



Energie-extensieve teelten klimaatneutraal met hoog-isolerende kassen

Feije de Zwart, Nieves García, Arca Kromwijk en Frank Kempkes

Rapport GTB-1396

Referaat

De warmtevraag bij drie voorbeelden van extensieve teelten varieert tussen 4 m³/(m² jaar) gas bij Leeuwebek en 13 m³/(m² jaar) bij een extensieve Aardbeienteelt. Door kassen veel beter te isoleren en energiezuinig te ontvochtigen daalt bij Leeuwebek en sla daalt de warmtevraag naar bijna 0 m³/(m² jaar) en bij Aardbeien naar 7 m³/(m² jaar). Bij gebruik van een warmtepomp betekent dit 21 kWh/m², die groen zou kunnen worden ingekocht.

Wanneer in deze extensieve teelten belichting wordt toegepast blijkt dat dit al gauw veel meer stroom verbruikt dan de verwarming.

Beperken of verbeteren van de belichting heeft dan ook een grotere impact op de verduurzaming van de tuinbouw dan het verhogen van de isolatiegraad, temeer daar bij hogere lichtintensiteiten ook hogere teelttemperaturen horen. Indien kassen een hogere lichttransmissie hebben en deze lichtwinst wordt benut om minder te belichten kunnen ook substantiële energiebesparingen worden behaald.

Geheel los van verwarming en belichting staat het energieverbruik voor de grondontsmetting. Biologische Grond Ontsmetting, het gebruik van gronddoekgoten en het gebruik van geozoniseerd water zijn hier energiezuinige alternatieven.

Deze studie is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland

Abstract

In this study an analysis is presented on the perspectives of highly insulated greenhouses for extensively heated greenhouse crops. Three crops were used as an example, ranging from Antirrhinum, with a yearly heating demand of 4 m³ of natural gas equivalents per m² to strawberry, with 13 m³ of gas consumption per m² per year.

If Antirrhinum would be grown in a double glazed, highly insulated greenhouse with an energy recuperating dehumidification system, the remaining heat demand will be almost zero. Growing strawberries in such a greenhouse reduces the gas consumption for heating down to 7 m³/(m² year). When generating this heat with a heat pump, only 21 kWh/(m² year) will be needed for heating. In all greenhouse sectors, a tendency towards an intensified production by using artificial illumination can be seen. Illumination has a much higher impact on energy consumption than heating, so insulation of greenhouses for extensively heated crops is of less importance than improving the transmissivity or developing better lighting systems.

Besides energy for heating and lighting, greenhouses use a substantial amount of energy for soil disinfection. Here savings can be achieved by using biological disinfection, substrate systems or ozonized water.

This project was funded by the research program 'Kas als Energiebron', the joined action and innovation program of the ministry of Economic affairs and LTO Glaskracht Nederland.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1396

Projectnummer: 3242194700

Disclaimer

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Klimaatneutraliteit	9
3	Werkwijze: drie voorbeeld gewassen	11
	3.1 De Referentiekas	11
	3.2 Leeuwebek	12
	3.3 Sla	14
	3.4 Aardbeien	17
4	Resultaten en discussie	19
	4.1 Energie-effecten	19
	4.2 Perspectieven voor energiezuinige bodemontsmetting	21
	4.2.1 Biologische grondontsmetting	21
	4.2.2 Geozoniseerd water en micro-organismen	23
	4.2.3 Overgang naar substraatteelt: gronddoekgoten	24
	4.3 Intensivering van de extensieve teelten met Leeuwebek als voorbeeldgewas	25
	4.3.1 Praktijkervaring met jaarrondteelt in Nederland	26
	4.3.2 Ervaringen met lage intensiteit LED belichting bij Leeuwebek	26
	4.3.3 Intensivering van de teelt met belichting	28
	4.4 Hogere lichttransmissie van kassen in relatie tot belichting	31
5	Conclusies	33
	Literatuur	35
	Bijlage 1 Uitvoeringsprotocol BGO	37

Samenvatting

Grote energiebesparingen in de glastuinbouw zijn mogelijk door kassen beter te isoleren en energiezuinige ontvochtigingssystemen te gebruiken. In proeven is getoond dat met zo'n kassysteem in Nederland tomaten kunnen worden geteeld met een energieverbruik van om en nabij 12 m³ aardgas per m² per jaar. Als een tomatenteelt in zo'n hoog-isolerende kas nog maar 12 m³ gas voor de verwarming nodig heeft moeten "koude teelten" op een nog veel lager verbruik kunnen uitkomen. In deze deskstudie wordt dit door middel van modelberekeningen voor drie voorbeeldgewassen onderzocht: Leeuwebek, Sla en een extensief geteelde Aardbei. Als referentie is gerekend met Venlo kassen zoals die nu gebouwd zouden worden. Dit is anders dan de realiteit waarbij extensieve teelten vaak in oude kassen plaatsvinden met de daarbij behorende lage lichttransmissie en hoog lekverlies. Ten opzichte van zulke verouderde kassen zijn de besparingen die met beter, of hoog-geïsoleerde kassen kunnen worden behaald uiteraard groter. Naast het verbruik voor verwarming wordt er bij veel grondteelten ook energie verbruikt voor de grondontsmetting. Gemiddeld gaat het hierbij om 5 m³/(m² jaar). In een extensieve teelt is dit 20 tot 50% van de totale stookbehoefte - en juist extensief geteelde gewassen worden vaak in de grond geteeld. Daarom wordt in deze studie ook ingegaan op energiezuinige alternatieven hiervoor.

Tenslotte wordt er nog een doorzicht gegeven van de gevolgen van de intensiveringstrend die op veel plaatsen in de sector waarneembaar is. In welke mate helpt een hoog-isolerende kas om zo'n intensivering mogelijk te maken zonder een grote impact op het energieverbruik? Hieraan zijn berekeningen gedaan met gebruikmaking van de meest recente kennis en inzichten in het gebruik van stuurlicht bij Leeuwebek.

Warmtevraag van voorbeeldgewassen in relatie tot de isolatiegraad van de kas

De huidige warmtevraag bij de gekozen extensieve teelten bedraagt in een gemiddeld Nederlands jaar 4 m³/(m² jaar) gas bij Leeuwebek, 8 m³/(m² jaar) bij sla en 13 m³/(m² jaar) bij aardbei.

Bij Leeuwebek en sla neemt de warmtevraag sterk af wanneer deze in een beter geïsoleerde kas worden gekweekt, en komt op bijna 0 uit voor een hoog-isolerende kas zoals de Venlow energykas.

De warmtevraag hangt in deze twee teelten nauwelijks af van de belichtingsintensiteit die gebruikt wordt. Dit komt doordat bij deze extensieve teelten maar weinig belichtingsuren samenvallen met momenten waarop er gestookt wordt.

Een beter of hoog-geïsoleerde kas vertoont een duidelijke verhoging van de etmaaltemperatuur in de winter. In de zomer zou een kas dan zelfs te warm kunnen worden, maar bij een vergrote ventilatiecapaciteit kan dit worden voorkomen.

Een hogere isolatiegraad leidt ook niet tot noemenswaardige veranderingen in de RV. De ontvochtiging doet goed z'n werk en de hogere temperatuur helpt daarbij ook.

In de aardbeienteelt, waar aanzienlijk meer wordt gestookt, verlaagt een hoog-geïsoleerde kas de warmtevraag naar 5 m³/(m² jaar). De warmtevraag daalt daar ook naarmate er meer wordt belicht.

Wanneer de warmtevraag vanuit duurzame bron wordt betrokken is elke kas per definitie energie-neutraal, ongeacht de isolatiegraad van de kas. Uiteraard kan een ondernemer ook kiezen om een deel van de energievraag uit duurzame bron te betrekken.

Elektriciteitsverbruik voorbeeldgewassen in relatie tot de isolatiegraad van de kas

Zolang de verwarming met de verbranding van aardgas plaatsvindt is de relatie tussen het elektriciteitsverbruik en het kassysteem heel erg klein. Voor de meest extensieve teelten kan het energieverbruik voor verwarming en het energieverbruik voor belichting dan ook helemaal los van elkaar worden benaderd.

Als de verwarming van de kas niet op de verbranding van primaire energiedragers is gebaseerd, maar op een warmtepomp wordt het elektriciteitsverbruik uiteraard wel afhankelijk van het kassysteem. In dit rapport is veel aandacht aan verwarming met een warmtepomp gegeven omdat dit voor een energieneutrale tuinbouw een zeer reëel verwarmingsscenario is. Gebruik van aquifers, oppervlaktewater of bijvoorbeeld de verdere uitkoeling van retourwater uit een geothermische bron betekent bijna altijd de inzet van een warmtepomp.

Rekening houdend met het elektriciteitsverbruik dat samenhangt met de verzameling van laagwaardige warmte voor de warmtepomp, kan de 13 m³ aardgas equivalenten die in de extensieve aardbeienteelt voor de verwarming gebruikt worden gerealiseerd met 42 kWh elektriciteit per m² per jaar. Als de isolatiegraad van deze kas wordt verhoogd door het gebruik van een dubbel glas kasdek kan dit verbruik worden gehalveerd.

Bij de kouder geteelde kassen is het effect van een hogere isolatie van de kas uiteraard kleiner. Bij Leeuwebek kan het verbruik van de warmtepomp door een hoog-isolerende kas met 10 kWh worden verlaagd en bij sla met 20 kWh/(m² jaar).

Het effect van meer of minder belichting is bij al deze teelten duidelijk groter dan het effect van de isolatiegraad van de kas.

De benodigde laagwaardige energie voor de warmtepomp is bij al deze teelten gering tot zeer gering. Bij een aardbeienteelt in de referentiekas, het meest extreme geval, is er ongeveer 350 MJ/m² per jaar aan duurzame energie nodig. Dit kan gemakkelijk verzameld worden uit bijvoorbeeld het oppervlaktewater, via zonthermische panelen of via koelers in de kas die gedurende de 1200 warmste uren van het jaar 80 W/m² aan de kaslucht onttrekken.

Energieverbruik voor de ontsmetting van de bodem

Leeuwebekken en soms sla worden in de grond geteeld. Voor het ontsmetten van de grond met behulp van stoom is gemiddeld 5 m³ aardgas per m² per jaar nodig.

Deze energiekosten staan volledig los van het type kas waarin geteeld wordt, en in deze grondteelten is er bij het overschakelen naar een energiezuinige methode voor grondontsmetting dus maximaal 5 m³ gas per m² te besparen.

Er zijn drie bruikbare energiezuinige alternatieven: Biologische Grond Ontsmetting, grond ontsmetting door middel van Geozoniseerd Water en micro-organismen en Teelt op grond-substraat systeem met een klein volume (gronddoekgoten). Biologische Grond Ontsmetting is bewezen net zo effectief als stomen en, met een gasgebruik van 0, energetisch het zuinigst. Hiervoor moet de kas echter gedurende 3 weken in de zomer leeg staan, wat de inpasbaarheid beperkt. Voor intensieve plantschema's lijken gronddoekgoten een goed alternatief. Hierbij is slechts 1.5 m³ gas/m² voor ontsmetting nodig, maar de investering van 30 tot 50 euro per m² is hoog. Het gebruik van geozoniseerd water zoals door het Spaanse bedrijf Agrozono gepatenteerd is een derde alternatief waarvoor slechts weinig elektriciteit nodig is, maar in Nederland nog niet is beproefd.

Intensivering van de extensieve teelt met Leeuwebek als voorbeeld

Leeuwebek (*Antirrhinum*) wordt in de meeste gevallen zeer extensief geteeld in oude kassen zonder belichting. Er is echter een tendens denkbaar om een gewas als Leeuwebek intensiever te gaan telen om daarmee een betere business case te realiseren. Door de kas te belichten en de temperatuur wat hoger te kiezen kan de teeltduur worden verkort, waardoor het aantal plantcycli in een jaar toeneemt.

Op basis van onderzoek met lage intensiteit LED belichting is berekend dat een onbelichte *Antirrhinum* 8.6 Mol PAR licht per tak vraagt. Bij gebruik van 20 μmol/(m² s) belichting kon de teelt met 12 dagen worden bekort. Blijkbaar nam door deze belichting de lichtbenuttingsefficiëntie toe want bij gebruik van dit licht was slechts 7.3 Mol PAR licht per tak nodig. De teeltversnelling komt dus voort uit de combinatie van een toename in lichthoeveelheid en een efficiënter gebruik van dat licht door de planten.

Uitgaande van belichting met een hoog elektrisch rendement (2.3 μmol/J), is berekend dat elke dag teeltversnelling ongeveer 1.5 kWh/m² aan elektriciteit voor de belichting kost. Om de lichtsom/temperatuursom verhouding constant te houden, is tevens berekend dat voor de situaties met de hoogste lichtintensiteit (30 μmol/(m² s)) de kas gemiddeld bijna 1 graad warmer zal moeten worden gehouden dan de standaard-kas. De warmtevraag in de verschillende intensiverings-cases neemt toe met 6.6 tot 65.7 MJ/m², afhankelijk van de intensiteit van de belichting en de isolatiegraad van de kas. Bij gebruik van een warmtepomp varieert het extra stroomverbruik voor de verwarming dan tussen 0.6 en 6.1 kWh/m², eveneens afhankelijk van belichting en isolatie. Per dag teeltversnelling vraagt een standaard kas dan 0.25 kWh extra stroom en een hoog-isolerende kas 0.1 kWh.

In beide gevallen is het energieverbruik voor belichting dus bepalender voor het energie-effect van intensivering dan het energieverbruik voor verwarming.

Aangezien het energieverbruik voor belichting zo'n belangrijke verbruikspost is, is ook nagegaan welke besparing op het stroomverbruik van belichting kan worden gerealiseerd wanneer de lichttransmissie van de kas verhoogd wordt. Indien de toename van het natuurlijk licht wordt gebruikt om de belichtingsintensiteit te verminderen dan blijkt dat elke procent-punt verhoging van de lichttransmissie een elektriciteitsbesparing van 3 tot 4 kWh/(m² jaar) oplevert. 3 kWh als belichting met een efficiënt systeem wordt verondersteld (2.3 μmol/J) en 4 kWh/(m² jaar) als de huidige SON-T als referentie wordt gehanteerd.

