



Energie in kengetallen: zoek naar een nieuwe balans

T. Dueck, A. Elings, F. Kempkes, P. Knies, N. van de Braak, N. Garcia, G. Heij, J. Janse, R. Kaarsemaker, P. Korsten, R. Maaswinkel, M. Ruijs, C. Reijnders & R. van der Meer





Energie in kengetallen: zoek naar een nieuwe balans

T. Dueck¹, A. Elings¹, F. Kempkes², P. Knies², N. van de Braak², N. Garcia³, G. Heij³, J. Janse³, R. Kaarsemaker³, P. Korsten³, R. Maaswinkel³, M. Ruijs⁴, C. Reijnders⁴ & R. van der Meer⁴

¹ Plant Research International

² Agrotechnology & Food Innovations

³ Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Naaldwijk

⁴ Landbouw Economisch Instituut

Gefinancierd door:



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**

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.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Materiaal & methoden	7
2.1 Keus van de gewassen	7
2.2 Energiebesparende maatregelen	7
2.3 Werkwijze	8
2.3.1 Doorrekenen van referentieteelten: kasconstructie, kasklimaat, teeltwijze en productie	8
2.3.2 Doorrekenen van referentieteelten: bedrijfseconomie	9
2.3.3 Consequenties van energiebesparende maatregelen	10
2.3.4 Visualisatie van energiebesparende maatregelen	11
2.3.5 Berekening energie-quotiënt	12
3. Effect van de maatregelen per gewas	13
3.1 Tomaat	13
3.2 Komkommer	15
3.3 Chrysant	18
3.4 Roos	21
3.5 Sla	23
3.6 Ficus	25
3.7 Freesia	27
3.8 Spatiphyllum	29
4. Effect van de maatregelen per maatregel	31
5. Conclusies	37

Voorwoord

In het Convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI-convenant) heeft de glastuinbouwsector zich met betrekking tot het aspect energie ten doel gesteld om in 2010 de energie-efficiëntie met 65% te verbeteren ten opzichte van 1980. In 2002 is de sectordoelstelling vertaald naar bedrijfstaakstellingen in het Besluit Glastuinbouw (AMvB-normen voor energie). Hoewel het formeel niet in het GLAMI-convenant is opgenomen, wordt door het efficiënter omgaan met energie en het terugbrengen van het aandeel fossiele energiebronnen ook een reductie van de CO₂-emissie door de glastuinbouw nagestreefd.

Energieonderzoek moet leiden tot praktisch toepasbare technieken, materialen en werkmethoden, waarmee de doelstellingen van de Nederlandse tuinder voor energiereductie te realiseren zijn. Om deze doelen te bereiken, moeten energiebesparende maatregelen in de glastuinbouw worden toegepast.

Om een goede en snelle inschatting te kunnen maken van de mogelijkheden van energiebesparing in de glastuinbouw is een helder overzicht van de belangrijkste energiestromen in de kas nodig. Dit overzicht moet eenvoudig gestructureerd zijn en per energiestroom aangeven in welke mate verandering van een energiestroom gevolgen heeft voor het totale energieverbruik. Partiële kennis met betrekking tot individuele energiestromen is meestal wel beschikbaar in de praktijk of bij onderzoekinstellingen, maar de stappen tot kennisintegratie en -vereenvoudiging zijn niet gezet. Deze stappen zijn nodig om bovengenoemde inschatting op een verantwoorde en effectieve wijze te kunnen maken.

Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw (PT nummer 11286) gezamenlijk door Plant Research International (PRI), Agrotechnology en Food Innovations (A&F), Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO), en het Landbouw Economisch Instituut (LEI) een studie verricht naar energiestromen in de kas. Daarbij zijn de gevolgen van een aantal te nemen energiebesparende maatregelen voor gasverbruik, gewasproductie, kwaliteit en bedrijfseconomie berekend.

Samenvatting

Kennis van energiestromen in een kas is van belang omdat deze een directe invloed hebben op het kasklimaat en de condities voor optimale fotosynthese en groei, en uiteindelijk de productie. Energiebesparende maatregelen kunnen veranderingen in energiestromen in een kas teweeg brengen. Om de mogelijkheden van energiebesparende maatregelen in kaart te brengen is een eenvoudig, helder overzicht nodig van de belangrijkste energiestromen.

De belangrijkste binnenkomende energiestromen in de kas zijn de zon, het verwarmingssysteem en warmte afkomstig van de verbrandingsgassen uit de ketel bij dosering van CO₂. Energie verlaat de kas weer als warmte en straling via de bodem, de gevel, het kasdek en als geproduceerd gewas, een vrucht, snijbloem of potplant. De gasverbruikskosten worden vooral bepaald door de kosten van het verwarmingssysteem en de CO₂-productie. Bij benadering zijn deze kosten ongeveer 20% van de totale productiekosten. Dat betekent dat 1% verschil in productie ongeveer overeenkomt met 5% verschil in energie.

Dit project is uitgevoerd om de mogelijkheden van energiebesparing in te kunnen schatten. Daarbij is het van belang dat de energiekosten in verhouding blijven met de productiekosten. De berekeningen werden uitgevoerd voor acht verschillende teelten, die het volledige spectrum van Nederlandse kasgewassen vertegenwoordigen en zijn gekozen op basis van hun energiebehoefte. Er is uitgegaan van referentieteelten voor deze gewassen, bepaald in termen van kasconstructie, klimaatregeling, teeltwijze en bedrijfseconomische situatie zoals dit bij toptelers het geval is. De productie en energiestromen werden doorgerekend waarna de energiestromen overzichtelijk zijn weergegeven. Vervolgens werden de gevolgen van energiebesparende maatregelen voor de verschillende energiestromen, de productie, de kwaliteit en de bedrijfseconomische aspecten berekend ten opzichte van de referentieteelten. Dit project is vooral bedoeld om kwantitatief inzicht te verschaffen in mogelijkheden van energiebesparing. In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Door toepassing van een aantal energiebesparende maatregelen is een relatief grote besparing in het gasverbruik te realiseren. Een verbeterde isolatie van het kasdek leidt tot ca. 25% minder gasverbruik. Maar deze maatregel heeft alleen bij roos en ficus een positief effect op productie en economisch resultaat. Bij de overige gewassen heeft deze maatregel een negatief effect op productie en economisch resultaat. Verlaging van het temperatuur-setpoint met 2 °C resulteert in een gemiddelde gasbesparing van 14%. Maar zowel productie als kwaliteit worden overwegend negatief beïnvloed door deze maatregel, waardoor het bedrijfseconomisch resultaat ook negatief uitvalt. Uitzonderingen zijn chrysant en freesia met een verhoogde productie van respectievelijk 9% en 5%, resulterend in een positief economisch resultaat. Door het toepassen van de maatregelen 'verhoging RV-setpoint', 'verhoging lichtintensiteit' en 'schermkierregeling' kan een gasbesparing van 7-8% gerealiseerd worden. Bij verhoging van het RV-setpoint zijn de gevolgen voor de productie wisselend, negatief bij freesia en positief voor roos en ficus. Productie bij freesia wordt ook negatief beïnvloed door het toepassen van de schermkierregeling met als gevolg een toename van *Botrytis*. Het bedrijfseconomisch resultaat is voor de onderzochte gewassen overwegend positief, behalve voor freesia en komkommer.

Voor belichte teelten neemt de productie toe bij verhoging van de lichtintensiteit. Als gevolg nemen de elektriciteitskosten toe, maar het gasverbruik neemt af. Uiteindelijk leidt dit tot een negatief effect op het bedrijfseconomisch resultaat.

Toepassen van 24- en 72-uurs temperatuurintegratie leidt tot minder gasverbruik; de besparing is echter kleiner dan bij bovengenoemde maatregelen. Het effect van temperatuurintegratie op productie, kwaliteit en bedrijfseconomie is wisselend.

