituatie (rode lijn) en de 12 scenario's.



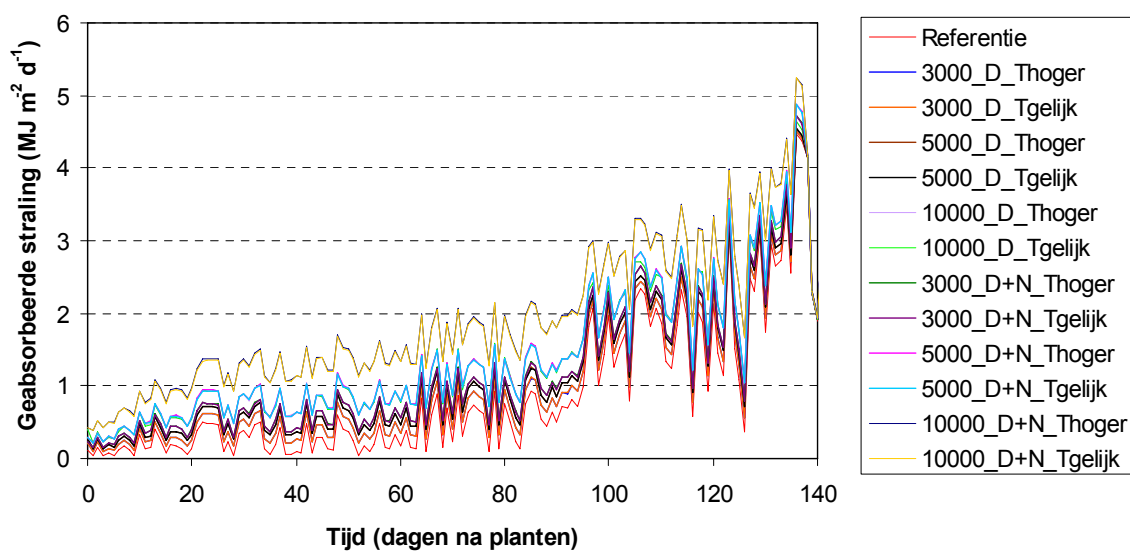
Figuur 2. Gesimuleerde dagelijkse etmaaltemperatuur (°C) tot en met 140 dagen na planten voor de praktijksituatie (rode lijn) en de 12 scenario's.

Bijlage II.

Hoeveelheid licht in de scenario's



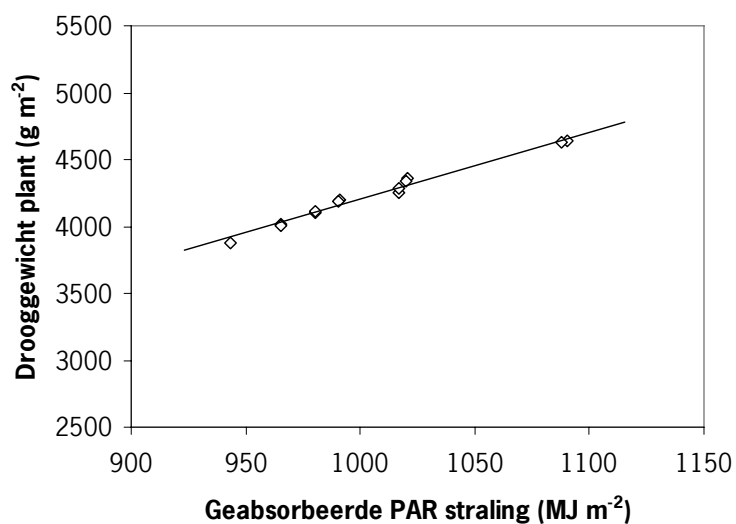
Figuur 1. Gesimuleerde dagelijkse hoeveelheid door de plant geabsorbeerde straling gedurende het hele seizoen voor de praktijksituatie en de 12 scenario's.



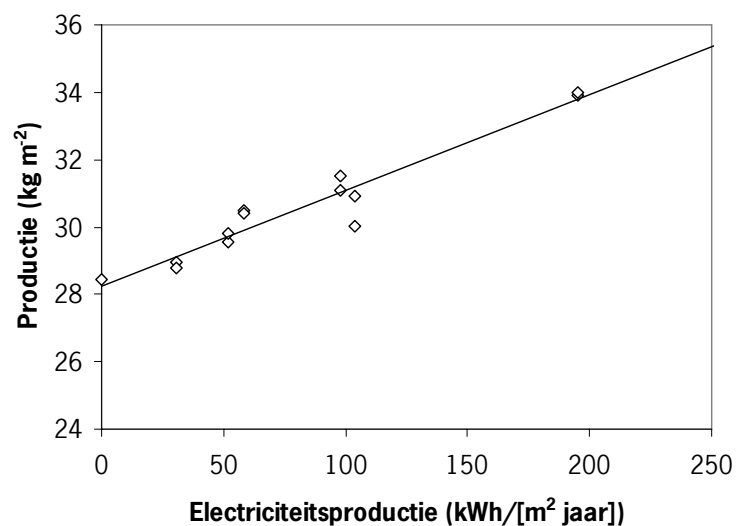
Figuur 2. Gesimuleerde dagelijkse hoeveelheid door de plant geabsorbeerde straling tot en met 140 dagen na planten voor de praktijksituatie en de 12 scenario's.

Bijlage III.

Relatie tussen gasverbruik, elektriciteitsproductie en paprikaproductie



Figuur 1. Relatie tussen het gasverbruik en de productie van paprika's van de referentie en de verschillende scenario's.



Figuur 2. Relatie tussen de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit en de productie van paprika's van de referentie en de verschillende scenario's.

Bijlage IV.