1 Inleiding

In de Venlow Energy kas is bewezen dat er door de toepassing van HR+ glas en een energiezuinig ontvochtigingssysteem grote energiebesparingen mogelijk zijn ten opzichte van de gangbare praktijk. Door niet alleen de kas, maar ook het teeltconcept nog verder te verbeteren kunnen er in deze kas nu tomaten geteeld worden met een energieverbruik van om en nabij 12 m³ aardgas per m² per jaar. Intussen zijn ook de eerste resultaten van het demonstratieproject met de Glas-Folie kas (de 2SaveEnergy kas) bekend en die laten zien dat isolerende kasdekken ook voor lagere investeringskosten realiteit worden.

Vanuit de praktijk komt regelmatig de vraag naar voren om een doorkijk te geven naar de betekenis van deze kassen met isolerende kasdekken of kassen met een bijzonder intensief schermgebruik, voor "koude teelten". Dit soort teelten is bij vele bloemisterijgewassen gangbaar en ook de teelt van sla gebruikt erg weinig warmte. In hoeverre is het dan mogelijk om met zulke kassen een klimaatneutrale kas te realiseren? En ook: wat verandert er als er belichting wordt ingezet?

Wellicht kan, bij teelten die alleen vorstvrij gehouden worden, zelfs worden volstaan met een systeem zonder warmtepomp en zonder aquifer om de kas jaarrond in zijn warmtebehoefte te voorzien.

Tenslotte zijn er nog vragen over de luchtvochtigheidsbeheersing. Is de luchtvochtigheid in de hand te houden als de ontvochtigingscapaciteit van buitenlucht aanzuiging een beperkende factor gaat worden? Bij belichte teelten is de vraag welke warmteoverschotten bij welke belichtingsniveaus gaan ontstaan in hoog isolerende kassen.

In dit rapport wordt uitgezocht hoe een hoog-isolerend kassysteem zoals de VenLow Energy kas voor een drietal energie-extensieve teelten dat laatste stapje naar een volledig klimaatneutrale kas kan helpen realiseren.

De drie voorbeeldgewassen bestrijken een range van een zeer extensief gewas zoals Leeuwebek via een laag verbruikend gewas zoals Sla naar een weinig verwarming gebruikende teelt zoals Aardbei. In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving voor elk van deze teelten gegeven.

In hoofdstuk 4 wordt de warmtevraag voor deze drie voorbeeldgewassen getoond bij gebruik van een standaard enkeldeks glazen kas met scherm en bij gebruik van hoog isolerende kassen. Vanwege de warmte die met de toepassing van belichting aan de kaslucht wordt afgegeven is de warmtevraag afhankelijk van de hoeveelheid belichting die wordt toegepast. Daarom worden de overzichten niet alleen als functie van kas en gewas gemaakt, maar ook als functie van de hoeveelheid belichting. De belichtingsintensiteiten blijven overigens in alle gevallen klein of tenminste beperkt, passend bij deze energie-extensieve teelten.

Naast voor verwarming wordt er bij een aantal teelten ook energie verbruikt voor de grondontsmetting. Juist bij extensieve teelten is dit het geval. Daarom wordt in hoofdstuk 4 ook ingegaan op mogelijkheden voor energiezuinige grondontsmetting (§ 4.2).

Verder in hoofdstuk 4 (4.3) is een exercitie gedaan naar de mogelijkheden om een extensieve teelt te intensiveren. Hierbij is Leeuwebek als voorbeeldgewas gebruikt en zijn de kansen voor het toepassen van de nieuwste kennis en inzichten ten aanzien van stuurlicht zijn meegenomen.

Tot slot wordt een doorkijk gegeven naar de betekenis van de nieuwste ontwikkelingen in hoog lichtdoorlatende kasdekmaterialen, zoals de Winterlichtkas en de nieuwste generatie schermdoeken.

In hoofdstuk 5 worden conclusies uit deze evaluaties getrokken.

2 Klimaatneutraliteit

Met het begrip klimaatneutrale teelt wordt een gewasproductiesysteem bedoeld waarvoor geen fossiele energie wordt gebruikt. De definitie laat toe dat er op enig moment in het jaar fossiele energie wordt gebruikt of aan het energieverbruik toegerekend kan worden mits er in een ander deel van het jaar een equivalente hoeveelheid duurzame energie ten behoeve van derden wordt geleverd. Door deze flexibiliteit in de tijd en flexibiliteit in energiedrager ontstaan er grote mogelijkheden om aan de energieneutraliteitswens te voldoen. Levering van zonne- en windenergie aan het openbare elektriciteitsnet, de levering van aardwarmte aan buur-tuinders, de inkoop van groene energiedragers (bio-diesel, groen gas, groene stroom, biomassa) zijn allemaal mogelijkheden om een klimaatneutrale teelt te kunnen realiseren. Feitelijk kan hierdoor in elke kas klimaatneutraal geteeld worden. Het zijn de kosten voor deze groene energiedragers, en ook de beschikbaarheid wanneer deze energiedragers op grote schaal zouden worden ingezet, die het belangrijkste knelpunt vormen.

Vanwege die kosten en beschikbaarheid is het van groot belang om het verbruik zoveel mogelijk te beperken. Daarna kan de resterende energiebehoefte worden gedekt met groene energiedragers of worden gecompenseerd via de levering van duurzame energie.

Voor de invulling van de warmtevraag met duurzame energie zijn inmiddels vele mogelijkheden beschikbaar. De techniek van de semi-gesloten kas, waarbij zomerse warmte-overschotten worden gebruikt voor verwarming in de winter is praktijkrijp. Ook zijn er voorbeelden van organisatiemodellen waarin tuinders afvalwarmte van andere tuinders of andere sectoren benutten en kassen die door de toepassing van laag temperatuur verwarming de resterende warmte uit geothermie benutten.

De toepassing van energie uit oppervlaktewater is ook een vaak geopperde methode, waar geen technische problemen de toepassing in de weg staan.

Bij bijna al deze toepassingen wordt de warmtevraag (deels) duurzaam ingevuld, maar wordt de elektriciteitsbehoefte verhoogd.

Het is uiteraard de keus van de betreffende ondernemer of de elektriciteitsbehoefte dan ook duurzaam wordt ingevuld. Als dit niet gebeurt dan is het gebruik van deze technieken en het gebruik van isolerende kassen een stap in de richting van klimaatneutraliteit.

Ditzelfde geldt ook wanneer er duurzame technieken, zoals bijvoorbeeld een warmtepomp, worden gebruikt voor de basislast, terwijl bij piekvermogens additionele capaciteit uit niet-duurzame bron wordt ingezet.

3 Werkwijze: drie voorbeeld gewassen

In deze deskstudie zijn met een kasklimaatmodel drie cases doorgerekend aan de hand van een gemiddeld Nederlands jaar. In de rekenresultaten wordt aandacht besteed aan het gerealiseerde klimaat, elektriciteit en warmtevraag .

Drie voorbeeld gewassen zijn geselecteerd vanwege hun energie-extensieve karakter. In een voorselectie is gekeken naar drie klimaatgewasgroepen:

- Vorstvrij telen (telen bij 5 °C).
- Telen bij lage temperatuur (10 °C).
- Telen bij gematigde temperatuur (12 °C).

Typische gewassen voor de categorie "vorstvrij houden" zijn: anemoon, ranonkel, Helleborus, violen, pioen, primula's, leeuwebek (reageert sterk op licht), tulpen (reageert ook sterk op stuurlicht), veldsla, radijs, peterselie, selderij, raapstelen en andijvie. Bij het vorstvrij houden wordt rekening gehouden met mogelijke temperatuurverschillen in de kas, denk aan situaties met strenge vorst en wind.

Gewassen die in de middengroep vallen zijn: Freesia, violier, Trachelium, perkplanten, azalea's, anjers 2^e jaar, Cymbidium, Carthamus, Dahlia, sla, radijs, bloemkool, Chinese kool, raapstelen, knolvenkel, paksoi, spinazie en andijvie. Sommige gewassen komen ook in de "koude" groep voor. Dit zijn teeltkeuzen die ondernemers maken, vaak groeisnelheid gerelateerd.

De typische gewassen uit de wat warmere klimaatgewasgroep zijn: alstroemeria, gerbera, belichte violier, celosia, kerststerren, matricaria, amaryllis, anjers 1^e jaar, duizendschoon, cyclamen, aardbei, courgette, koolrabi.

De vochtregeling wordt in lijn met de gebruikelijke werkwijze in die drie klimaatgewasgroepen bepaald. Omdat er in iedere klimaatgewasgroep ook belichte teelten voorkomen, wordt een 3-tal belichtingsniveaus meegenomen, passend bij de niveaus die in de praktijk bij deze teelten worden toegepast. De kastypes die in de berekeningen toegepast zullen worden, zijn een referentiekas, een kas met een standaard dek en een dubbel scherm voor een goede isolatie, en een kas met een hoog-isulerend kasdek.

Voor ieder van de genoemde categorieën, is een pilotgewas uitgekozen: respectievelijk Leeuwebek, Sla en Aardbei. In dit rapport worden alle berekeningen gedaan aan de hand van deze 3 voorbeeldgewassen, teelten die te boek staan als energie extensief.

3.1 De Referentiekas

Voor de berekeningen is uitgegaan van een nu nieuw te bouwen Venlo Kas. Afhankelijk van de teelt is de kas voorzien van verschillende installaties, maar in ieder geval:

- Enkel glas.
- Schermen per gewas anders.
- Een lichttransmissie van 70%.
- Een buitenlucht-inblaasinstallatie waarmee de kaslucht condities homogeen en de luchtvochtigheid in de hand gehouden kan worden .

Deze referentiekas is represnetatief voor de moderne tuinbouw, maar is vaak al een betere kas is dan die waarin extensieve sierteeltgewassen gekweekt worden. Dat zijn vaak sterk verouderde kassen, met een lage lichttransmissie (soms lager dan 55%), vrij veel energieverliezen door lek en te laag om er een energiescherm in te hangen.

3.2 Leeuwebek

Voor de teelt die de laagste stooktemperatuur representeert is de Leeuwebek gebruikt.



Figuur 1 Leeuwebekken worden in vrijwel ongestookte kassen gekweekt.

De teelt van leeuwebek staat model voor een hele reeks gewassen die voldoende hebben aan een kasklimaat dat niet meer garandeert dan dat het gewas vorstvrij wordt gehouden. Behalve de leeuwebek kan daarbij ook gedacht worden aan anemoon, ranonkel, helleborus, violen, pioen en primula's onder de sierteeltgewassen maar ook aan kasgroente als veldsla, radijs, peterselie, selderij, raapstelen en andijvie.

In de berekeningen wordt het begrip 'vorstvrij' vertaald naar een stooklijn op 2 °C. Het hele jaar gaat de verwarming dus alleen aan als de kas onder de 2 °C dreigt te komen. Ook in de winter tijdens vorst komt al bij een klein beetje zonlicht de kasluchttemperatuur boven deze drempelwaarde en kan de verwarming uit.

Een evenwichtige teelt vereist behalve een ondergrens ook een bovengrens aan de temperatuur. Vooral bij een lage lichtsom over de dag mag de gemiddelde etmaaltemperatuur niet teveel oplopen teneinde licht en temperatuur in balans te houden. Vanuit de temperatuur-integratie gedachte zou het criterium waarboven gelucht moet worden zo hoog mogelijk moeten worden gelegd, maar gewasexperts stellen dat voor een gewas als leeuwebek de kas bij een temperatuur boven de 7 °C moet gaan luchten. Deze ventilatietemperatuur kan wel hoger worden gelegd naarmate er meer zon is. Dit is geparameteriseerd als een verhoging van de ventilatietemperatuur van 7 naar 12 °C over een zonstraling traject van 100 tot 500 W/m².

Om te voorkomen dat de temperatuur in de hoog-geïsoleerde kas in de zomer te ver op loopt is het raamoppervlak in deze kas anderhalf keer zo groot gemaakt.

De referentiekas voor de teelt van Leeuwebek heeft geen scherm en bij de berekeningen met de VenLow Energy kas, wordt ook geen scherm gebruikt. In de enkel glas kas met dubbel scherm worden de schermen □s nachts gesloten als het buiten kouder is dan 10 °C. Overdag wordt het bovenste, gealuminiseerde scherm opengetrokken. Het onderste, transparante scherm wordt overdag ook geopend, tenzij het vriest.

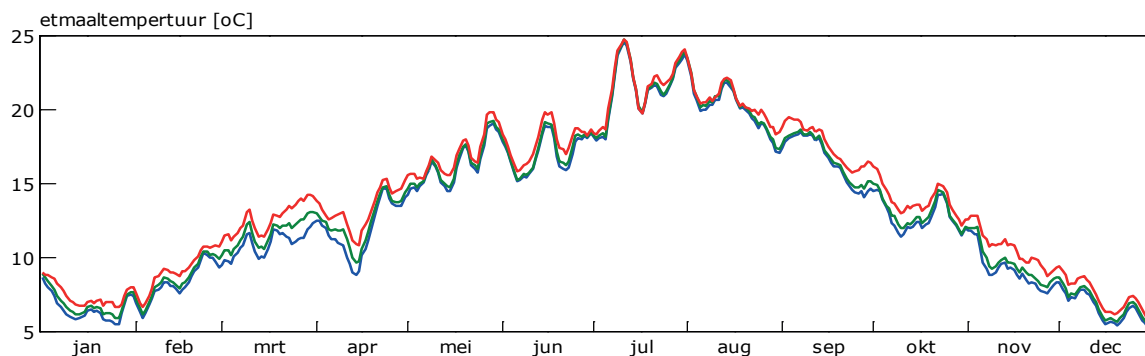
In de berekeningen waarbij er belichting wordt toegepast wordt deze in de periode van 1 september tot 1 april aangezet als er minder dan 75 W/m² globale straling buiten gemeten wordt. De belichting wordt echter om 20:00 uur hoe dan ook uitgeschakeld en blijft dan tenminste 12 uur uit. In de berekeningen met belichting wordt het op dit moment hoogst haalbare conversierendement van elektriciteit naar PAR-licht voor de SON-T lamp verondersteld, namelijk 1.87 μmol/J. Dit betekent dat voor de 60 μmol/(m² s) die als maximale belichtingsintensiteit is gesteld, 32 W/m² elektrisch vermogen wordt verbruikt.

De ontvochtiging, in de vorm van een buitenlucht-aanzuigsysteem, gaat in de koude maanden van het jaar (vanaf september) overdag aan wanneer de RV boven de 85% komt en 's nachts wanneer de RV boven de 90% komt. In de warmere periode van het jaar (vanaf april) komt de luchtvochtigheidsregeling overdag in actie bij een RV van 80% en 's nachts bij een RV van 85%.