Vier van de maatregelen resulteren in een negatief effect voor wat betreft gasbesparing, t.w. 'luchtvochtigheidsregeling op dauwpunt', 'verdubbeling PAR-rendement van de lampen', 'verhoging van de buffercapaciteit' en 'kasdekkoeling'. Bij de gekozen regeling 'luchtvochtigheidsregeling op dauwpunt' varieert het van positief tot negatief m.b.t.

gasbesparing, productie, kwaliteit en bedrijfseconomie. Een anders gekozen luchtvochtigheidsregeling zou mogelijk wel effectief geweest zijn.

Een verdubbeling van het PAR-rendement van de lampen leidt tot 2-6% meer gasverbruik bij chrysant, Spatiphyllum en roos, maar behalve bij Spatiphyllum, ook tot een productieverhoging. Deze maatregel leidt tot een positief bedrijfseconomisch resultaat voor alle belichte gewassen.

Verhoging van de buffercapaciteit werkt niet gasbesparend en de effecten op productie en productkwaliteit zijn wisselend, zodat deze maatregel bedrijfseconomisch gezien overwegend negatief uitpakt, m.u.v. tomaat. Kasdekkoeling leidt als enige maatregel consequent tot een verhoging van het gasverbruik. Het effect op productie en kwaliteit is wisselend, en leidt tot een negatief economisch resultaat, behalve bij sla en chrysant, die gebaat zijn bij kasdekkoeling.

Deze onderzoeksresultaten geven enig inzicht in de gevolgen van energiebesparende maatregelen voor productie, kwaliteit en bedrijfseconomische aspecten. Telers kunnen hieruit voor hun specifieke gewas en omstandigheden de meest perspectiefvolle energiebesparende maatregelen kiezen, waarbij zij de gevolgen voor productie, kwaliteit en bedrijfseconomie tegen elkaar kunnen afwegen.

1. Inleiding

Veranderingen in energiestromen door energiebesparende maatregelen kunnen consequenties hebben voor de teelt. Energiestromen beïnvloeden het kasklimaat direct en daarmee de condities voor optimale fotosynthese en groei, wat gevolgen heeft voor de productie. Sub-optimale groeicondities kunnen leiden tot een verminderde productkwaliteit. De hieraan verbonden economische kosten en baten zijn niet op een soortgelijke wijze beschikbaar. Het leveren van bedrijfseconomische kengetallen kan de beoordeling van de maatregelen op de korte en lange termijn ondersteunen.

Het project 'Energiebalans in kengetallen' is uitgevoerd om de mogelijkheden van energiebesparingen in te kunnen schatten. Hiervoor worden de energiestromen en de gevolgen van energiebesparende maatregelen voor het totale energieverbruik aangegeven. Deze berekeningen worden uitgevoerd voor acht verschillende teelten. De gewassen vertegenwoordigen het volledige spectrum van Nederlandse kasgewassen en zijn gekozen op basis van hun energiebehoefte.

Eerst werden de referentieteelten bepaald in termen van kasconstructie, klimaatregeling, teeltwijze en bedrijfs-economische situatie, zoals dit bij toptelers het geval is. Voor deze referentieteelten werden vervolgens de productie en de energiestromen doorgerekend. De energiestromen zijn overzichtelijk gemaakt in toegankelijke schema's met kengetallen. De gevolgen van energiebesparende maatregelen voor de energiestromen, voor productie, kwaliteit en bedrijfseconomische aspecten werden vervolgens berekend in relatie tot de referentieteelt. De veranderingen in energiestromen en productie als gevolg van energiebesparende maatregelen zijn samengevat in overzichtelijke schema's.

Hiermee kan een tuinder de consequenties van een te nemen maatregel inschatten voor zijn situatie, en vervolgens een afweging maken voor het wel of niet toepassen van die maatregel.

Voor u liggen de bevindingen van dit project. Een uitgebreide rapportage van de berekeningen en resultaten, in de vorm van tabellen en figuren, zijn weergegeven in een bijbehorend basisdocument (Dueck *et al.*, 2004)¹. Daarin wordt ingegaan op de gevolgen van de energiebesparende maatregelen voor de teelt van alle acht gewassen in termen van kasklimaat, groei en productie, productkwaliteit en bedrijfseconomie.

¹ Dueck *et al.*, 2004. Energie in kengetallen: zoek naar een nieuwe balans. Basisdocument. Plant Research International, Nota 312.

2. Materiaal & methoden

2.1 Keus van de gewassen

Acht gewassen zijn gekozen op basis van hun verschillende karakteristieken ten aanzien van energiebehoefte en op basis van een redelijke vertegenwoordiging van het volledige spectrum van Nederlandse kasgewassen. De gewassen met algemene karakteristieken die beschouwd worden zijn:

1. sla - koud geteelde vollegrondsgroente;
2. ficus - niet-bloeiende potplant;
3. Spatiphyllum - bloeiende potplant;
4. freesia - snijbloem, koude grond;
5. belichte chrysant - energievragende snijbloem, korte teelt;
6. belichte roos - energievragende, meerjarige snijbloem;
7. komkommer - energievragend groentegewas, korte teelt;
8. tomaat - energievragend groentegewas, lange teelt.

Hiermee wordt beoogd een breed overzicht te geven van de Nederlandse kasteelt, met dien verstande dat er combinaties van energiekenmerken en gewasgroepen zullen bestaan die hier niet zijn onderzocht.

2.2 Energiebesparende maatregelen

Energiebronnen die beschouwd worden zijn de zon en de verwarmingssystemen, waarbij uitgegaan wordt van een buisverwarmingssysteem waarin een ondernet en een bovennet worden onderscheiden. Er is een aantal energiebesparende maatregelen te bedenken. Met de projectgroep is een dertiental maatregelen bedacht die naar alle waarschijnlijkheid een (positieve) invloed op het energieverbruik in de kasbouw kunnen hebben.

De consequenties van deze energiebesparende maatregelen voor energieverbruik, gewasproductie, gewaskwaliteit en economisch perspectief zijn onderzocht.

De energiebesparende maatregelen² die beschouwd worden zijn:

1. Verlagen van het temperatuursetpoint van de kaslucht met 2 °C.
2. Temperatuurintegratie met een bandbreedte tot 2 °C en integratieperiode van 24 uur. De gemiddelde etmaaltemperatuur wordt gelijk gehouden.
3. Verhogen van het RV-setpoint met 5%. In de praktijk is het gebruikelijke setpoint voor groente 85% en voor potplanten 90%.
4. Verhoging van de intensiteit van de belichting van 10 naar 20 W PAR m⁻² (van 3750 naar 7500 lux).
5. Inbrengen van een luchtvochtigheidsregeling bij 1.5 °C verschil tussen de dauwpunttemperatuur van de kaslucht en de gewasstemperatuur. Deze regeling vervangt de luchtvochtigheidsregeling op RV.
6. Inbrengen van een schermkierregeling op RV-overschrijding met wachttijden en maximale opening van 4%. Daarbij is het criterium voor schermopening een temperatuurverschil boven en onder de scherm. Er wordt op bladtemperatuur geregeld en mocht het onvoldoende helpen na 30 min, dan wordt het scherm helemaal open gezet.
7. Verdubbeling van het PAR-rendement van de lampen voor de teelten chrysant en roos. Energie-afgifte van hogedruk natriumlampen in de kas bestaat voor 25% PAR, 25% NIR en 50% voelbare energie (warmte). Verdubbeling van het PAR leidt tot een nieuwe verdeling van het licht: 50% PAR, 25% NIR en 25% voelbare energie, maar het geïnstalleerde lampvermogen blijft gelijk aan de referentie.

² Een losse pagina waarin de energiebesparende maatregelen staan uitgelegd is bijgevoegd als referentie bij het lezen van het rapport.

8. Verhogen van de capaciteit van de warmtebuffer met een factor 1,5, en evenredig verhogen van de CO₂-doseercapaciteit. Voor tomaat, komkommer en chrysant betekent dit een warmtebuffer van 180 m³, voor roos, ficus en Spatiphyllum 120 m³, en voor freesia 90 m³. CO₂ wordt niet bij sla gedoseerd.
9. Verlagen van de plantverdamping met 10% door een (rekenkundige) aanpassing van plantkarakteristieken, zoals stomataire weerstand en de grenslaagweerstand voor water.
10. Temperatuurintegratie met een bandbreedte van 2 °C en integratieperiode van 72 uur. De gemiddelde etmaaltemperatuur wordt gelijk gehouden.
11. Toepassing van een kasdek met een 10% hogere isolatiewaarde en gelijke transmissie voor globale straling door toepassing van een dubbel dek.
12. Toepassing van een kasdek met 10% hogere lichtdoorlatendheid (globale straling), bij gelijke isolatiewaarde. Dit wordt bereikt door glas-coating toe te passen waardoor minder licht gereflecteerd wordt.
13. Toepassing van kaskoeling in de vorm van een dakbevoeiingssysteem. Uitgangspunt is dat de lichtinstraling in de kas gelijk blijft en dat het dek eerst door water wordt gekoeld (waardoor de ramen dicht kunnen blijven en de CO₂-concentratie gehandhaafd wordt), en als het dan alsnog te warm wordt gaan de ramen open.

2.3 Werkwijze

2.3.1 Doorrekenen van referentieteelten: kasconstructie, kasklimaat, teeltwijze en productie

De referentieteelt werd per gewas bepaald in termen van kasconstructie, klimaatregeling, teeltwijze en bedrijfs-economische situatie zoals deze bij toptelers het geval is (zie overzicht hieronder). Met behulp van KASPRO werden simulaties uitgevoerd om **op jaarbasis** de energiestromen op kasniveau en het totale energieverbruik in kaart te brengen.

Overzicht van condities voor de referentieteelten. Klimaatgegevens zijn als setpoints gegeven.

	Tomaat	Komkommer	Chrysant	Roos	Sla	Ficus	Freesia	Spatiphyllum
<i>Kas</i>								
areaal (m ²)	40500	40500	40500	40500	40500	40500	40500	40500
goothoogte	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
kapbreedte (m)	4	4	4	4	4	4	4	4
kapmaat (m)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
verwarming	buis	buis	buis	buis	hete-lucht	vloer + buis	buis	vloer + buis
Schermbelichting (W m ²)*	energie	energie	verduistering	energie	geen	energie	schaduw	energie
<i>Klimaat</i>								
d/n temp sp (°C)**	19/16,5	22/17	18,5/21,5	19/18	11/7	21/21	8/7	22/20,5
RV sp (%)	85	85	87-90	85	95	90	87	88
CO ₂ sp (ppm)	1000	650	900	1000	300	500	600	500
<i>Teelt</i>								
aantal jaar ¹	1	3	5,4	4	6	3	1	2,5

* lampvermogen; ** maximale spreiding

Per energiestroom en per gewas werd de hoeveelheid energie beschreven die de kas inkomt, de hoeveelheid energie die gebruikt werd voor verhoging van de luchttemperatuur en de wijze waarop de energie de kas verlaat, verdeeld over het dek, de gevel en de bodem van de kas.

Met behulp van het gewasgroei-model INTKAM werden simulaties uitgevoerd om de energiestromen op gewasniveau in kaart te brengen. Per energiestroom en per gewas werd de hoeveelheid energie beschreven die door het gewas wordt opgevangen en verdeeld over fotosynthese (groei), verhoging van bladtemperatuur en verdamping. Dit werd modelmatig uitgevoerd voor de gewassen tomaat, komkommer, roos en chrysant. Waarden voor de andere gewassen werden geschat op basis van literatuur, bestaande experimenten, praktijkgegevens of extrapolaties.

2.3.2 Doorrekenen van referentieteelten: bedrijfseconomie

Op basis van bestaande gegevens werden productieniveaus en kwaliteitsklassen beschreven. Vervolgens werd de referentieteelt per gewas bepaald in termen van de bedrijfseconomische situatie zoals deze bij toptelers bestaat. Een bedrijfseconomische basisberekening van de energiekosten werd uitgevoerd met de geldelijke opbrengsten op de korte termijn.

Het is illustratief om de gasverbruiken van de referentieteelt te vergelijken met de AMvB-normen voor energie in 2003 en 2010. Dit maakt duidelijk waar het referentiebedrijf staat. (De ongecorrigeerde AMvB-normen zijn vermeld in het Handboek Milieumaatregelen Glastuinbouw, Projectbureau Glami, 2000)³.

De bedrijfseconomische beoordeling betreft een partiële kosten-baten analyse, waarbij alleen de opbrengsten en de kostensoorten zijn uitgewerkt, die aan energie(besparende maatregelen) zijn gekoppeld en/of aan de productie zijn gerelateerd. De volgende kostensoorten worden onderscheiden: gaskosten, elektriciteitskosten, arbeidskosten, afzetkosten, overige teeltkosten en jaarkosten van investeringen, waarna de opbrengsten en kosten voor de referentiesituatie werden weergegeven.

In de kosten-baten-analyse worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- algemene uitgangspunten
 - een modern en zeer goed geleid bedrijf ('top'bedrijf)
 - bedrijfsomvang: 4 ha glas
 - prijspeil 2002, tenzij anders is aangegeven
- uitgangspunten m.b.t. het energie en productieaspect
 - kasconstructie, klimaatbeheersing en teeltwijze
 - resultaten uit modelberekeningen voor gasverbruik en productie

De kostensoorten zijn als volgt bepaald:

1. Productie en opbrengsten

Om de opbrengsten van de referentieteelt te bepalen is van de volgende gegevens uitgegaan:

- productie in kg per periode uit modelberekeningen met INTKAM of productieschattingen;
- productprijzen per kg uit Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw 2001-2002 (KWIN 2001; teeltcode G58)⁴. De kiloprijzen zijn het gewogen gemiddelde over drie jaren (1998-2000).

2. Gaskosten

Ter bepaling van de gaskosten wordt uitgegaan van het Commodity Diensten Systeem (CDS), zoals dat in 2002 (door Westland Energie Services) werd gehanteerd voor de zogenaamde 'vrije' klanten. Voor de berekening van de gaskosten volgens het CDS zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- bedrijf van 4 ha;
- hoge commodityprijs 15,93 Ect m³ (Velden, 2002; Interne notitie brandstofprijzen). In een gevoeligheidsanalyse zal een lage prijsmaatregel worden gehanteerd (7,34 Ect m³);
- gemiddelde netbeheerderskosten 1,36 Ect m³ (Velden, 2002, Interne notitie brandstofprijzen);
- locatie Westland: afstand tot Noordbroek = 200 km en tot entrypoint = 75 km;
- gasvolume voor 4 ha = 1.795.679 m³ (modeluitkomst KASPRO);
- maximale gasafname per uur = 199 m³ uur⁻¹ ha⁻¹ (modeluitkomsten KASPRO);
- meest recente tarieven. van Gasunie (Gasuniesite) en van WES (overzicht aardgascontracten vrije markt op PT-site).

In de berekening van de gaskosten volgens het CDS zijn de opties incidentele capaciteit en uurflexibiliteit buiten beschouwing gelaten.

³ Handboek Milieumaatregelen Glastuinbouw. Projectbureau Glami. 2000.

⁴ KWIN, 2001. Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw. PBG.

3. Elektriciteitskosten

Voor de gewassen chrysanthe, roos, freesia en Spatiphyllum zijn kosten in rekening gebracht voor elektriciteit. Het elektriciteitsverbruik op jaarbasis per uur is door het model INTKAM berekend. Bij groeilicht is er vanuit gegaan, dat elektriciteit wordt betrokken uit het net en niet zelf op de bedrijven wordt opgewekt met een wk-installatie.

De kosten worden vervolgens bepaald door uit te gaan van onderstaande vergelijkingen:

- Kosten kWh tijdens plateau-uren: $Y_{\text{plateau}} = 0.051 * X_{\text{plateau}} + 171.95$
- Kosten kWh tijdens daluren: $Y_{\text{dal}} = 0.017 * X_{\text{dal}} + 171.95$

De netkosten en kosten voor de REB worden bepaald door:

- Jaarverbruik tot 100.000 kWh: $Y_{\text{netreb}} = 2.2501(X_{\text{totaal}})^{0.6645}$
- Jaarverbruik vanaf 100.000 kWh: $Y_{\text{netreb}} = 0.0322 X_{\text{totaal}} + 1677.8$
- Totale kosten: $Y_{\text{plateau}} + Y_{\text{dal}} + Y_{\text{netreb}}$

4. Arbeidskosten

De teeltgebonden arbeid en de algemene arbeid voor de referentieteelt is afgeleid van KWIN 2001-2002.

5. Afzetkosten

De afzetkosten zijn gerelateerd aan de productie en bestaan uit fust en verpakking en veilingkosten. De kosten voor fust en verpakking zijn gekoppeld aan de productie en bedragen 0,01 cent per kg product. De veilingkosten bedragen 2,75% van de omzet (= opbrengst). Daarnaast is er een post rente omlopend vermogen, die op 1% van de omzet is gesteld.

6. Jaarkosten investeringen

De bedrijfsopzet en bedrijfsuitrusting behorende bij de referentieteelt resulteert in een totaal investeringsbedrag en kosten voor afschrijving, onderhoud en rente. Deze bedragen zijn hier niet vermeld.

Bij de beoordeling van de energiebesparende maatregelen zal gekeken worden naar het verschil in jaarkosten, die samenhangen met een investering. Bij de bepaling van de jaarkosten wordt uitgegaan van de investeringsbedragen in een nieuwbouwsituatie. De investering kan hierbij betrekking hebben op een vervanging van een bestaand bedrijfsmiddel, een aanpassing of een compleet nieuw bedrijfsmiddel.

2.3.3 Consequenties van energiebesparende maatregelen

Per gewas en per energiebesparende maatregel werd het volgende bepaald:

1. De consequenties voor het totale energieverbruik en voor de verdeling over de energiestromen.
2. De consequenties voor de gewasproductie in termen van kwantiteit. Voor de gewassen tomaat, komkommer, roos en chrysanthe werd hiervoor het gewasgroeimodel INTKAM gebruikt. Voor de andere gewassen werd gebruik gemaakt van literatuur, bestaande experimenten, praktijkgegevens of extrapolaties.
3. De consequenties voor de gewasproductie in termen van kwaliteit. Er bestaat onvoldoende kwantitatieve kennis om kwaliteitsaspecten goed te kunnen modelleren, zodat er gebruik werd gemaakt van literatuur, bestaande experimenten of praktijkgegevens. Daar waar kwantitatieve gegevens niet bestaan werden gevolgen voor kwaliteit uitsluitend uitgedrukt in beschrijvende termen.
4. De bedrijfseconomische perspectieven op de lange termijn. Naast de korte-termijn basisberekening werd in een gevoeligheidsanalyse nagegaan wat de effecten zijn van gewijzigde uitgangspunten t.a.v. energiebesparing, fysieke productie, productkwaliteit, investeringen en exploitatiekosten voor de bedrijfseconomische beoordeling van de energiebesparende maatregelen in het licht van de lange-termijn ontwikkelingen.

Er is geen aandacht besteed aan de interacties van energiebesparende maatregelen. In beperkte mate wordt dit ondervangen in het project 'Software energiebesparing op maat', waarin de interactie tussen een aantal maatregelen (maar met minder maatregelen dan in 'Energiebalans') door de tuinder berekend kan worden.

2.3.4 Visualisatie van energiebesparende maatregelen

De energiestromen voor de referentieteelt en voor alle energiebesparende maatregelen werden bepaald voor elk gewas. De energiestromen werden per gewas voor de referentieteelt en voor de gevolgen van een aantal maatregelen schematisch weergegeven in een 'model-kas'. Een voorbeeld van een dergelijke schematische weergave voor tomaat wordt gegeven in Fig. 1. Daarin zijn de energiestromen weergegeven met pijltjes in en uit de kas met de bijbehorende hoeveelheden energie ($\text{MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$).

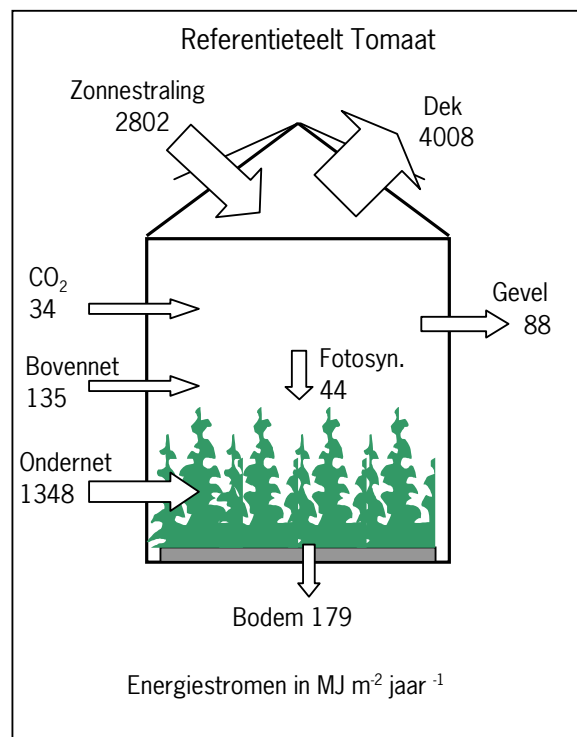
Energie de kas in

Er is een aantal energiebronnen dat voor de beschikbare energie in de kas zorgt, nl. de zon, het verwarmingssysteem en de voelbare en latente warmte die wordt binnengebracht met de verbrandingsgassen uit de ketel bij het doseren van CO_2 . Energiestromen zijn uitgedrukt in de hoeveelheid energie per jaar per vierkante meter kas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$).

Energie tussenstations

De binnengekomen energie wordt benut door verschillende tussenstations alvorens deze de kas weer verlaat, b.v. voor de gewasverdamping en verhoging van de blad- en kasluchttemperatuur.

Een ander, niet onbelangrijk deel van de binnenkomende energie wordt opgenomen en vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Licht wordt door het gewas onderschept en levert de energie die nodig is voor de omzetting van CO_2 tot suikers. De hoeveelheid gevormde suikers wordt verdeeld over de diverse plantorganen.



Figuur 1. Schematische weergave van de energiestromen in de kas met de referentieteelt tomaat als voorbeeld (32 MJ komt overeen met 1 m^3 gasverbruik).

Energie de kas uit

Alle aan de kas toegevoerde energie zal in een evenwichtssituatie ook de kas weer verlaten. Dit gebeurt via de bodem, de gevel, het kasdek, of als gewasproduct (fotosynthese). In de verliezen via het kasdek en de gevel zijn ook begrepen de voelbare en latente warmte die door de ventilatie door kieren en door de ramen wordt meegevoerd.

2.3.5 Berekening energie-quotiënt

Om een indruk te krijgen van de betekenis van deze energiebesparende maatregelen in relatie tot de productie voor deze acht gewassen is een energie-quotient (EQ) berekend. Een EQ voor ieder gewas werd berekend door het gasverbruik m³ te delen door de gewasproductie in eenheid product (kg, aantal geproduceerde takken of teeltduur). Deze berekening is uitgevoerd voor zowel de referentieteelten als voor de gevolgen van alle 13 maatregelen bij deze gewassen. De EQ-referentie t.o.v. de EQ-maatregel geeft aan of de maatregel een positieve dan wel negatieve invloed heeft op de hoeveelheid energie (gas) die wordt gebruikt t.o.v. de opbrengst. De resultaten ervan zijn hieronder weergegeven. Wanneer de EQ-referentie groter is dan de EQ-maatregel, betekent het dat er minder gas wordt gebruikt per kg product, terwijl een kleinere EQ-referentie t.o.v. de EQ-maatregel aangeeft dat er meer gas wordt gebruikt per kg product in vergelijking met de referentieteelte. De tabel hieronder geeft in procenten het relatieve verschil in EQ-referentie t.o.v. de EQ-maatregel aan.