Presentatie 26 januari 2006

Belichting in een energiezuinige paprikateelt

Anja Dieleman, Frank Kempkes, Marleen Esmeijer



PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Aanleiding

- Energieprogramma LNV en PT
- 2004: onderzoek naar teeltstrategie energiezuinige paprikateelers
 - Lagere temperatuur
 - Weinig op vocht regelen
 - Rustig regelen
 - Veel schermen
- Hoe past belichting hierin?

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Project

1. Interviews
2. Berekeningen
3. Bespreking resultaten

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Interviews

Niet belichtende telers:

- Geïnteresseerd
- Niet direct van plan te gaan belichten
- Reden: twijfel aan rendement

Belichtende telers:

- Weinig medewerking
- Reden: weinig ervaring en slecht paprikajaar

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Scenarioberekeningen

- Kasklimaatmodel
- Gewasgroei-model
- Basis: energiezuinige teeltconcept (onbelicht)
- Aanpassingen aan teeltconcept
 - Verkleinen dode zone in de nacht
 - Verduisteringsscherm
 - WK
 - Belichten 's nachts: verschuiven tijdstip minimumbuis

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Scenarioberekeningen

- Belichtingsniveau's:
 - 3000 lux (28 W m⁻²)
 - 5000 lux (47 W m⁻²)
 - 10000 lux (94 W m⁻²)
- Belichtingsduur:
 - Met dag mee
 - Vanaf middernacht
- Temperatuur
 - Hoger dan onbelicht
 - Gelijk aan onbelicht

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Resultaten - kasklimaat – PAR licht

Scenario	Zon [MJ/m ²]	Lamp [MJ/m ²]	Totaal [MJ/m ²]
Referentie	1240	0	1240
3000_dag	1240	28	1268
3000_nacht	1213	52	1265
5000_dag	1240	47	1287
5000_nacht	1213	88	1301
10000_dag	1240	93	1333
10000_nacht	1213	176	1389

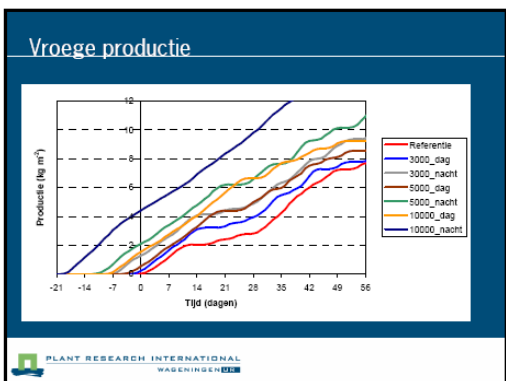
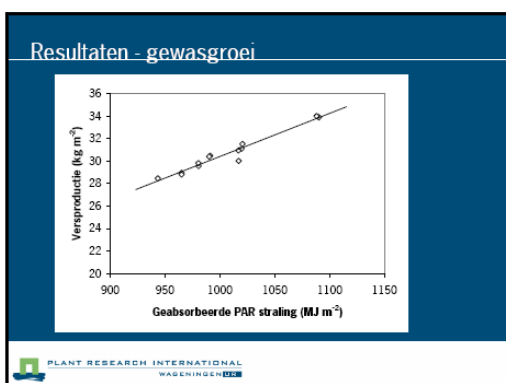
PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

PAR Licht – periode 15 november tot 1 april

Scenario	Zon [MJ/m ²]	Lamp [MJ/m ²]
Referentie	179	0
3000_dag	179	28
3000_nacht	179	52
5000_dag	179	47
5000_nacht	179	88
10000_dag	179	93
10000_nacht	179	176

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

- ### Temperatuur
- Temperatuur loopt op door belichting onder verduisteringscherm
 - Energiescherm mag open, verduisteringscherm niet
 - Hoge belichtingsniveaus onder verduisteringscherm: ramen open om temperatuur te laten zakken
 - Temperatuurintegratie beperkt effect: weinig compensatieuren
- PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR



Energiegebruik

Scenario	Ketel [m ³ /m ²]	WK [m ³ /m ²]	Restwarmte [MJ/m ²]	Als % van WK warmte [%]
Referentie	34.1	0.0	0.0	0
3000_dag	27.4	8.6	0.0	0
3000_nacht	26.3	16.1	0.0	0
5000_dag	23.2	14.4	0.1	0
5000_nacht	18.1	27.1	4.0	1
10000_dag	18.1	28.8	123.0	27
10000_nacht	14.3	54.2	478.1	56

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Energie efficiency - belicht bedrijf

Scenario	Productie [kg/m ²]	Energie (incl. restwarmte) [MJ/m ²]	Energie efficiency (incl. restwarmte) [g/MJ]
Referentie	28.5	1081	26.3
3000_dag	28.9	1138	25.4
3000_nacht	30.5	1344	22.7
5000_dag	29.6	1189	24.9
5000_nacht	31.5	1430	22.0
10000_dag	30.1	1484	20.2
10000_nacht	33.9	2168	15.6

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

Energie efficiency met deel onbelicht bedrijf

	Energie efficiency [g/MJ] Belicht bedrijf	Energie efficiency [g/MJ] Deel bedrijf onbelicht
Referentie	26.3	26.3
5000_nacht	22.0	22.4
10000_dag	20.2	23.8
10000_nacht	15.6	23.3

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

Conclusies

- Assimilatiebelichting kan niet ingepast worden in het energiezuinige teeltconcept met behoud van de energie efficiency.
- Om andere reden kan assimilatiebelichting wel interessant zijn (vroeg productie)

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

Discussie I

Belichten met 5000 lux is optimaal

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

Discussie II

De winst van belichten zit alleen in de vroege productie

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

Discussie III

Het warmteoverschot is voor mij geen probleem

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN