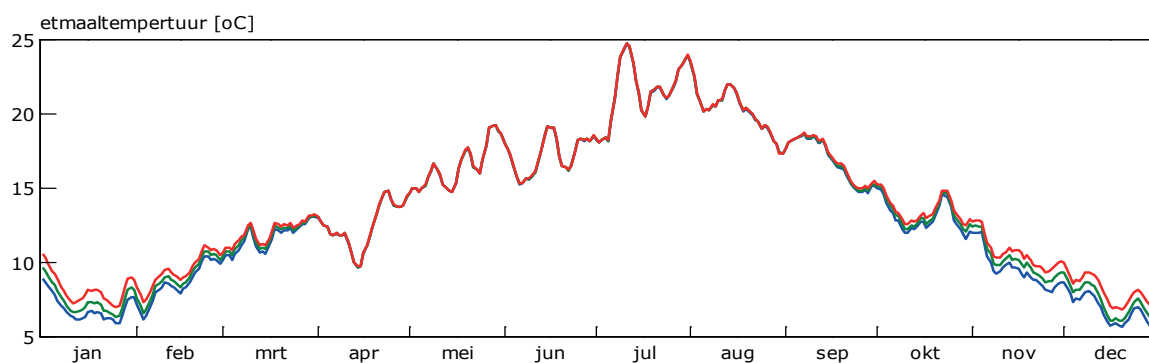
In de referentieberekeningen wordt er geen warmteterugwinningsvoorziening verondersteld. De vochtige kaslucht wordt bij inschakeling van de ontvochtigingsinstallatie verdrongen door de drogere buitenlucht en verdwijnt uit de kas via de ramen. Voor een grondgebonden gewas als leeuwebek zal zo'n ontvochtigingsinstallatie bestaan uit slurven bovenover het gewas.

In de berekeningen aan een kas met hoog isolerende schermen en de kas met het dubbel glas kasdek wordt er wel gebruik gemaakt van warmteterugwinning bij ontvochtiging. Dit vindt dan plaats in de vorm van een balansventilatiesysteem waarmee 80% van het voelbare warmteverlies kan worden teruggewonnen. In de klimaatregeling wordt geen gebruik gemaakt van minimumbuis.

De genoemde set van instellingen leiden tot de hieronder getoonde etmaaltemperaturen.



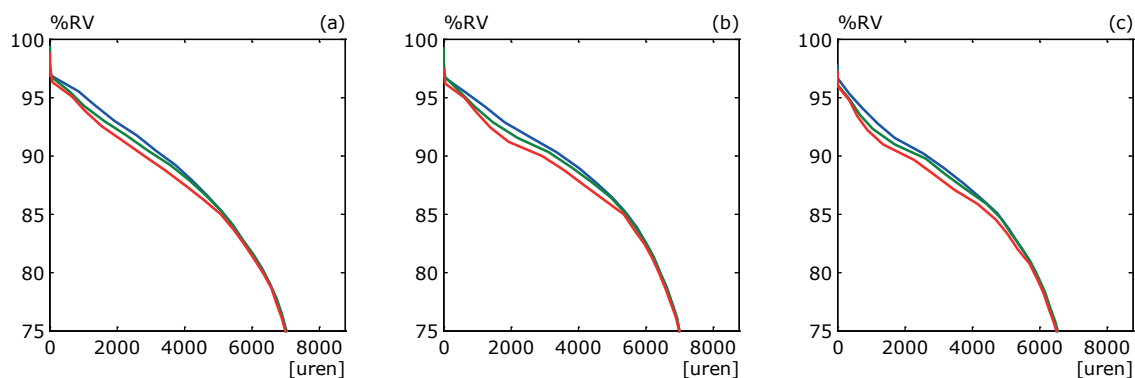
Figuur 2 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen die voor de Leeuwebek gelden bij de referentie-kas (blauw), de enkelglas kas met dubbel scherm (groen) en bij de hoog-geïsoleerde kas (rood).



Figuur 3 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen die voor de Leeuwebek gelden bij de enkelglas kas met dubbel scherm in geval er geen belichting wordt toegepast (blauw) bij toepassing van $30 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (groen) en bij toepassing van $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (rood).

De berekeningsresultaten laten zien dat de hoog-geïsoleerde kas een duidelijke verhoging van de etmaaltemperatuur in de winter geeft. De temperatuur in de zomer verandert nauwelijks, ook niet bij de hoog-geïsoleerde kas dankzij de grotere ramen die daar zijn gekozen.

Figuur 3 laat zien dat niet alleen een betere isolatie, maar ook belichting tot hogere temperaturen in de winter leidt. Behalve dat dit simpelweg het gevolg is van de extra energie-input is dit zeker ook een gewenst effect aangezien een hogere lichtsom in de regel vraagt om een hogere etmaaltemperatuur. Figuur 4 laat zien dat de toepassing van een hogere isolatiegraad niet tot noemenswaardige veranderingen in de RV leidt. Bij oplopende belichting wordt de RV wat lager. De ontvochtiging doet goed z'n werk en de hogere temperatuur helpt daarbij ook.



Figuur 4 Jaarbelastingduurkrommen van de luchtvochtigheid in de Leeuwebek-teelt in de standaardkas (a), de zwaar geschermdde kas (b) en de hoog-geïsoleerde kas (c). De bovenste (blauwe) lijn geldt voor de situatie zonder belichting, de tweede lijn (groen) geldt voor 30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ belichting en de onderste (rood) geldt bij 60 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$.

3.3 Sla

Sla is een gewas wat lage temperaturen goed overleeft, maar wordt in de regel geteeld bij een temperatuur die niet onder de 8 °C zakt. Hierdoor is een jaarrond-teelt mogelijk waarbij de kwaliteit ook in de winter voldoende is.



Figuur 5 Een impressie van de teelt van sla. Hier wordt de sla geteeld op water (dry hydroponics), maar teelt in de grond is nog steeds het meest gangbare systeem.

Naarmate het buiten minder koud wordt en de zon meer kracht heeft komt een kas al gauw boven de 8 °C. Om een vroegtijdig schieten van de sla te voorkomen moet er gewaakt worden voor een te hoge temperatuur en daarom lopen de ramen in een sla-kas open wanneer de temperatuur boven de 12 °C komt.

Ook hier geldt, net als bij de leeuwebek, dat bij een grotere hoeveelheid licht ook een hogere temperatuur hoort. Dit setpoint voor de ventilatie wordt dus over een traject van 100 tot 500 W/m² verhoogd naar 17 °C. Als de kasluchttemperatuur boven de ventilatielijn uitkomt wordt er agressief gelucht, wat wil zeggen dat bij 5 °C overschrijding van de stooklijn de luchting maximaal staat. In alle berekeningen, wordt ook hier weer gebruik gemaakt van een energiescherm. Dit wordt gesloten als het buiten kouder is dan 10 °C. In principe wordt het scherm overdag geopend, behalve als het buiten onder de 3 °C is. Dan blijft het scherm ook overdag dicht.

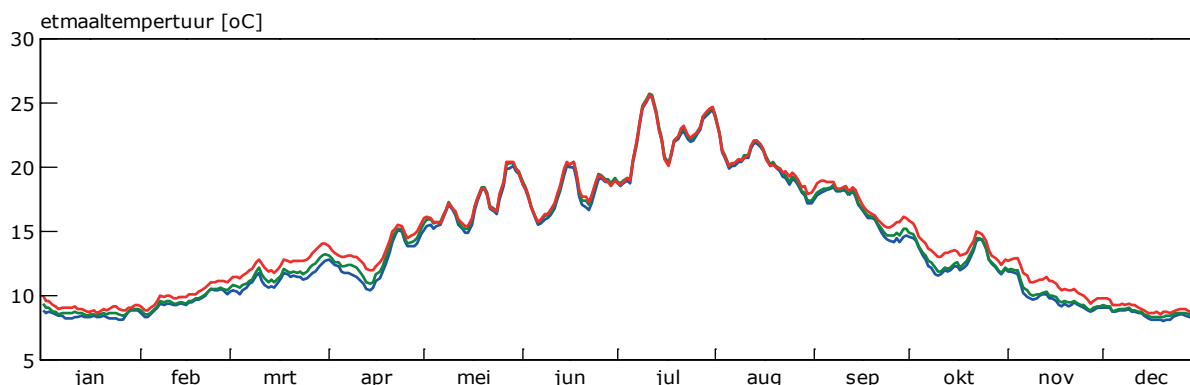
In de berekeningen waarbij belichting wordt toegepast, wordt deze aangezet als er minder dan 100 W/m² globale straling buiten gemeten wordt in de periode van 1 september tot 1 april. De belichting wordt om 20:00 uur weer uitgeschakeld en blijft dan tenminste 12 uur uit.

Ook hier wordt een lampefficiëntie van 1.87 µmol/J verondersteld, maar er wordt een wat hogere lichtintensiteit aangehouden. De weinig belichtende slateelt gebruikt 40 µmol/(m² s) en de tweede trap in de belichtingsintensiteit gebruikt 80 µmol/(m² s).

De ontvochtiging, in de vorm van een buitenlucht-aanzuigsysteem dat de lucht via slurven bovenover het gewas verdeelt, gaat in de koude maanden van het jaar (vanaf september) overdag aan wanneer de RV boven de 85% komt en 's nachts wanneer de RV boven de 90% komt. In de warmere periode van het jaar (vanaf april) komt de luchtvochtigheidsregeling overdag in actie bij een RV van 80% en 's nachts bij een RV van 85%. Deze instellingen zijn dus gelijk aan die bij de Leeuwebek.

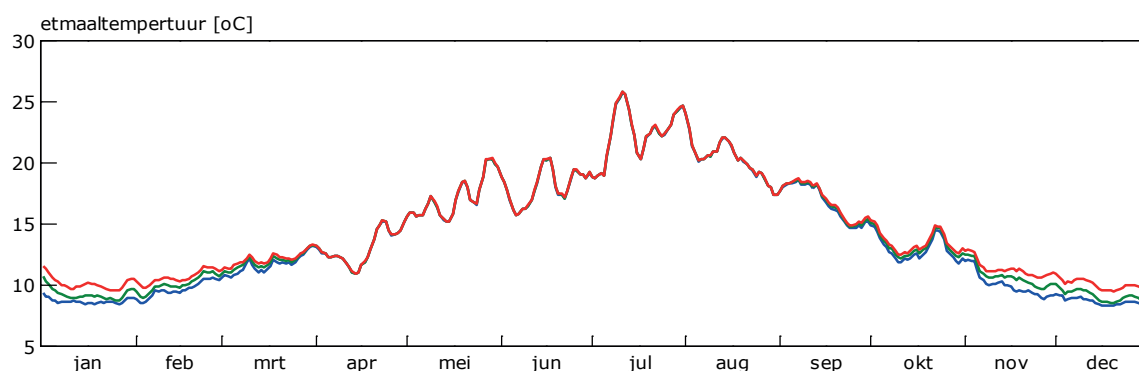
In de referentiesituatie vindt er geen warmterugwinning op de ontvochtiging plaats, maar in de berekeningen aan de energiezuinige kassen wordt bij ontvochtiging 80% van de voelbare warmte teruggewonnen.

De klimaatinstellingen die hierboven genoemd zijn, leiden voor de situatie zonder belichting tot de onderstaande etmaaltemperaturen.



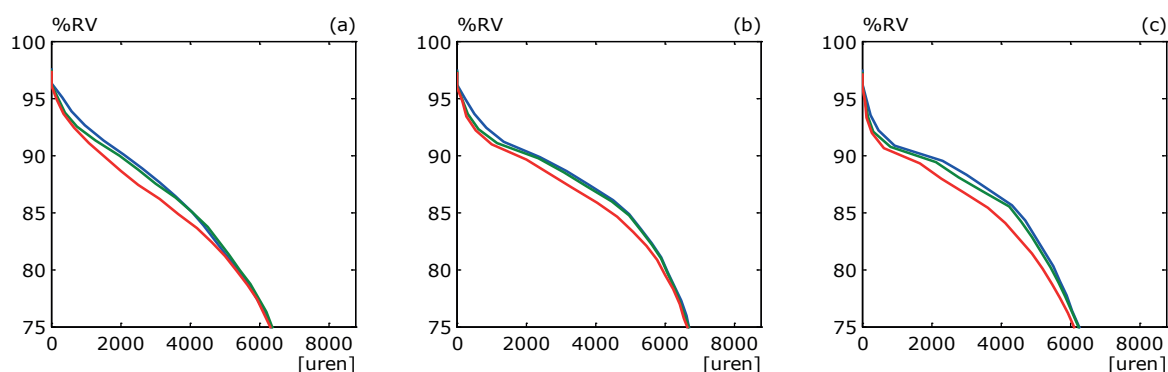
Figuur 6 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen die voor de slateelt zijn gehanteerd bij de referentie-kas (blauw), de enkelglas kas met dubbel scherm (groen) en bij de hoog-geïsoleerde kas (rood).

Het patroon is bij de slateelt vergelijkbaar met de berekeningen voor de Leeuwebek. In de winter zijn de temperaturen in de beter geïsoleerde kassen hoger en in de zomer maakt de hogere isolatiegraad geen verschil (mits de luchttingscapaciteit voor de dubbel glas kas groot genoeg is gekozen).



Figuur 7 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen die voor de slateelt gelden bij de enkelglas kas met dubbel scherm in geval er geen belichting wordt toegepast (blauw) bij toepassing van $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (groen) en bij toepassing van $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (rood).

Het effect van belichting op de etmaaltemperatuur is bij de slateelt wat groter dan bij de Leeuwebek. Dit komt doordat de stappen in lichtintensiteit hier wat groter zijn. Ook hier levert de toepassing van een hogere isolatiegraad geen noemenswaardig effect op de luchtvochtigheid, zoals te zien is in de onderstaande jaarbelastingduurkrommen.



Figuur 8 Jaarbelastingduurkrommen van de luchtvochtigheid in de standaardkas (a), de zwaar geschermd kas (b) en de hoog-geïsoleerde kas (c). De bovenste (blauwe) lijn geldt voor de situatie zonder belichting, de tweede lijn (groen) geldt voor $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ belichting en de onderste (rood) geldt bij $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$.

3.4 Aardbeien

Aardbeien hebben weinig verwarming nodig en kunnen daardoor tot de extensieve gewassen worden gerekend. Gangbaar is een nachttemperatuur van 8 °C en een dagtemperatuur van 12 °C.



Figuur 9 Aardbeien in een modern teeltsysteem.