Energie-quotiënten van de referentieteelten ten opzichte van de energie-quotiënten van 13 maatregelen (in %) voor acht gewassen. Een positief getal geeft aan dat er meer geproduceerd is per eenheid energieverbruik.

Maatregel	Tomaat	Komkommer	Chrysant	Roos	Sla	Ficus	Freesia	Spatiphyllum
Temperatuurverlaging (-2°C)	13	5	19	0	33	7	11	-16
Temperatuurintegratie 24 uur	4	3	10	4	34	4	5	0
Verhoging RV (5%)	6	5	7	14	0	4	15	5
Verdubbeling lichtintensiteit	nvt	nvt	19	12	nvt	nvt	17	12
RV-regeling op dauwpunt	3	2	-2	0	-2	-2	0	0
Schermkierregeling	6	3	8	12	17	6	-10	3
Verdubbeling PAR-rendement	nvt	nvt	4	-3	nvt	nvt	10	3
Buffercapaciteit	-1	-2	-2	-1	nvt	0	1	0
Verlaging plantverdamping	2	4	2	3	1	1	2	2
Temperatuurintegratie 72 uur	4	2	9	5	33	4	7	0
Isolatie kasdek	20	21	16	23	47	29	19	20
Verhoogde transmissie kasdek	8	9	6	5	11	10	3	2
Kasdek-koeling	-3	-3	0	-5	2	-2	-2	-3

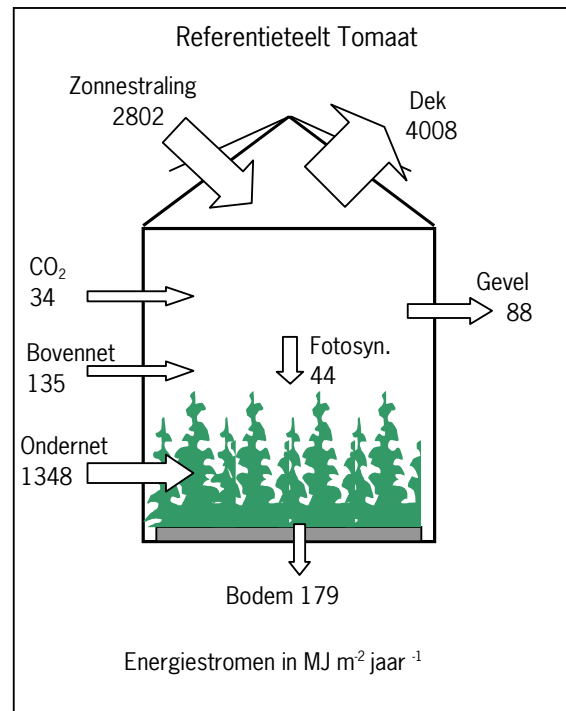
Van de onderzochte maatregelen worden alleen die maatregelen bij ieder gewas besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De energie-quotiënten voor gasverbruik en opbrengst zijn berekend voor een heel jaar, en zijn derhalve robuuste berekeningen. Echter, daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler.

3. Effect van de maatregelen per gewas

3.1 Tomaat

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor zijn tomatenteelt ruim $45 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ gas per jaar, wat overeenkomt met bijna $1500 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 1500 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het onder- en bovennet en tijdens het doseren van CO_2 . Een deel van de zonne-energie (72 MJ) wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daarvoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (bijna 4000 MJ), waarvan ruim 2100 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (180 MJ) en de gevel (90 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Temperatuur. Bij een temperatuurverlaging van $2 \text{ }^\circ\text{C}$ hoeft er uiteraard minder gestookt te worden, wat tot een besparing op het gasverbruik leidt van ruim 15% op jaarbasis. Vooral aan het begin van de teelt gaat de productie achteruit omdat de gewasontwikkeling (bladoppervlak) en afsplitting van bladeren en trossen worden vertraagd. Ook de kans op krimpscheuren (kwaliteitverlies) en Botrytis (productieverlies) wordt verhoogd, zodat de teler hiervoor extra waakzaam moet zijn.

Temperatuurintegratie van 24 of 72 uur resulteert in vermindering van het gasverbruik met 10% (m.n. in het voorjaar) en een productieverhoging van 4% omdat er minder vaak gelucht hoeft te worden. Door minder te luchten stijgt de

CO₂-concentratie, vooral in het voorjaar. In de overige seizoenen leidt toepassing van temperatuurintegratie tot een energiebesparing variërend van 2-6%.

Maatregelen m.b.t. temperatuur die in het voorjaar met gezond verstand worden toegepast kunnen wel degelijk resulteren in een substantiële energiebesparing zonder negatieve consequenties voor de opbrengst.

Vocht. Verschillende maatregelen m.b.t. vocht leiden tot energiebesparingen tot 6%, vooral in de eerste helft van het jaar. De productie van tomaat neemt door het toepassen van deze maatregelen licht af (minder dan 0,5%), Het effect op de productkwaliteit kan echter verschillen. Bij een continue verhoging van het RV-setpoint met 5% wordt de kans op Botrytis-infectie met 5% verhoogd waardoor, zonder extra voorzorgsmaatregelen, de productie met 5% kan worden verlaagd. Het voordeel van minder gasverbruik wordt anders teniet gedaan door de kwaliteitsvermindering. Bij een regeling van de luchtvochtigheid op basis van een minimum verschil van 1,5 °C tussen de dauwpunttemperatuur van de kaslucht en de gewastemperatuur om condens (en ziektes) te voorkomen, blijft de productie gelijk. In de eerste twee kwartalen wordt er 6-8% minder gas verbruikt, wat resulteert in een positief bedrijfseconomisch resultaat. Hieruit blijkt dat regeling op dauwpunt goede mogelijkheden biedt voor energiebesparing.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m³ gasverbruik/kg tomaat), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteel) voor tomaat.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	13	15.5	-3.3
2 °C temp.integratie 24h	4	4.4	-0.7
2 °C temp.integratie 72h	4	4.4	-0.8
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	6	5.5	-0.1
Regeling op dauwpunt	3	3.3	-0.2
Scherm			
Proportionele schermkierregeling	6	5.7	-0.3
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	20	22.7	-2.9
Verhoogde lichtdoorlatendheid	8	2.2	6.3

Scherm. Een proportionele schermkierregeling in stappen t.o.v. regeling op 85% RV in de eerste helft van het jaar levert een energiebesparing op van 8%. Zonder extra voorzorgsmaatregelen kan dit echter gepaard gaan met een productievermindering van minder dan 0,5% als gevolg van krimpscheuren en Botrytis. Door toepassing van voorzorgsmaatregelen zijn er in de eerste helft van het jaar wel mogelijkheden tot energiebesparing.

Kasdek. Het isoleren van het kasdek lijkt op voorhand een goede maatregel om energie te besparen. Denk hierbij aan het nieuwe 'zig-zag' kasdek materiaal dat, naar verwachting, isoleert zonder een noemenswaardige reductie in lichttransmissie. Gedurende het jaar, m.u.v. de zomerperiode, wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek met 10% zelfs 22-27% minder gas verbruikt, afhankelijk van het seizoen. In de zomerperiode is een besparing van 14% mogelijk. Door minder stoken wordt de CO₂ concentratie in de kas echter lager, waardoor fotosynthese en vruchtproductie met 3% dalen. In de winter neemt de kans op Botrytis en scheuren van de vruchten toe door een verhoogde luchtvochtigheid. Beide nadelen zouden deels voorkomen kunnen worden door vaker te luchten, maar dat gaat dan weer ten koste van de energiebesparing. Gezien het feit dat een dergelijk kasdek een hoge investering vraagt is deze maatregel bedrijfseconomisch gezien niet het meest voor de hand liggend.