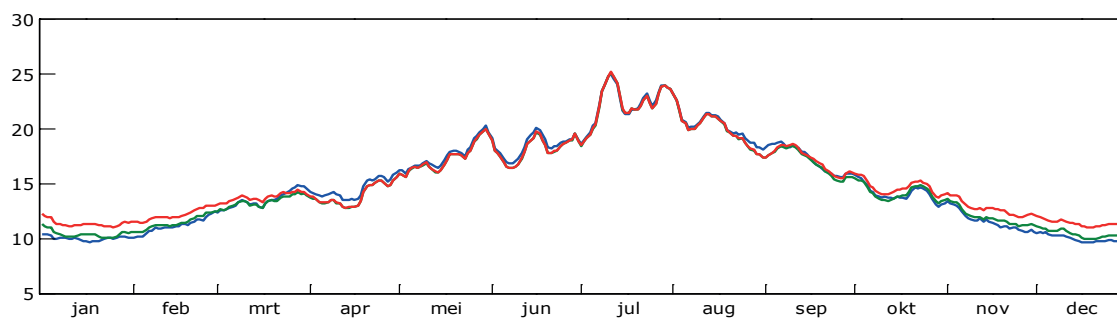
Zeker bij Aarbeï geldt dat te hoge temperaturen leiden tot een minder evenwichtige groei. De kas gaat daarom ventileren bij 14 °C, waarbij dit criterium bij een toename van de lichtintensiteit nog wel verhoogd wordt naar 16 °C. Deze verhoging loopt over hetzelfde stralingstraject als bij de andere twee teelten, dus van 100 tot 500 W/m² globale straling buiten.

In de berekeningen waarbij er belichting wordt toegepast, wordt de belichting aangezet als er minder dan 150 W/m² globale straling buiten gemeten wordt in de periode van 1 september tot 1 april. De belichting wordt echter om 22:00 uur hoe dan ook uitgeschakeld en blijft dan tenminste 10 uur uit.

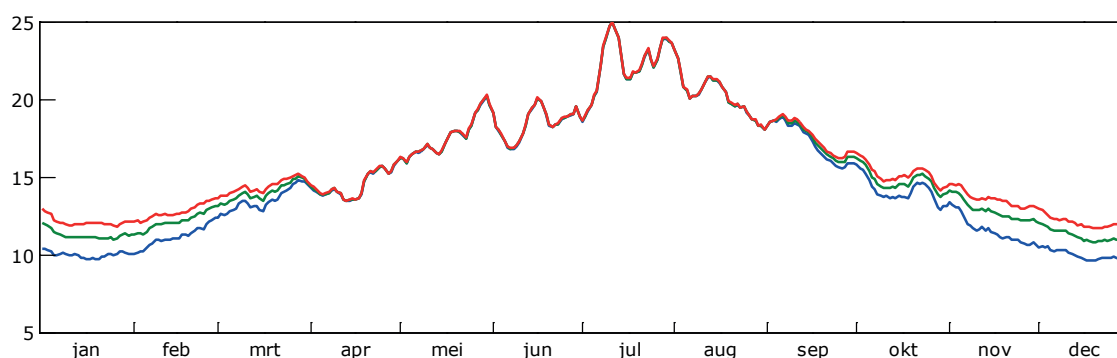
Net als in de andere berekeningen wordt voor de lampefficiëntie de huidige bovengrens voor de SON-T techniek gebruikt, 1.87 µmol/J. Waar in de Aardbeienteelt belichting wordt gebruikt worden nog weer hogere intensiteiten toegepast dan bij de hiervoor genoemde sla-teelt. 50 µmol/(m² s) is de lage belichtingsintensiteit bij de Aarbeï en 100 µmol/(m² s) wordt gebruikt als hoge intensiteit.

De ontvochtiging, in de vorm van een buitenlucht-aanzuigstelsel, gaat in de koude maanden van het jaar (vanaf september) overdag aan wanneer de RV boven de 85% komt en 's nachts wanneer de RV boven de 90% komt. In de warmere periode van het jaar (vanaf april) komt de luchtvochtigheidsregeling overdag in actie bij een RV van 80% en 's nachts bij een RV van 85%. Deze instellingen zijn dus gelijk aan die bij de andere teelten. Ook voor wat betreft de toepassing van warmteterugwinning bij de ontvochtiging worden voor de berekeningen aan Aarbeï dezelfde uitgangspunten gehanteerd als bij de twee eerder besproken teelten.

De bovenbeschreven set van instellingen leiden tot etmaaltemperaturen en luchtvochtigheden zoals die in Figuur 10 t/m 12 worden getoond.

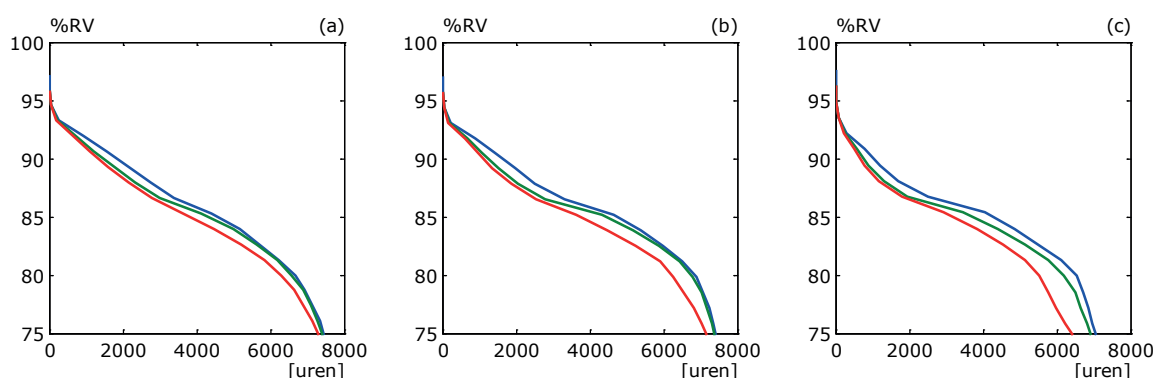


Figuur 10 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen voor Aardbei in de referentie-kas (blauw), de enkelglas kas met dubbel scherm (groen) en bij de hoog-geïsoleerde kas (rood).



Figuur 11 Etmaaltemperatuur bij de kasklimaatinstellingen die voor Aardbei gelden in de enkelglas kas met dubbel scherm in geval er geen belichting wordt toegepast (blauw), bij toepassing van $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (groen) en bij toepassing van $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ (rood).

We zien het inmiddels bekende patroon waarbij de hoog-geïsoleerde kas in de winter en de toepassing van belichting hogere etmaaltemperaturen oplevert, maar dat in de zomer de temperaturen vrijwel gelijk zijn, zeker op de warmste dagen van het jaar. De beter geïsoleerde kassen zullen in die periode wat meer ventileren. En ook hier heeft het kastype nauwelijks invloed op de luchtvochtigheid.

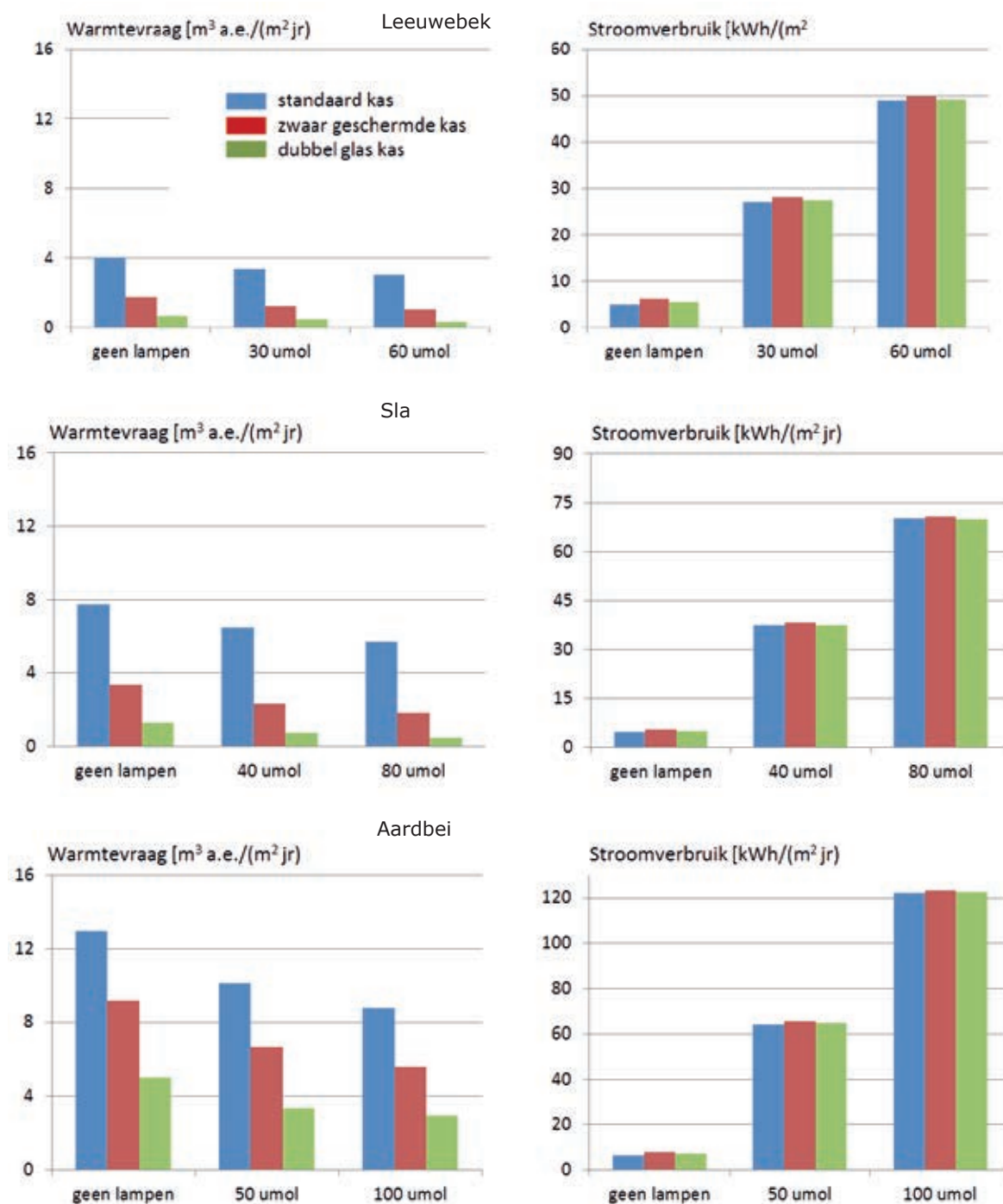


Figuur 12 Jaarbelastingduurkrommen van de luchtvochtigheid in de Aardbei-teelt in de standaardkas (a), de zwaar geschermd kas (b) en de hoog-geïsoleerde kas (c). De bovenste (blauwe) lijn geldt voor de situatie zonder belichting, de tweede lijn (groen) geldt voor $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ belichting en de onderste (rood) geldt bij $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$.

4 Resultaten en discussie

4.1 Energie-effecten

Aan de hand van de uitgangspunten die in het vorige hoofdstuk zijn genoemd zijn simulatieberekeningen uitgevoerd waarmee een beeld van het energieverbruik kan worden verkregen voor een gemiddeld Nederlands jaar. De verbruiken zijn opgedeeld in warmtevraag en elektriciteitsvraag.



Figuur 13 Effecten van het kastype en de belichtingsintensiteit op de warmte- en elektriciteitsvraag bij de voorbeeldgewassen leeuwebek (boven), sla (midden) en aardbei (onder).

De resultaten laten zien dat bij de twee meest extensief geteelde gewassen (leeuwebek en sla) de warmtevraag fors afneemt wanneer deze in een beter geïsoleerde kas worden gekweekt en bijna op 0 uitkomt voor een hoog-isolerende kas zoals de Venlow energykas. De warmtevraag, en dus ook de vermindering daarvan, hangt nauwelijks af van de belichtingsintensiteit die gebruikt wordt. Dit komt doordat de meeste belichtingsuren in deze teelten vallen op momenten waar er toch al niet gestookt wordt. Op die momenten leidt de extra energie-input niet tot minder verwarming (want die was dan al 0), maar tot een wat hogere temperatuur en soms misschien zelfs tot wat extra ventilatie.

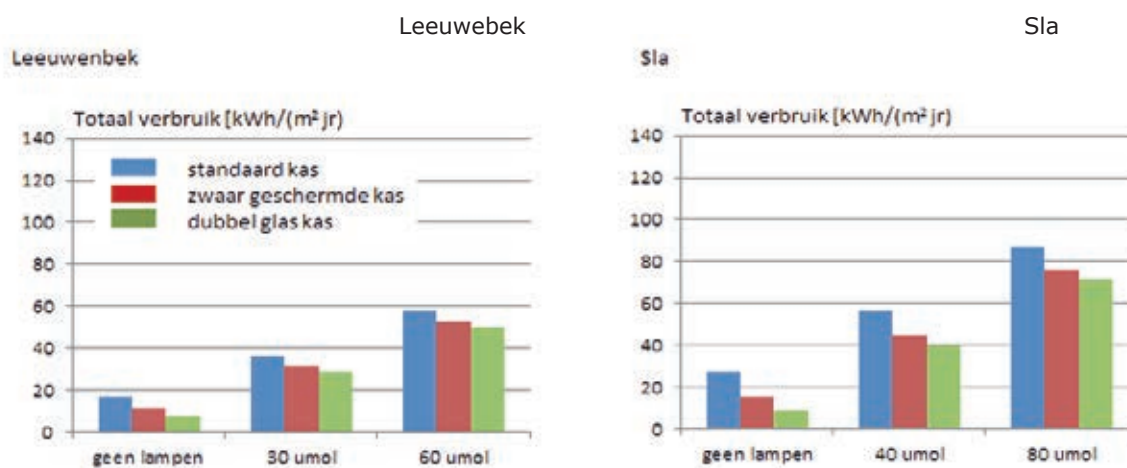
In de Aardbeienteelt wordt meer gestookt en in die teelt levert het verbeteren van de isolatiegraad van de kas in absolute termen dus ook meer op. Vooral de toepassing van een hoog-geïsoleerde kas verlaagt de warmtevraag in deze teelt fors, rond de $8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$. Ook is het goed te zien dat de warmtevraag van de teelt belangrijk afneemt, naarmate er meer wordt belicht. Dit komt doordat in de Aardbeienteelt de stookmomenten vaker samenvallen met de belichting, en ook omdat de gebruikte belichtingsintensiteit groter is.

De relatie tussen het elektriciteitsverbruik en het kassysteem is erg klein. Verschillen in kastype maken dat er iets meer of iets minder lucht rond geblazen moet worden voor de ontvochtiging, maar dat zijn slechts graduele verschillen.

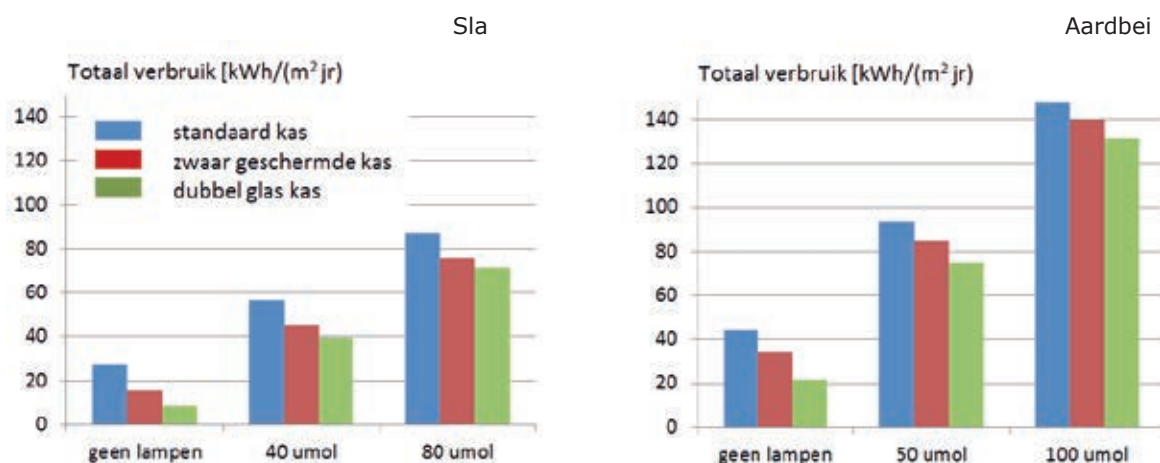
Dit wordt heel anders wanneer de verwarming van de kas niet op de verbranding van primaire energiedragers is gebaseerd, maar op een warmtepomp die de warmte grotendeels uit duurzame bron verkrijgt. Bij de lage temperaturen die in deze teelten nagestreefd worden kan een warmtepomp gemakkelijk met een $\text{COP}=5$ warmte produceren, zodat 80% van de warmtevraag van de kas direct uit duurzame bron kan worden verkregen. Zelfs voor de standaard-kas waarin Aardbei wordt geteeld is de hoeveelheid laagwaardige energie die de warmtepomp nodig heeft minder dan 350 MJ/m^2 per jaar. Zo'n kleine hoeveelheid, die voor de andere teelten en bij beter geïsoleerde kassen nog veel kleiner is, kan op allerlei manieren gemakkelijk worden verzameld, bijvoorbeeld uit het oppervlaktewater, via zonthermische panelen of via koelers in de kas. In dat laatste geval zouden koelers die gedurende de 1200 warmste uren van het jaar 80 W/m^2 aan de kaslucht onttrekken al de in deze voorbeelden maximaal benodigde 350 MJ per m^2 opleveren.

Wanneer ook rekening gehouden wordt met het elektriciteitsverbruik dat samenhangt met de verzameling van deze laagwaardige warmte, daalt de overall effectieve COP naar 3. De bijna 13 m^3 aardgas equivalenten die de onbelichte Aardbeienteelt voor de verwarming gebruikt (zie Figuur 2) kan dan worden gerealiseerd met 38 kWh elektriciteit per m^2 per jaar.

Wanneer voor alle gewassen en kastypen wordt verondersteld dat de verwarming middels een warmtepomp plaatsvindt, dan kan het energieverbruik voor verwarming, vochtbeheersing en assimilatiebelichting bij elkaar worden opgeteld en ontstaat het onderstaande overzicht.



Figuur 14 Totaal energieverbruik in de vorm van elektriciteit bij de teelt van Leeuwebek en sla, bij verschillende kastypen en bij verschillende belichtingsintensiteiten, ervan uitgaande dat de verwarming met een warmtepomp plaatsvindt. De drie kleuren gelden voor de verschillende kastypen en de drie groepen geven de verschillende belichtingsintensiteiten weer. De lampen hebben een efficiency van $1.87 \mu\text{mol/m}^2$ per J en de warmtepomp heeft een overall efficiency (gebruik + verzameling van de laagwaardige warmte) van 3.



Figuur 15 Totaal energieverbruik in de vorm van elektriciteit bij de teelt van sla en aardbei (de linker grafiek is een kopie van de rechtergrafiek in figuur 14). De drie kleuren gelden voor de verschillende kastypen en de drie groepen geven de verschillende belichtingsintensiteiten weer. Bij de berekening is uitgegaan van verwarming met een warmtepomp. De lampen hebben een efficiency van $1.87 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ per J en de warmtepomp heeft een overall efficiency (gebruik + verzameling van de laagwaardige warmte) van 3.

Uit Figuur 14 en 15 kan worden geconcludeerd dat voor alle teelten de relatieve effecten van isolatie en belichting vergelijkbaar zijn. De absolute effecten in de zin van de vermindering van het aantal kWh dat per m^2 per jaar wordt bespaard door het gebruik van een beter geïsoleerde kas, neemt natuurlijk wel toe naarmate de kas voor warmer gestookte gewassen wordt gebruikt.

Voor de koudst geteelde gewassen (Leeuwebek en sla) hangt het totale energieverbruik meer af van de belichtingsintensiteit dan van het kastype. Het stroomverbruik voor de belichting is daar overheersend. Alleen voor een warmer gestookte teelt zoals Aardbei neemt het energieverbruik substantieel af bij verhoging van de isolatiewaarde van de kas. De besparingen door isolatie bedraagt daar maximaal 20 kWh per m^2 per jaar en die besparing is nauwelijks afhankelijk van de intensiteit van de belichting. Verwarming en belichting zijn bij deze drie voorbeeld-teelten vrijwel als onafhankelijke aspecten te bestuderen.

4.2 Perspectieven voor energiezuinige bodemontsmetting

Energie-extensieve teelten worden vaak gekenmerkt doordat er nog in de grond geteeld wordt. Grondontsmetting middels stomen is dan een veel gebruikte methode. De gemiddeld 5 m^3 aardgas per m^2 per jaar die hierbij wordt gebruikt is voor een teelt als Leeuwebek al meer energie dan gebruikt wordt de verwarming van de kas.

Deze energiekosten staan volledig los van het type kas waarin geteeld wordt, en in deze grondteelten is er bij het overschakelen naar een energiezuinige methode voor grondontsmetting dus zo'n 5 m^3 gas/ m^2 te besparen. Er zijn op dit moment minstens drie energiezuinige alternatieven voor grondontsmetting voor handen:

- Biologische Grond Ontsmetting (BGO, ook bekend als "bodem resetten").
- Grond ontsmetting door middel van Geozoniseerd Water en micro-organismen.
- Overgang naar substraatsystemen.

4.2.1 Biologische grondontsmetting

Vanaf 2011 is door Wageningen UR Glastuinbouw, met financiering vanuit het programma Kas als Energiebron en in samenwerking met verschillende partijen (Thachtec, DLV, BLGG) gewerkt aan de ontwikkeling en praktijkimplementatie van een methode voor Biologische Grond Ontsmetting. De methode omvat het aanbrengen van voor micro-organismen makkelijk afbreekbare organische stof ("Herbie") in de juiste dosering op een vochtig perceel. Vervolgens wordt de grond doorgespit, beregend en luchtdicht afgedekt met folie.

Anaerobe bacteriën in de bodem zorgen dan voor de ontsmetting, door het ontketenen of katalyseren van biologische processen onder zuurstofloze, warme omstandigheden. Een schematische weergave van het uitvoeringsprotocol is te vinden in Bijlage 1.

Mits goed voorbereid en zorgvuldig uitgevoerd, is dit een zeer effectieve vorm van ontsmetting gebleken. Minstens even goed als, en in veel gevallen zelfs beter dan stomen. In proeven werden goede resultaten geboekt tegen onkruidzaden, en belangrijke bodempathogenen en -plagen zoals *Verticillium dahliae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pratylenchus penetrans*, *Meloidogyne hapla*, wortelduizendpoot, slakken en tripspoppen. De kosten van deze methode verschilde weinig met die van stomen. Daarmee is deze methode technisch gezien een effectief alternatief voor stomen, wat kansen biedt voor energiebesparing.

Ook in de praktijk zijn goede resultaten geboekt. In de zomer van 2013 is Biologische Grondontsmetting op vier praktijkbedrijven toegepast en de effecten zijn 1 tot 5 teelten na ontsmetting gevolgd. Bij drie van de vier praktijkbedrijven zijn met BGO, ook wel bodemresetten genoemd, zeer goede ontsmettingsresultaten en een uitstekend teeltresultaat behaald. Op één bedrijf leverde BGO onvoldoende ontsmettingsresultaat, maar daar waren de stoomresultaten ook niet bevredigend. Het tegenvallende resultaat was te verklaren door onvoldoende vocht onder het folie en een zuurstoflek in de folieafdichting (gebleken uit zuurstofmetingen).

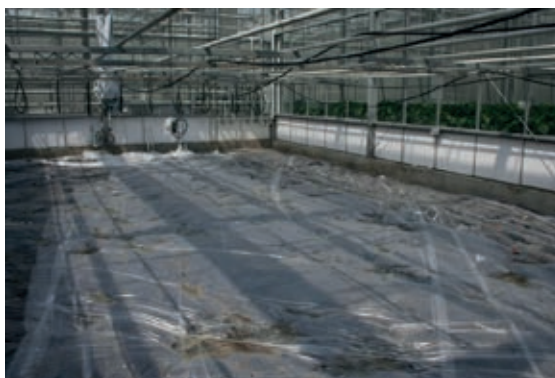
De biologische processen die voor de ontsmetting zorgen, nemen echter tijd in beslag. De benodigde tijdsduur voor voldoende ontsmetting en omzetting van organische stof is twee weken, plus een halve tot hele week wachttijd tot planten. Bij een intensief grondgebruik betekent dit een substantiële verlenging van de teeltcyclus, wat een kostenverhogende factor betekent. Dit levert grote weerstand in de praktijk voor de teelt van Chrysant en Lisianthus. Modelberekeningen laten echter zien dat de economische gevolgen bij een teelt als Chrysant, mits goed gepland (uitvoering in de laatste drie weken van juli), heel beperkt kunnen worden gehouden (Garcia Victoria *et al.* 2015).

Voor de meeste extensieve teelten zal de benodigde tijd voor BGO geen belemmering voor de invoering van deze methode zijn. De maximale effectiviteit van het proces is te bereiken in de periode van mei tot september, wanneer door de hogere instraling hoge bodemtemperaturen kunnen worden bereikt. Voor Helleborus, waar de oogstperiode in de winter valt, is de uitvoering van Biologische Grondontsmetting dus makkelijk in de zomer in te plannen. Ook in de extensieve teelt van pioenrozen, waar de teelt in de zomer afloopt kan BGO zonder interferentie met de gebruikelijke plantschema's worden ingepast.

Naast de timing is de minder goede bestrijding van onkruid in de praktijkproeven een knelpunt van de methode ervaren; bij twee van de vier Chrysanten praktijkbedrijven kon het onkruid onvoldoende worden beheerst met BGO. In de teelt van Leeuwebek is juist die onkruidbestrijding, wat niet mogelijk is tijdens de teelt, een belangrijke reden voor het ontsmetten van de grond.

Behalve knelpunten zijn er echter ook positieve neveneffecten te verwachten van BGO. Als gevolg van de toegevoegde organische stof verbetert bijvoorbeeld de grondstructuur.

Als inpasbaarheid mogelijk is en de onkruidbestrijding kan worden verbeterd, is BGO een goed alternatief om 5 m³ gas per jaar per m² te besparen in de grondgebonden teelten.



Figuur 16 Links, aanbrengen organische stof (Herbie) op te ontsmetten perceel; rechts, een perceel luchtdicht afgedekt voor het op gang brengen van de anaerobe microbiologische omzetting die voor de ontsmetting zorgt.

4.2.2 Geozoniseerd water en micro-organismen

Het Spaanse bedrijf Agroazono S.A heeft een Europees patent aangevraagd voor een methodiek die ze ontwikkeld hebben voor de ontsmetting van grond met behulp van geozoniseerd water in zowel akkerbouw- als in tuinbouwgronden. In de literatuur worden hele wisselende resultaten met deze toepassingen van ozon gemeld. In het algemeen worden goede resultaten geboekt in de bestrijding van aaltjes en bodemgebonden bacteriën. De bestrijding van grondgebonden schimmels blijkt echter niet altijd even effectief. De effectiviteit lijkt afhankelijk van de hoeveelheid organische stof in de bodem (hoe rijker in organische stof, des te moeilijker de ontsmetting). Het betreffende bedrijf is echter ondanks de soms ontmoedigende onderzoeksresultaten, toch zelf onderzoek gaan verrichten.

Uit enkele proeven verricht door een onafhankelijke onderzoeksinstituting in de provincie Murcia blijkt de methode over voldoende perspectief te beschikken om verder te worden onderzocht: 100% reductie van het aantal oorspronkelijke pathogene schimmels, 50% reductie van het aantal bacteriën. Ten opzichte van de niet-ontsmette controles (water en een chemische ontsmettingsmiddel) gaf het een spectaculaire verbetering van de plantengroei te zien, mogelijk door de extra zuurstof in de bodem. Een voordeel ten opzichte van de chemische ontsmetting (en dit zou ook een voordeel zijn ten opzichte van ontsmetting met stoom en BGO) is dat herhaalbehandelingen kunnen worden toegepast nadat de planten in de grond staan. Wortels blijken namelijk tegen het geozoniseerd water bestand.

Agroazono is verder gegaan met proeven bij telers. Er zijn proeven uitgevoerd bij fruitteelt (veelal mediterrane gewassen als citrus en druiven) en bij de teelt van blad- en vruchtgroenten (tomaat, paprika, sla). In de proeven is verder gewerkt aan optimalisatie van de methode en van de apparatuur om de behandeling goed te kunnen uitvoeren, monitoren van doseringen en effecten. Het bedrijf levert de apparatuur en kennis, maar levert ook de dienst, zoals stoombedrijven dat ook doen.