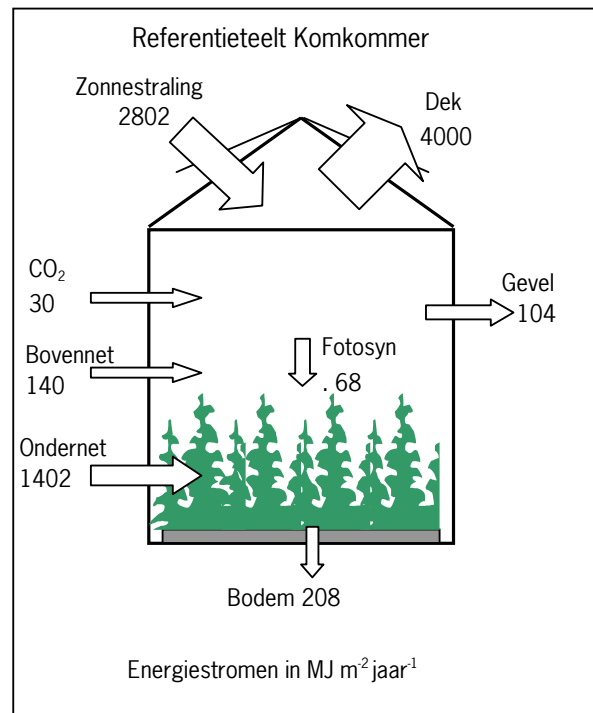
Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. Bij een 10% hogere lichtdoorlatendheid (dus meer zonne-energie) hoeft minder gestookt te worden om de temperatuur te handhaven. De productie van tomaat neemt daardoor in het voorjaar toe met 9%, tegen 6% gedurende de rest van het jaar. Verhoging van de lichtdoorlatendheid kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdek materiaal.

3.2 Komkommer

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor zijn komkommers met drie teelten per jaar ruim $47 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ gas, wat overeenkomt met bijna $1500 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 1500 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het onder- en bovennet en tijdens het doseren van CO_2 .

Een deel van de zonne-energie (68 MJ) wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (4000 MJ), waarvan bijna 2000 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (210 MJ) en de gevel (100 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst komkommer. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Temperatuur. Bij een temperatuurverlaging van $2 \text{ }^\circ\text{C}$ hoeft er uiteraard minder gestookt te worden, wat tot een besparing op het gasverbruik leidt van bijna 14% op jaarbasis. Dit resulteert in een voordelige EQ van 5% t.o.v. de referentieteelt. Maar aan het begin van de teelt gaat de productie achteruit omdat de gewasontwikkeling (bladoppervlak), afsplitting van bladeren en de gewasfotosynthese worden vertraagd. Een verlaging van het temperatuursetpoint leidt tot sterkere vruchtbeginsels waardoor er meer stek en kleinere vruchten worden ontwikkeld. De uitgroei wordt trager, maar de vruchten krijgen een betere kleur. Er is meer kans op schimmelziektes. Netto betekent dit geen effect op de kwaliteit.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m³ gasverbruik/kg komkommer), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor komkommer.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	5	13.7	-9.2
2 °C temp. integratie 24h	3	3.4	-0.7
2 °C temp. integratie 72h	2	8.1	1.4
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	5	7.0	-2.2
Regeling op dauwpunt	2	1.7	0.2
Verhoging plantverdamping	4	2.1	2.0
Scherm			
Proportionele schermkierregeling	3	5.5	-2.0
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	21	21.6	-0.8
Verhoogde lichtdoorlatendheid	9	2.3	7.6

Temperatuurintegratie van 24 of 72 uur resulteert ook in vermindering van het gasverbruik met 3% (m.n. in het voorjaar), maar een productieverlaging van 1-2% door een lichte daling van de bruto-fotosynthese. Indien er een grotere variatie in temperatuur en RV optreedt, leidt dit tot condensatie en toename van de kans op Botrytis en Mycosphaerella. Het gevolg daarvan kan 1% productieverlies zijn door niet verkoopbaar komkommers.

Indien deze maatregelen m.b.t. temperatuur in het voorjaar met de nodige voorzorg worden toegepast, kunnen ze resulteren in een substantiële energiebesparing zonder negatieve consequenties voor de opbrengst.

Vocht. Verschillende maatregelen m.b.t. vocht leiden tot energiebesparingen tot 7%. De productie van komkommer neemt door het toepassen van deze maatregelen af met 2%. Het effect op de productkwaliteit kan echter verschillen. Bij een continue verhoging van het RV-setpoint met 5% wordt 1% kwaliteitsverlies geschat door vrucht- verkleuring in het voor- en najaar. Verlaging van de plantverdamping met 10% resulteert in een productie-toename van 3%, maar alleen in de zomer, en dat gaat gepaard met een kwaliteitsverlies van de vruchten van 1%. Bij een regeling van de luchtvochtigheid op basis van een minimum verschil van 1,5 °C tussen de dauwpunttemperatuur van de kaslucht en de gewastemperatuur om condens (en ziektes) te voorkomen, hoeven minder vruchten weggegooid te worden, wat productiewinst betekent. Hieruit blijkt dat regeling op dauwpunt goede mogelijkheden biedt voor energiebesparing.

Scherm. Ten opzichte van een situatie zonder scherm leidt toepassing van een energiescherm tot een reductie van het energieverbruik. Een proportionele schermkierregeling levert een energiebesparing op van 6% in vergelijking met een situatie met scherm zoals dat gebruikelijk is bij komkommer. Dat gaat echter gepaard met een productievermindering in najaar en winter van minder dan 3%, en al is dat zonder kwaliteitsverlies, het biedt bedrijfseconomisch gezien geen voordeel.

Kasdek. Het isoleren van het kasdek lijkt op voorhand en met een energie-quotiënt van 21% t.o.v. de referentieteelt een goede maatregel om energie te besparen. Denk hierbij aan het nieuwe 'zig-zag' kasdek materiaal dat naar verwachting isoleert zonder een noemenswaardig reductie in lichttransmissie. Gedurende het jaar, m.u.v. de zomerperiode, wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek met 10% zelfs 20-25% minder gas verbruikt, afhankelijk van het seizoen. In de zomerperiode is een besparing van 13% mogelijk. Door minder stoken wordt de CO₂-concentratie in de kas echter lager, waardoor fotosynthese en vruchtproductie met 2-4% dalen in najaar en winter. Door stijging van temperatuur en RV worden de vruchten lichter van kleur (3% kwaliteitsverlies). Dit zou deels voorkomen kunnen worden door vaker te luchten, maar dat gaat dan weer ten koste van de energiebesparing. Gezien het feit dat een dergelijk kasdek een hoge investering vraagt, is deze maatregel bedrijfseconomisch gezien niet het meest voor de hand liggend.

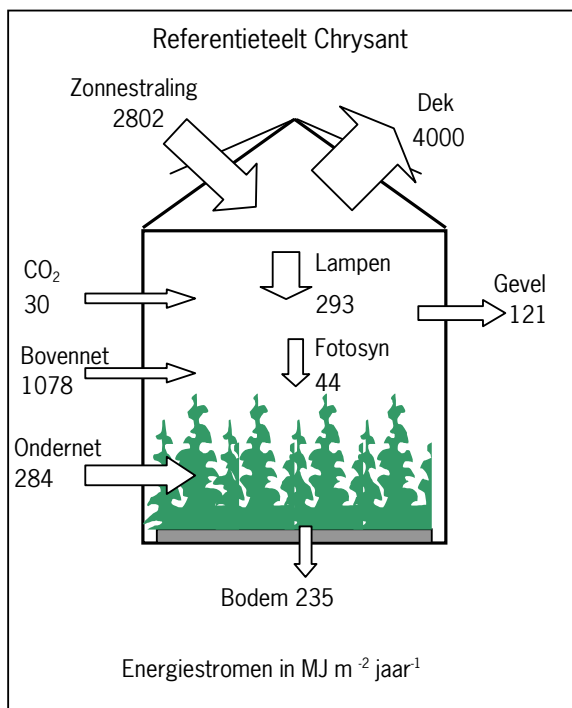
Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. Bij een 10% hogere lichtdoorlatendheid (dus meer zonne-energie) hoeft er 2% minder gestookt te worden om de temperatuur te handhaven. De productie van komkommer neemt daardoor in het na- en voorjaar toe met 10%, en verder met 4% in de winter. Verhoging van de lichtdoorlatendheid kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdekmateriaal.

3.3 Chrysant

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstoekt voor drie chrysantenteelten per jaar $42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gas, wat overeenkomt met $1350 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 1350 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het onder- en bovennet en tijdens het doseren van CO_2 . Assimilatielampen in de kas leveren nog eens 300 MJ. Een deel van de zonne-energie (44 MJ) wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (bijna 4000 MJ), waarvan ruim 2100 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas.

Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (240 MJ) en de gevel (120 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteel; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Temperatuur. Bij een temperatuurverlaging van $2 \text{ }^\circ\text{C}$ en gebruik van assimilatiebelichting hoeft er uiteraard minder gestookt te worden, wat tot een besparing op het gasverbruik leidt van ruim 11% op jaarbasis. Ondanks het feit dat in het begin van elke teelt de ontwikkelingssnelheid van het gewas wordt vertraagd, blijkt dat chrysant tot een 6% hogere productie komt in het voorjaar, terwijl het in de winter schommelt rond die van de referentieteel. De kwaliteit in de winter wordt minder door ongelijkheid (weggroei van de stek), maar de bloemkwaliteit wordt beter in de zomer door de lagere temperatuur. Aangezien de winterkwaliteit bepalend is voor de prijsvorming, zullen de consequenties voor de kwaliteit op jaarbasis negatief zijn.

Temperatuurintegratie van 24 of 72 uur resulteert ook in vermindering van het gasverbruik met 8% (m.n. in het voorjaar) en de versgewichtproductie en het aantal takken neemt toe met 1-2%. Tijdens temperatuurintegratie hoeft er minder vaak gelucht te worden, waardoor de CO_2 -concentratie stijgt, vooral in het voorjaar. De kans op natslaan

van het gewas wordt groter met roestinfectie als gevolg, waardoor de kwaliteit zal verminderen als er onvoldoende wordt gelucht. Maatregelen m.b.t. temperatuur die in het voorjaar met de nodige voorzichtigheid worden toegepast, kunnen resulteren in een substantiële energiebesparing zonder negatieve consequenties voor de opbrengst.

Licht. Zowel verdubbeling van de lichtintensiteit of verdubbeling van het PAR-rendement bij chrysanthe hebben een positieve invloed op de energie-quotiënt. In de winter leiden ze tot gemiddeld 10% minder gasverbruik met een sterke stijging in de productie van 20-30%. Deze stijging vindt voornamelijk plaats in het 1^e kwartaal en in mindere mate in het 4^e kwartaal. In de 2^e en 3^e kwartalen wordt assimilatiebelichting niet ingezet, maar toch is de productie in de 3^e kwartaal bijna 5-8% hoger t.o.v. de referentieteelt, wat lijkt op een 'carry-over' effect van de belichting. De kwaliteit (meer bloemen per tak en betere bloemkleur) wordt ook sterk verbeterd door hogere lichtintensiteiten. Omdat beide maatregelen om extra investeringen vragen, zijn deze maatregelen in economisch opzicht onvoordelig.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m³ gasverbruik/kg chrysanthe), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor chrysanthe.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	19	11.5	9.3
2 °C temp. integratie 24h	10	8.4	1.7
2 °C temp. integratie 72h	9	8.1	1.4
Licht			
Verdubbeling lichtintensiteit	19	10.3	11.0
Verdubbeling PAR-rendement	4	-1.9	6.4
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	7	5.7	1.0
Verlaging plantverdamping	2	1.7	-0.4
Schermb			
Verduisteringscherm	8	7.4	0.6
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	16	20.0	-4.8
Verhoogde lichtdoorlatendheid	6	1.4	4.9

Vocht. Bij een continue verhoging van het RV-setpoint met 5% wordt het gasverbruik verminderd (11%) met een productiestijging (3%), vooral in het voorjaar. In het najaar zijn de voordelen van deze maatregel niet of nauwelijks aanwezig en de kans op roest neemt toe, wat zeer nadelig is voor de kwaliteit. Mocht deze maatregel zonder meer toegepast worden, dan wordt een vermindering van de kwaliteit op 25% geschat. Bij verlaging van de plantverdamping daalt de luchtvochtigheid en wordt 2% minder gas verbruikt, terwijl de productie licht stijgt in de zomer. Ook bij deze maatregel kan de kwaliteit afnemen door weggroei in het voorjaar en toename van spintaantasting, maar wanneer beide maatregelen met zorg worden toegepast, zijn er energiebesparingen mogelijk.

Schermb. Gebruik van een scherm bij chrysanthe levert een energiebesparing op van 8%. Dat gaat gepaard met een kleine toename van de productie (0,5%) wat resulteert in een verbetering van de energie-quotiënt met 8% verbetering t.o.v. de referentieteelt. De kwaliteit wordt nadelig beïnvloed als gevolg van een verhoogde RV, wat roestbesmetting bevordert. Als deze maatregel wordt toegepast in perioden met een lage RV, kan het energie besparen.

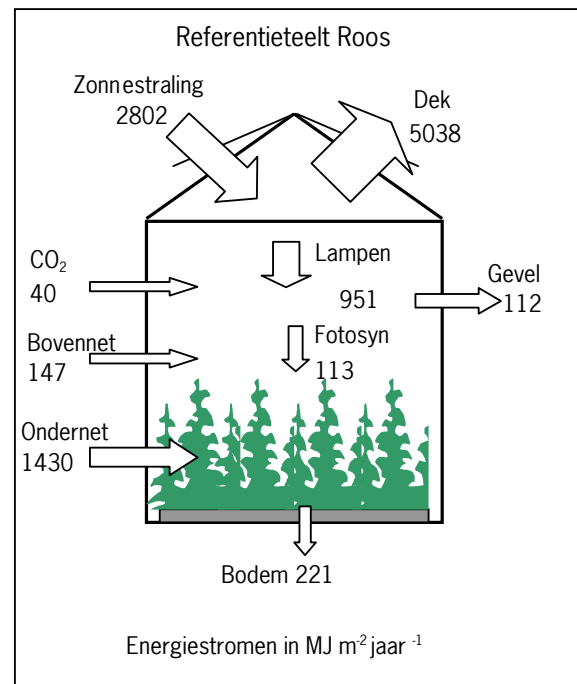
Kasdek. Het isoleren van het kasdek lijkt op voorhand een goede maatregel om energie te besparen, vooral als niet tot een reductie in de lichttransmissie leidt. In het winterseizoen wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek met 10% 16-19% minder gas verbruikt. In het voorjaar en de zomerperiode is een besparing van 14% mogelijk. Door minder stoken wordt de CO₂-concentratie in de kas echter lager, waardoor fotosynthese en productie met 6% dalen. Gezien het feit dat een dergelijk kasdek een hoge investering vraagt is deze maatregel bedrijfseconomisch gezien niet het meest voor de hand liggend.

Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. De productie van chrysant neemt daardoor in winter en voorjaar toe met 7%, tegen 5% gedurende de rest van het jaar. Verhoging van de lichtdoorlatendheid kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdekmateriaal.