Gebleken is onder meer dat na de ontsmetting een snelle afname van de levende populaties schimmels volgde, maar dat deze na enkele weken weer wat terug konden groeien. Mogelijk gaat het hier om sporen en sclerotieën, resistentievormen van pathogenen, maar ook om "opportunistic schimmels" die door het ontbreken van elke vorm van bodemflora hun kans grijpen.

Door direct na de ontsmetting met ozon met een mengsel van nuttige micro-organismen (het product valt onder de "bodemverbeteraars" en bestaat uit diverse stammen bacteriën) te beregenen, is het gelukt de populaties pathogene schimmels lange tijd na de ontsmetting onderdrukt te houden.



Figuur 17 Links, Agroazono apparatuur in een van de test bedrijven; rechts, eerste test met tomatenplanten waarbij de rechter planten behandeld zijn met ozon, en de linker planten de controle planten.

Uit het voorgaande kan worden opgemaakt dat het gebruik van ozon voor de grondontsmetting nog aan het begin van de ontwikkeling staat, maar dat het zeker een kansrijke vervanger voor het stomen is. Het belangrijkste voordeel van deze methode ten opzichte van de Biologische Grondontsmetting is dat deze ook ingepast kan worden in een strak plantschema. Qua energiebesparing is het gebruik van ozon weliswaar minder gunstig dan BGO, maar het verbruik blijft ver onder dat van stoom. De fabrikant spreekt van 9 kWh per hectare per ontsmettingsbeurt.

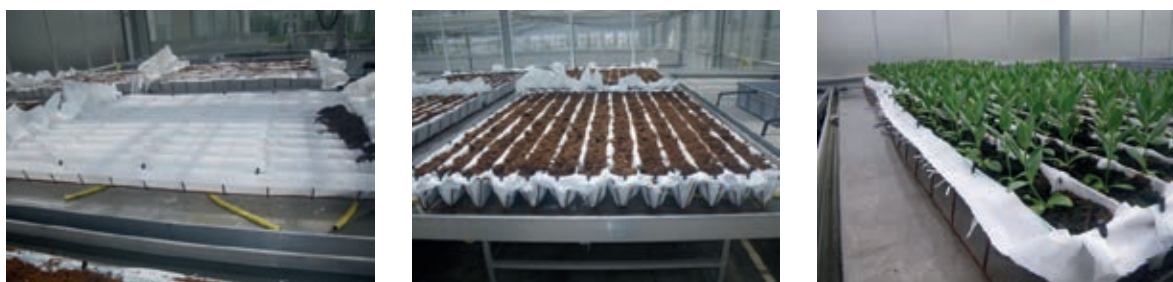
4.2.3 Overgang naar substraatteelt: gronddoekgoten

De teelt in substraat, of ruimer bekeken, los van de grond heeft zich meer dan genoeg bewezen en kent heel veel voordelen: minder grondgebonden ziektes, minder ongelijke plekken, minder uitval, betere controle van de bemesting en watergift, mogelijkheden tot recirculeren van de voedingsoplossing waardoor er minder uitspoeling en emissie van mineralen en gewasbeschermingsmiddelen optreedt, etc. Daarom leidt het in de meeste gevallen tot hogere producties. In sommige meerjarige en in vele eenjarige teelten is dit daarom de standard teeltwijze geworden.

Diepe grondontsmetting zoals met stomen, BGO of ozon is bij teelt uit de grond niet nodig. Meermalig gebruikt substraat moet overigens wel worden ontsmet, maar vergeleken bij grondontsmetting gaat dit om een veel kleinere volumes en dus om een veel lager gebruik van middelen zoals stoom of ozon.

Echter, voor volvelds geteelde gewassen, met een korte teeltduur (enkele weken tot maanden) is teelt op substraat simpelweg te duur in relatie tot de opbrengsten en de mogelijke voordelen.

In 2013 is door Wageningen UR Glastuinbouw een teeltsysteem van gronddoekgoten ontwikkeld, in eerste instantie voor *Lisianthus*. Het is een speciaal gemaakte V-vormige metalen rek bekleed met gronddoek (Figuur 18) en gevuld met substraat (kokos, zand, of allerlei mengsels van genoemde substraten met perliet en/of veen). In de goten wordt een minimum hoeveelheid substraat opgebracht en het substraat kan bij de teeltwisseling worden gereinigd en hergebruikt. Het systeem maakt watergift zowel bovendoor (regenleiding) als onderdoor (eb en vloed) en met druppelaars mogelijk.



Figuur 18 Links: lege gronddoekgoten, midden: gronddoekgoten gevuld met substraat, rechts: gronddoekgoten met een jonge aanplant *lysianthus*.

Het is een robuust en simpel systeem, en relatief low budget: De investering, inclusief een goed geprepareerde ondergrond met een eb en vloed systeem, het staalwerk, het substraat en benodigde (eigen) arbeid voor de aanleg bedraagt 30 tot 50 euro per m², en de jaarkosten inclusief onderhoud en rente bedragen minder dan 9 euro per m² per jaar (Van der Helm, 2014).

Het systeem is getest met verschillende gewassen, waaronder sla, radijs, *Celosia*, *Carthamus* en Leeuwebek (Figuur 19). De teelt van *Lisianthus* in verschillende varianten van dit systeem is op relatief grote schaal (1000 m²) getest en doorontwikkeld gedurende 2 jaar.



Figuur 19 links: eerste aanplant voor de teelt op 1000 m² van *Lisianthus*; midden: eerste proeven met sla; rechts: eerste proeven met Leeuwebek (*Antirrhinum*).

Het teeltresultaat is in alle gevallen goed gebleken: de groei en kwaliteit waren goed; problemen met ziekten traden minimaal op. Bij de teelt van radijs, is ook de smaak beoordeeld en goed bevonden.

In alle teelten zijn geen gewasbeschermingsmiddelen voor de beheersing van bodemziektes gebruikt.

De energiebesparing wordt bereikt doordat het te behandelen bodemvolume bij het gebruik van gronddoekgoten veel kleiner is dan wanneer een groot grondlichaam moet worden ontsmet. In de Lisianthusteelt, waar de planten heel gevoelig zijn voor bepaalde bodemziektes (*Fusarium*, *Myrothecium*), is met dit systeem de benodigde hoeveelheid gas voor het stomen van de grond van 24 m³/m² jaar teruggebracht naar 4 m³/m² jaar. Met deze hoeveelheid gas kan het substraat in de teeltgoten maar liefst 4 keer per jaar worden ontsmet (Figuur 20). Het resultaat bleek ook veel beter dan bij het stomen van grond, waar allerlei fungiciden en insecticiden nodig zijn om de bodemziektes beheersbaar te houden: in het gronddoekgoten systeem zijn geen aanvullende fungiciden of insecticiden gebruikt (Raaphorst, 2015).



Figuur 20 Het stomen van een m² teeltoppervlak in een gronddoekgoten systeem vergt maar 1 m³gas per keer, in plaats van de 4-5 m³gas dat nodig is om een m² grond te stomen.

4.3 Intensivering van de extensieve teelten met Leeuwebek als voorbeeldgewas

Leeuwebek (*Antirrhinum*) wordt in Nederland gerekend onder de zomerbloemen. De teelt van Leeuwebek staat model voor een hele reeks gewassen die voldoende hebben aan een vorstvrije kasklimaat, zoals bij voorbeeld anemoon, ranonkel, helleborus, violen, pioen en primula's onder de sierteeltgewassen maar ook aan kasgroente als veldsla, radijs, peterselie, selderij, raapstelen en andijvie.

In 2009 werden 29 miljoen stuks via de Nederlandse veilingen verhandeld (ongeveer evenveel als *Cymbidium*, en ongeveer de helft van het aantal Pioen rozen). Leeuwebek werd toen verkocht met een middenprijs van 20 cent per tak. Van de 29 miljoen takken was maar 10% import, met een middenprijs van 18 cent (VBN statistieken 2009). De aanvoer is in de daaropvolgende jaren maar heel licht gestegen, tot 31 miljoen takken in 2013, en 32.5 miljoen in 2014. Ook de prijs is nauwelijks veranderd: € 0.19 gemiddeld in 2013 en 2014, en € 0.22 in 2015 (FloraHolland, pers. comm. 2015). Wat wel veranderd is, is het aandeel import: van 10% in 2009 naar ruim 20% in 2013-2015. De groei komt dus geheel uit de toename van de import.

Bedrijven die op dit moment Leeuwebek telen, doen dat in combinatie met een wintergewas, zoals bijvoorbeeld tulpen. Op deze manier wordt de arbeidsfilm goed over het jaar gespreid. Daarom worden niet veel eisen gesteld aan de kas waarin geteeld wordt. Het zijn veelal oude kassen, soms tweedehands aangeschaft, met een relatief lage lichttransmissie (60% of lager) en soms zonder schermen. Omdat de teelt in de warme periode van het jaar valt is de warmte-input desalniettemin klein.

Om meer jaarrond Antirrhinum in Nederland te telen, moet de teelt ook in de winter beter mogelijk gemaakt worden, en dat betekent intensiveren van de nu veelal "extensieve" teelt. Door de kas meer dan vorstvrij te houden en te belichten, kan de teeltduur verkort worden, waardoor het mogelijk wordt om meer plantcycli in een jaar te realiseren.

Uit gesprekken met de plantenleveranciers blijkt dat men niet verwacht dat er veel belangstelling is voor jaarrond teelten in de huidige categorie bedrijven die verschillende teelten combineren. Uitbreiding van het Leeuwebek areaal wordt meer verwacht uit een andere categorie bestaande bedrijven. Chrysantentelers bijvoorbeeld, die overwegen om gewassen als Campanula, Matthiola en ook Antirrhinum (Leeuwebek) te gaan kweken (pers. med. J. Noordam).

4.3.1 Praktijkervaring met jaarrondteelt in Nederland

Uiteraard is het mogelijk om Leeuwebekken in Nederland jaarrond te telen, en dat gebeurt ook mondjasmaat. (Vakblad voor de Bloemisterij, verschillende uitgaves). Dit blijkt ook uit de veiling statistieken: waar in de zomer 95% van de aanvoer van Nederlandse bodem komt, is dit in de winter maar 20 tot 30%. Telers bereiken deze productie zonder belichting en met minimale verwarming door in de winter met minder lichtbehoeftige soorten te werken. De teeltduur is dan wel heel lang, 140 tot 160 dagen afhankelijk van de cultivar. Dit is ongeveer 2.5 maal zo lang als een zomerse teeltcyclus die gemiddeld 66 dagen duurt. In de jaren 1990 tot 2000 werd door teler Van Klink (Buitenkaag) jaarrond Antirrhinum gekweekt met gebruik van assimilatielicht met een intensiteit van 4000 lux (ca. 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$) gedurende 12 tot 16 uur (ca. 2.5 Mol per dag). Er werd gebruik gemaakt van negatieve DIF (minimaal 3 graden warmer overdag dan 's nachts, en soms oplopend tot 7 graden verschil tussen dag en nacht) om een goede kwaliteit tak te krijgen bij deze lage lichtintensiteiten.

4.3.2 Ervaringen met lage intensiteit LED belichting bij Leeuwebek

Onderzoek in de praktijk in 2014 heeft laten zien dat dagverlenging met lage intensiteit LED-belichting (Philips productiemodules 94% rood / 6% blauw) met 5, 10 of 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ de teeltduur van verschillende zomerbloemen in de winter aanzienlijk kan verkorten. De toepassing van dagverlenging betekende dat de natuurlijke dan met een lage intensiteit belichting werd verlengd tot 17 uur. Overdag was de belichting uit, maar aan het eind van iedere dag werd de lage intensiteit belichting ingeschakeld. Het gewas had dus elke dag een natuurlijk begin van de dag, maar een kunstmatig verlengde avond.

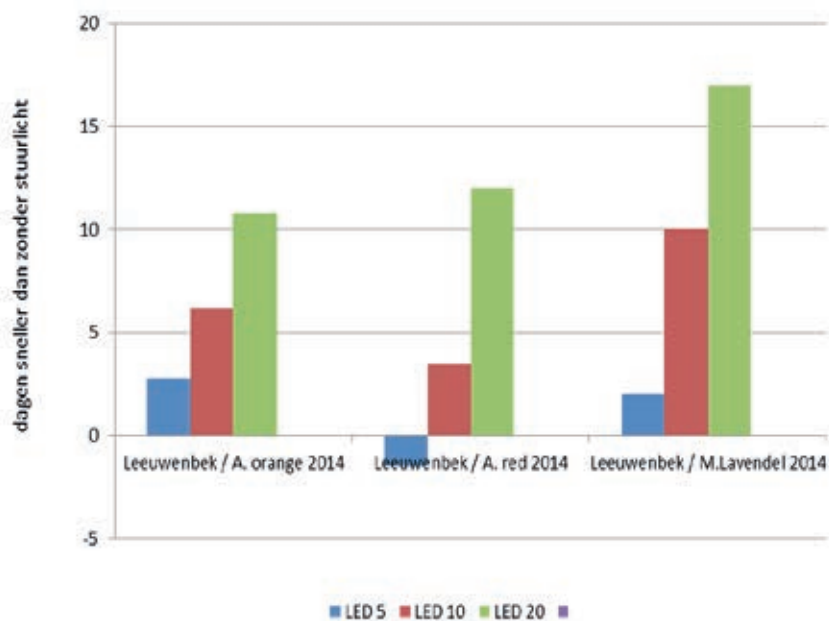
Bij Violieren was de versnelling spectaculair (ruim 3 weken) en evenredig aan de intensiteit van de belichting en dus ook van de hoeveelheid extra licht. Bij Leeuwebek (Figuur 21) werd de teeltduur met 3 tot 16 dagen verkort bij een planting op 11 november (v.d. Helm en Kromwijk, 2015).

Op basis van hoeveelheid natuurlijk licht in een gemiddelde winter en de belichtingsuren van de belichting is berekend dat de onbelichte teelt van planten tot oogsten 864 Mol licht heeft ontvangen. In de belichte teelt met 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ hadden de planten aan 728 Mol licht genoeg om in het oogstbare stadium te komen. Uitgaande van een plantdichtheid van 100 stengels per m^2 hebben de planten die niet belicht worden dan 8.6 Mol per tak nodig gehad, terwijl de planten die met 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ belicht werden slechts 7.3 Mol per tak nodig hadden. Bij de behandeling met 10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ lag de lichtbenuttingsefficiëntie rond de 7.9 Mol per tak.

De teeltversnelling is dus niet alleen uit de toename van de hoeveelheid beschikbaar licht voortgekomen.

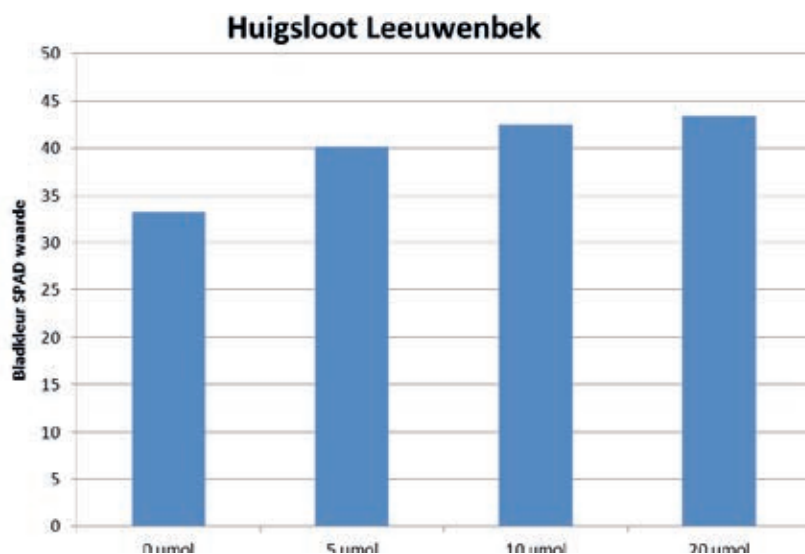
Kennelijk zijn de planten ook efficiënter met het beschikbare licht omgegaan. De donkerdere kleur van de bladeren (uitgedrukt in de SPAD-waarde in Figuur 22) onderstreept deze veronderstelling. Fotosynthesemetingen in winter 2014/2015 bij Violier bevestigden dat bladeren onder LED-belichting inderdaad efficiënter met licht om kunnen gaan (Sleegers, 2015). Het lage lichtcompensatiepunt van violier werd onder LED-belichting nog lager waardoor het gewas al bij hele lage lichtniveaus (< 10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$) assimilaten kan produceren. Bovendien werd er per eenheid PAR ook meer CO_2 opgenomen (Figuur 23). Daarnaast kan er ook nog sprake zijn van een stuurlicht effect (versnelling van de generatieve ontwikkeling).

Teeltverkorting ten opzichte van referentie zonder stuurlicht [dagen]

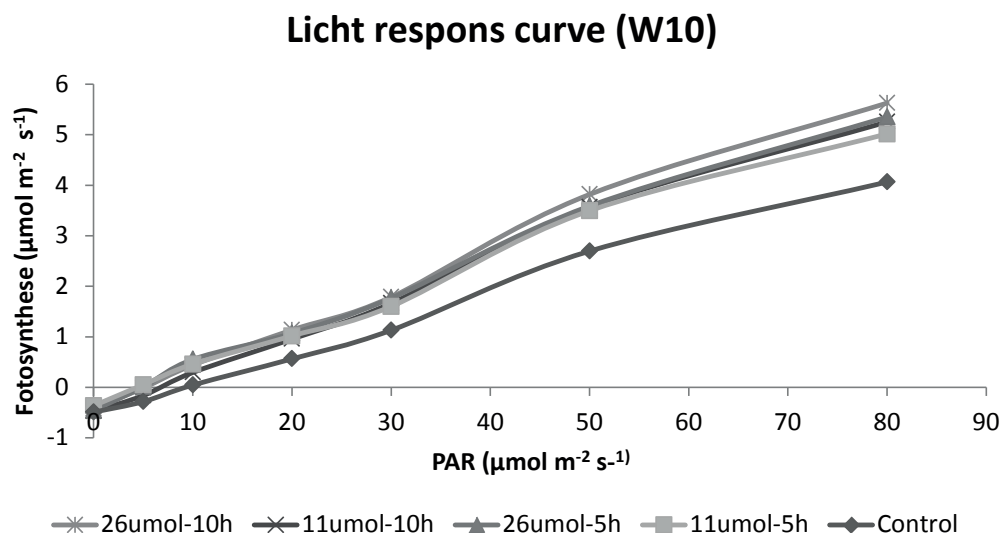


Figuur 21 Teeltversnelling door rood/blauw LED licht bij Leeuwenbek geplant op 11 november (van der Helm en Kromwijk, 2015).

Bladkleur SPAD waarde



Figuur 22 SPAD waarde (maat voor chlorofylgehalte in het blad) van Leeuwenbek? planten bij verschillende intensiteiten van de LED belichting (van der Helm en Kromwijk, 2015).



Figuur 23 Effect van 11 en 26 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ LED-belichting gedurende 10 uur aanvullend aan de dag (=10h) of als nachtonderbreking van 5 uur (=5h) op de fotosynthese in week 10-2015 bij violier geplant in week 51-2014 ten opzichte van een onbelichte controle.

4.3.3 Intensivering van de teelt met belichting

Gegeven het feit dat er een duidelijke groeiversnelling kan worden gerealiseerd bij de inzet van belichting kan het voor Leeuwebektelers aantrekkelijk maken om dit te gaan toepassen. De toepassing van belichting leidt echter tot een toename van het energieverbruik, zoals in paragraaf 4.1 al naar voren kwam.

Naar de toekomst toe kan echter verwacht worden dat een aanzienlijk hogere lichtomzetting-efficiëntie mogelijk is, dan de efficiëntie waarmee de voorgaande berekeningen zijn gemaakt. De nieuwste LED-systemen produceren al meer dan 2.5 $\mu\text{mol}/\text{J}$. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden die zulke efficiënte belichtingssystemen op kunnen leveren. Uitgangspunt is de belichtingsstrategie die in de vorige paragraaf is gebruikt bij de lage intensiteit LED belichting, maar om het werkgebied nog iets te verruimen worden de berekeningen gemaakt bij 10, 20 en 30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ en vergeleken met de referentie zonder belichting. Er wordt verondersteld dat de lichtbehoefte per tak in de situatie zonder belichting de eerder genoemde 8.6 Mol/tak bedraagt. Bij 10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ wordt een lichtbenuttingsefficiëntie van 7.9 Mol/tak gehanteerd. Bij 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ belichtingsintensiteit bleek de lichtbenuttingsefficiëntie 7.3 Mol per tak en bij 30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ belichtingsintensiteit wordt een lichtbenuttingsefficiëntie van 7 Mol per tak verondersteld. Er is hierin dus rekening gehouden met een afname van het effect van belichting op de lichtbenuttingsefficiëntie omdat de figuren 22 en 23 al iets van afnemende meeropbrengsten laten zien.

In het onderzoek met lage intensiteit LED-belichtingen zijn de behandelingen in dezelfde kas uitgevoerd bij gelijke kastemperatuur. Er was in dat geval dus geen temperatuurverhoging nodig om genoemde teeltversnellingen van 3 tot 16 dagen te realiseren (Figuur 21). In het algemeen heeft de teelt van een gewas behalve een bepaalde hoeveelheid licht echter ook een bepaalde temperatuursom nodig en zal voor het realiseren van een teeltversnelling ook de temperatuur omhoog moeten. Over de teeltperiode waarin de experimenten met LED-belichting zijn gedaan was de gemiddelde teelttemperatuur 7 °C, dus als de teeltduur een dag korter wordt, zou de gemiddelde temperatuur ongeveer $7/140 = 0.05$ °C omhoog moeten om het aantal graaddagen van een teelt gelijk te houden (uitgaande van een gemiddelde teeltduur van 140 dagen). Met de bovengenoemde gegevens is voor de drie typen kas en voor de verschillende belichtingsintensiteiten uitgerekend met hoeveel dagen de teelt kan worden bekort. In alle gevallen is uitgegaan van een plantdichtheid van 100 stengels per m^2 en van een plantdatum op 11 november.

Onderstaande tabel geeft het aantal teeltdagen per tak als functie van de verschillende kastypen en belichtingsintensiteiten en ook de verkorting van deze winterteelt die door de toegepaste lage intensiteit LED-belichting kan worden gerealiseerd.

Tabel 1

Berekende teeltduur en teeltverkorting (dagen) bij Leeuwebek in verschillende kastypen en bij verschillende belichtingsintensiteiten.

Kastype	Belichting	teeltduur	teeltverkorting
standaard	0	140	0
	10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	134	6
	20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	128	12
	30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	122	18
Zwaar geschermd	0	146	-6
	10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	137	3
	20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	132	8
	30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	125	15
Hoog-geïsoleerd	0	141	-1
	10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	135	5
	20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	129	11
	30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$	123	17

De tabel laat zien dat de isolerende kastypen een kleine achterstand hebben ten opzichte van de standaard kas, wat verklaard wordt door het feit dat de standaardkas geen scherm-installatie heeft. Natuurlijk is het hier een kwestie van de precieze vaststelling van de kasconfiguraties die bepalen wat de lichttransmissie is en dus de teeltduur. Hierbij is geen rekening gehouden met lagere lichttransmissie in de huidige veelal verouderde kassen in de praktijk.

De toegepaste LED-belichting heeft een hoog elektrisch rendement; 2.3 $\mu\text{mol}/\text{J}$. Het elektriciteitsverbruik waarmee deze teeltversnelling is gerealiseerd, is dan ook beperkt. De belichting met 10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ kost 9 kWh/m² extra ten opzichte van de standaard zonder belichting. De belichting met 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ kost 17 kWh/m² extra en de belichting met 30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ kost bij de genoemde lamp efficiëntie 25 kWh/m² extra. Uit deze getallen kan een vuistregel worden gedestilleerd, namelijk dat elke dag teeltversnelling ongeveer 1.5 kWh/m² aan elektriciteit voor de belichting kost. Bij verdere verbetering van de lampefficiëntie wordt dit getal evenredig kleiner.

In het experiment met de Leeuwebek was de lage intensiteit LED-belichting zonder temperatuurverhoging al voldoende voor bereiken van genoemde teeltversnellingen. Het energieverbruik nam in die proef dan dus alleen toe met bovengenoemde verbruik van de belichting.

Bij andere gewassen of in andere situaties zal het echter waarschijnlijk ook nodig zijn om extra energie toe te voegen voor het verwarmen van de kas als deze gemiddeld warmer moet zijn om de snellere ontwikkeling van het gewas mogelijk te maken. Met de regel dat elke dag teeltversnelling de gemiddelde etmaaltemperatuur gedurende de teeltperiode met 0.05 °C moet verhogen, blijkt dat voor de situaties met de hoogste lichtintensiteit de kas gemiddeld bijna 1 graad warmer zal moeten worden gehouden dan de standaard-kas. Gelukkig geeft de belichting vanzelf al een wat hogere temperatuur, maar de stook- en ventilatielijn lijn zal toch een beetje hoger moeten worden gelegd, naarmate er meer belichting wordt toegepast. Een hogere stooklijn leidt tot een grotere warmtevraag, maar de mate waarin de warmtevraag toeneemt hangt natuurlijk sterk samen met de isolatiegraad van de kas. Onderstaande tabel toont de toename van de gewenste teelttemperatuur, de extra hoeveelheid warmte die daarvoor nodig is en de extra hoeveelheid elektriciteit, aangenomen dat de warmte met een elektrische warmtepomp wordt geproduceerd.

Tabel 2

Berekende toename van de gewenste teelttemperatuur, de extra hoeveelheid warmte die daarvoor nodig is en de extra hoeveelheid elektriciteit, aangenomen dat de warmte met een elektrische warmtepomp wordt geproduceerd in verschillende kastypen en bij verschillende belichtingsintensiteiten.

Kastype	Belichting	Extra temp	Extra warmte [MJ/m ²]	Extra stroom WP [kWh/m ²]
standaard	0			-
	10 µmol/(m ² s)	0.3	21.1	2.0
	20 µmol/(m ² s)	0.6	47.4	4.4
	30 µmol/(m ² s)	0.9	65.7	6.1
Zwaar geschermd	0	0	0	0
	10 µmol/(m ² s)	0.1	7.2	0.7
	20 µmol/(m ² s)	0.4	19.0	1.8
	30 µmol/(m ² s)	0.7	33.4	3.1
Hoog-geïsoleerd	0	0	0	0
	10 µmol/(m ² s)	0.2	6.6	0.6
	20 µmol/(m ² s)	0.5	16.2	1.5
	30 µmol/(m ² s)	0.8	23.3	2.2

De tabel laat duidelijk zien dat naarmate de kas beter geïsoleerd is, het effect van een toename van de gewenste temperatuur in termen van extra stroomverbruik voor de warmtepomp kleiner wordt.

De tabel laat ook zien dat daar waar het extra stroomverbruik voor de warmtepomp in een standaardkas ongeveer een kwart is van het extra stroomverbruik voor de belichting dit bij de beter geïsoleerde en hoog geïsoleerde kas op minder dan 10% uitkomt. Voor die kassen geldt dus nog sterker dan voor de standaard-kas dat vanuit energetisch oogpunt de aandacht vooral naar de belichting moet gaan en de temperatuur-aspecten die daar bij komen van ondergeschikt belang zijn.

Wanneer het extra energieverbruik voor verwarming ook wordt uitgedrukt per dag teeltverkorting in de winter dan levert dit voor een standaardkas een richtgetal van 0.25 kWh voor de extra verwarming door middel van een warmtepomp per dag teeltverkorting op. Voor een hoog-geïsoleerde kas daalt dit verbruik naar 0.1 kWh per dag teeltverkorting. Ook hier wordt weer het grote verschil zichtbaar tussen het energieverbruik voor belichting en het energieverbruik voor verwarming.

4.4 Hogere lichttransmissie van kassen in relatie tot belichting

In het voorgaande is de lichtbeschikbaarheid in de winterperiode verhoogd middels kunstmatige LED-belichting. Vanuit het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron en door de toeleverende industrie wordt er echter ook hard gewerkt aan de verhoging van de lichttransmissie van de kas.

De verwachting is dat door een combinatie van innovaties in de kasconstructie, scherm- en kasdekmaterialen de lichttransmissie van de kas nog met zo'n 10 procent kan oplopen. Dit betekent dat waar een goede productiekas nu rond de 70% lichtdoorlatendheid heeft, kassen in de nabije toekomst misschien wel 80% lichttransmissie zullen hebben.

Als we ons beperken tot het buitenlicht in de periode van 1 september tot 1 april (de belichtingsperiode) in een gemiddeld Nederlands jaar dan betekent zo'n verhoging van 70% naar 80% lichttransmissie dat er in de winterperiode 250 mol extra PAR-licht per m² zou binnen vallen¹. Uitgaande van een lamp-efficiëntie van 2.3 µmol/J levert het verbeteren van de kastransmissie met 10%-punten dus evenveel licht als bij gebruik van 30 kWh/m² elektriciteit voor LED-belichting. Daar waar de teeltversnelling vooral voortkomt uit de toename van de lichtsom die aan het gewas wordt toegediend kan dus worden gesteld dat elke procent-punt verhoging van de lichttransmissie van de kas, bij gelijkblijvende lichtsom in de kas, 3 kWh per m² per jaar aan belichtingsenergie bespaart. Bij gebruik van SON-T als belichtingssysteem is de besparing zelfs 4 kWh/m² per jaar.

Het gemaakte voorbehoud 'bij gelijkblijvende lichtsom' betekent in hier dat wanneer de lichttransmissie van een kas van 70% naar 80% zou gaan, het geïnstalleerd belichtingsvermogen wordt teruggebracht van bijvoorbeeld 200 µmol/(m² s) naar 160 µmol/(m² s).

¹ In Nederland wordt er gemiddeld 8400 mol PAR licht per m² door de zon gegeven, waarvan er 30% in de periode van 1 september tot 1 april valt. In de winter gaat het dus om 2530 mol PAR-licht. Het extra licht door een verhoging van de kas-transmissie van 70 naar 80% levert dus $(0.8 - 0.7) \times 2530 = 253 \text{ mol/m}^2$ extra PAR-licht

5 Conclusies

Uit de modelberekeningen naar de mogelijkheden energiebesparingen te bereiken door het gebruik van hoog-isolerende kassen, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De huidige warmtevraag bij de gekozen extensieve teelten bedraagt in een gemiddeld Nederlands jaar 4 m^3 aardgas per m^2 per jaar bij Leeuwebek, $8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ bij sla en $13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ bij Aardbei.
- Wanneer deze in een hoog-geïsoleerde kas worden gekweekt zoals de Venlow energykas daalt naar bijna 0 bij Leeuwebek en bij Aardbei naar $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$. Sla ligt hier tussenin.
- Bij Aardbei daalt de warmtevraag naarmate er meer wordt belicht; bij Leeuwebek en Sla niet of slechts weinig. Dit komt doordat in de Aardbeienteelt de stookmomenten veel vaker samenvallen met de belichting en omdat er in de teelt hogere belichtingsintensiteiten worden gebruikt.
- Het energieverbruik voor verwarming en belichting is bij deze drie voorbeeld-teelten vrijwel onafhankelijk van elkaar.
- Voor de extensieve teelten hangt het totale energieverbruik meer af van de belichtingsintensiteit dan van het kastype. Het stroomverbruik voor de belichting is daar overheersend.
- Voor deze extensieve teelten is de verzameling van laagwaardige warmte als warmtebron voor een warmtepomp geen probleem. Zelfs in een standaardkas vraagt een Aarbeienteelt minder dan 350 MJ aan laagwaardige warmte per m^2 per jaar. Dit is gemakkelijk te betrekken uit omgevingswarmte (kanaal, meer) of te verzamelen uit zomerse warmteoverschotten met warmtewisselaars of thermische zonnepanelen. Bij gebruik van een warmtepomp kan de Aardbei in een standaard kas met 38 kWh elektriciteit per m^2 per jaar worden verwarmd. Door isolatie kan daar maximaal 20 kWh per m^2 per jaar worden bespaard, onafhankelijk van de intensiteit van de belichting. Bij de kouder geteelde teelten zijn de verbruiksniveaus en besparingen uiteraard een stuk kleiner.

Vijf extra m^3 aardgas per m^2 per jaar kunnen worden bespaard bij de Leeuwebek en soms sla door de bodem anders dan met stoom te ontsmetten. Er zijn tenminste drie energiezuinige alternatieven: Biologische Grondontsmetting (BGO), geozoniseerd water en substraatteelt in gronddoekgoten.

- Biologische Ontsmetting is beproefd en de zuinigste, met een gasgebruik van 0 m^3 per m^2 . Gedurende 3 weken in de zomer moet een perceel daarbij onbeteeld blijven, wat de inpasbaarheid beperkt.
- Gronddoekgoten vragen 1.5 m^3 gas/ m^2 voor ontsmetting en een investering van 30 tot 50 euro per m^2 . Op termijn levert dit systeem, los van de grond, vele additionele voordelen op.
- Het gebruik van geozoniseerd water (methode Agrozono) vraagt weinig elektriciteit en zou goed inpasbaar zijn, maar is in Nederland nog niet beproefd.

Intensivering van de teelt van leeuwebek (*Antirrhinum*) is mogelijk door belichting te gebruiken en de kas meer dan "vorstvrij" te houden. De teeltduur kan dan worden verkort zodat meer plantcycli per jaar mogelijk zijn. Uit de simulatieberekeningen zijn de volgende conclusies getrokken:

- Een onbelichte *Antirrhinum* vraagt 8.6 Mol licht per tak.
- Aanvullend aan de dag belichten met een lage intensiteit van $20 \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ verkort de teelt met 12 dagen en verhoogt de lichtefficiëntie zodat er 7.3 Mol per tak nodig is.
- Bij een lichtopbrengst van $2.3 \text{ } \mu\text{mol}/\text{J}$ (LED), kost één dag teeltversnelling in de winter ca. $1.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ aan elektriciteit.
- Bij de hoogst gesimuleerde lichtintensiteit ($30 \text{ } \mu\text{mol}$) is de gewenste kastemperatuur ca. 1 graad hoger om de temperatuur som in de kortere teeltperiode gelijk te houden aan de temperatuursom in de onbelichte winterse teeltperiode. In een standaardkas neemt de warmtevraag dan met $66 \text{ MJ}/\text{m}^2$ toe. In een hoog geïsoleerde kas kost dezelfde temperatuurverhoging slechts $23 \text{ MJ}/\text{m}^2$.
- Als de warmte met een elektrische warmtepomp wordt geproduceerd varieert het extra stroomverbruik voor de verwarming tussen de 6 en 2 kWh/ m^2 eveneens afhankelijk van de isolatiegraad van de kas. Omgerekend naar het extra verbruik per dag teeltverkorting betekent dit 0.25 en 0.1 kWh per dag teeltversnelling. Dit extra stroomverbruik voor de verwarming is dus klein ten opzichte van het extra stroomverbruik door de belichting.
- In het algemeen, en zeker voor een hoog geïsoleerde kas is de belichting bepalend voor het totale energieverbruik; de ermee gepaarde warmtevraag is daaraan ondergeschikt.

Gegeven de grote impact van belichting op het energieverbruik is het voor de verduurzaming van kassen van groot belang de hoeveelheid natuurlijk licht in de kas te vergroten. Het blijkt dat voor het realiseren van een gelijke lichtsom over de winterperiode (van september tot april), een kas die een 10 procent-punten hogere lichttransmissie heeft met $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ minder belichting uit kan. Dit levert een besparing van $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ op indien wordt uitgegaan van belichting met LEDs en zelfs $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ wanneer van SON-T wordt uitgegaan.

Literatuur

Agrozono dossier, 2015.

Desinfección de suelos de cultivo mediante Ozono (O3).

Anonymous.

Grower Facts, Cut Flower Snadragon. Teeltbrochure PanAmerican Seed.

Dings, E., 2015.

Kruisbestuiving over belichting. Presentatie op Light Event, 9 december 2015.

Garcia Victoria, N., van der Helm, F., Streminska, M., en Roelofs, T., 2015.

Doorontwikkeling biologische grondontsmetting (bodemresetten) als alternatief voor stomen.

Demonstratieproeven op 4 bedrijven en kasproef bij Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, GTB-1342.

Van der Helm, F., Eveleens, B., Janse, J., Wang, J.F., en Van Leeuwen, F., 2014.

Arenasessie gronddoekgoten, ontwikkeling en ervaringen. Presentatie Arenasessie juni 2014.

Van der Helm, F. en Kromwijk, A., 2015.

Praktijkonderzoek naar effect van stuurlicht op vroegheid en kwaliteit. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, GTB-1348.

Kromwijk, A., en Gorbe Sánchez, E., 2015.

Verklaring teeltversnelling zomerbloemen door lage intensiteit LED belichting. GTB- (*In voorbereiding*).

Lier, A. van; Ludeking, D.J.W. (2012).

Bol zeil geen garantie goed stoomresultaat (interview met Daniel Ludeking), *Vakblad voor de Bloemisterij* 67 (13). - p. 28 – 29

Ludeking D.J.W, Termorshuizen, A., Wubben, J., Van der Wurff, A., Streminska, M, van der Helm, F., 2013.

Biologische grondontsmetting met 'Herbie' ('Bodemresetten') als alternatief voor stomen. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, GTB-1272.

Raaphorst, M., 2015.

Het Nieuwe Telen Lisiantus. Evaluatie na 5 teelten. Presentatie. Maart 2015.

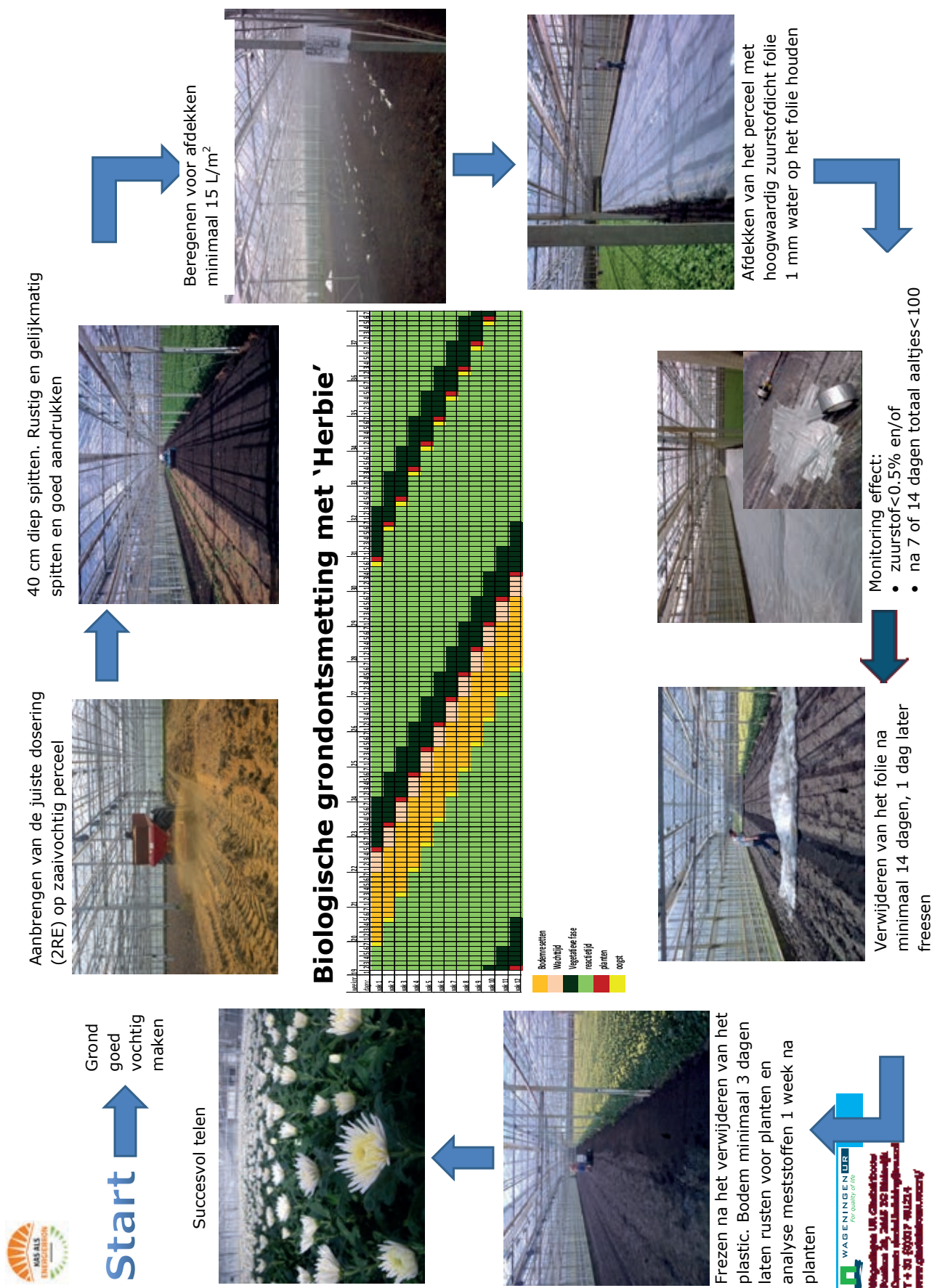
Raaphorst, M., Eveleens, B., Grootsholten, M., van Baar, P.H., 2015.

Lisianthus op gronddoekgoten met eb/vloed. Poster Wageningen UR Glastuinbouw ter gelegenheid van Kennisdag Water, juni 2015.

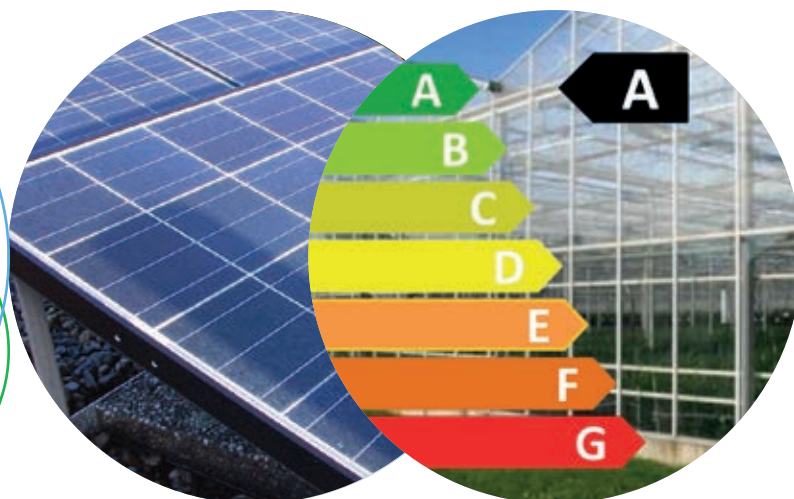
Sleegers, J., 2015.

Ledlicht werkt positief, maar rendeert nog niet. Lage intensiteit belichting in zomerbloemen onderzocht. *Vakblad voor de Bloemisterij* 46 (2015), pag. 30-31.

Bijlage 1 Uitvoeringsprotocol BGO



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



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1396

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.