3.4 Roos

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor zijn rozenteelt bijna $48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gas per jaar, wat overeenkomt met $1500 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 1600 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het onder- en bovennet en tijdens het doseren van CO_2 . Assimilatielampen in de kas leveren nog eens 950 MJ. Een deel van de zonne-energie (115 MJ) wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (ruim 5000 MJ), waarvan ruim 2500 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (220 MJ) en de gevel (110 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteeht; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Temperatuur. Temperatuurintegratie van 24 of 72 uur resulteert ook in vermindering van het gasverbruik met 6% omdat er minder vaak gelucht hoeft te worden. Door minder te luchten stijgt de CO_2 -concentratie, vooral in het voorjaar, terwijl juist in het voorjaar de productie met ruim 5% wordt verhoogd, in tegenstelling tot de overige seizoenen. Toepassing van temperatuurintegratie in het voorjaar met enige voorzichtigheid, kan resulteren in zowel een substantiële energiebesparing als in verhoging van de opbrengst.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m^3 gasverbruik/rozentak), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor roos.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
2 °C temp. integratie 24h	4	5.6	-0.8
2 °C temp. integratie 72h	5	6.1	-0.7
Licht			
Verdubbeling lichtintensiteit	12	7.9	5.8
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	14	12.1	3.0
Verlaging plantverdamping	3	2.9	1.4
Scherm			
Proportionele schermkierregeling	12	10.6	2.6
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	23	19.0	5.9
Verhoogde lichtdoorlatendheid	5	-1.0	5.1

Licht. Verdubbeling van de lichtintensiteit bij roos heeft een positieve invloed op de energie-quotiënt. In de winter wordt er 20% minder gas verbruikt en de productie stijgt met 14%, wat resulteert in een productiestijging van 5% op jaarbasis. In de 2^e en 3^e kwartalen wordt assimilatiebelichting niet ingezet, maar toch is de productie in de 3^e kwartaal bijna 8% hoger t.o.v. de referentieteelt, wat lijkt op een 'carry-over' effect van de belichting. Omdat de kosten van extra assimilatielampen zijn niet meegenomen in de berekening, is deze maatregel in economisch opzicht onvoordelig.

Vocht. Verhoging van het RV-setpoint met 5% leidt tot een vermindering van het gasverbruik van 12% op jaarbasis, met een productieverhoging van 6-7% in de eerste helft van het jaar. Verlaging van de plantverdamping resulteert in een vergelijkbaar effect in dezelfde seizoenen, zij het dat de energie-quotiënt lager is. De berekeningen laten een mindere verhoging van de RV zien dan de ingestelde 5%, waardoor de gevolgen voor de kwaliteit niet groot zullen zijn. Mocht de RV wel hoger worden, dan heeft dat negatieve consequenties voor de houdbaarheid van roos. Dezelfde waarschuwing geldt bij verlaging van de plantverdamping, maar wanneer deze maatregelen worden toegepast met gezond verstand, zijn er perspectieven voor energiebesparing.

Scherm. Een proportionele schermkierregeling in stappen t.o.v. regeling op 85% RV levert een energiebesparing op van 11% op jaarbasis en 20% in de winter. Dat gaat gepaard met een productieverhoging van 7% in winter en voorjaar als gevolg van een grotere hoeveelheid onderschept licht. Een proportionele schermkierregeling biedt ook bedrijfseconomisch gezien een groot voordeel, naast de voordelige energie-quotiënt.

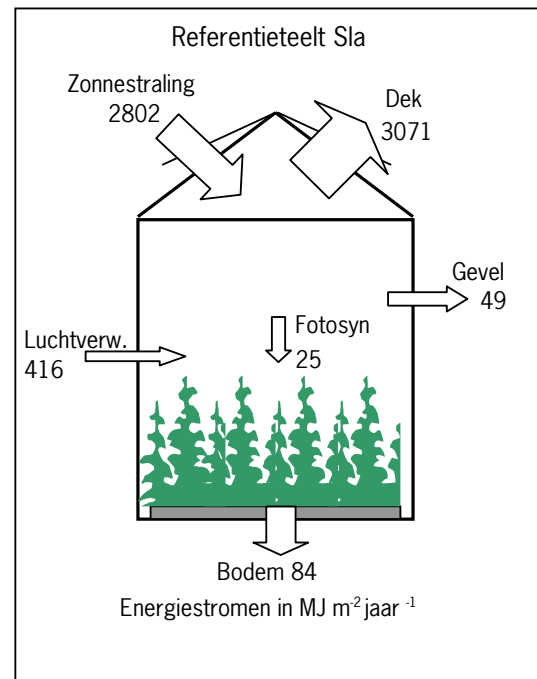
Kasdek. Het isoleren van het kasdek lijkt op voorhand een goede maatregel om energie te besparen. Denk hierbij aan het nieuwe 'zig-zag' kasdekmateriaal dat naar verwachting isoleert zonder een noemenswaardige reductie in lichttransmissie. Gedurende het jaar, m.u.v. de zomerperiode, wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek met 10% zelfs 22-26% minder gas verbruikt. In de zomerperiode is een besparing van 12% mogelijk. Ook de productie wordt positief beïnvloed: 10% meer takken in de eerste helft van het jaar, en 5% op jaarbasis. De berekeningen laten een verhoging van de RV met 5% zien, wat nadelig is voor naooogst en houdbaarheid. Er zal meer gelucht moeten worden vanwege de kwaliteit, wat dan weer ten koste van de energiebesparing zal gaan. Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. Bij een 10% hogere lichtdoorlatendheid (dus meer zonne-energie) hoeft minder gestookt te worden om de temperatuur te handhaven. De productie van roos neemt daardoor in het voorjaar toe met 10%, tegen 2-6% gedurende de rest van het jaar. Verhoging van de lichtdoorlatendheid kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdekmateriaal.

3.5 Sla

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor zijn slateelt bijna $12 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ gas per jaar, wat overeenkomt met bijna $350 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. In deze kas wordt geen scherm gebruikt. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 400 MJ wordt aangevoerd via hete-luchtkachels.

Een deel van de zonne-energie (25 MJ) wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (bijna 3100 MJ), waarvan 2000 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (85 MJ) en de gevel (50 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m³ gasverbruik/kg sla), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor sla.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	33	39.5	-10.0
2 °C temp.integratie 24h	34	34.5	-1.0
2 °C temp.integratie 72h	33	34.1	-1.5
Schermb			
Energieschermb	17	16.8	0
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	47	52.1	-9.0
Verhoogde lichtdoorlatendheid	11	3.4	8.0

Temperatuur. Bij zowel een temperatuurverlaging van 2°C, als bij temperatuurintegratie hoeft er uiteraard minder gestookt te worden, wat leidt tot een relatief grote besparing op het gasverbruik van 35% op jaarbasis. De verschillen zitten vooral vanaf week 45 en in de eerste 20 weken van het jaar. Verlaging van de temperatuur leidt tot een geschat productieverlies door tragere groei van 10% op jaarbasis. Als de RV hoger oploopt als gevolg van deze maatregelen, kan er een vermindering van de kwaliteit optreden (glazigheid, valse meeldauw). Worden er extra maatregelen genomen om de RV in de hand te houden, dan kunnen deze maatregelen resulteren in een substantiële energiebesparing.

Schermb. Ten opzichte van een situatie zonder scherm, zoals in de referentieteelt het geval is, leidt toepassing van een energieschermb tot een reductie van het gasverbruik van 17%, even groot als de energie-quotiënt omdat naar schatting de productie hierdoor niet wordt beïnvloed. Gebruik van een energieschermb lijkt derhalve een voordelige energiebesparende maatregel.

Kasdek. Het isoleren van het kasdek lijkt op voorhand een goede maatregel om energie te besparen,; dit blijkt ook het geval te zijn, gezien de berekende energie-quotiënt van 47%. Meer dan 50% van het gasverbruik in de referentieteelt wordt bespaard door toepassing van deze maatregel. Nadeel echter is dat de productie naar schatting met 9% omlaag gaat doordat zonder voorzorgsmaatregelen (krijten in de zomer, extra luchten) de kwaliteit verminderd wordt door verhoogd optreden van rand, wit en glazigheid. Deze nadelen voor de kwaliteit zouden deels voorkomen kunnen worden door vaker te luchten en meer te krijten, maar dat gaat dan weer ten koste van de energiebesparing. Gezien het feit dat een dergelijk kasdek een hoge investering vraagt en de absolute besparing van het gasverbruik niet erg groot is, is deze maatregel bedrijfseconomisch gezien niet het meest voor de hand liggend.

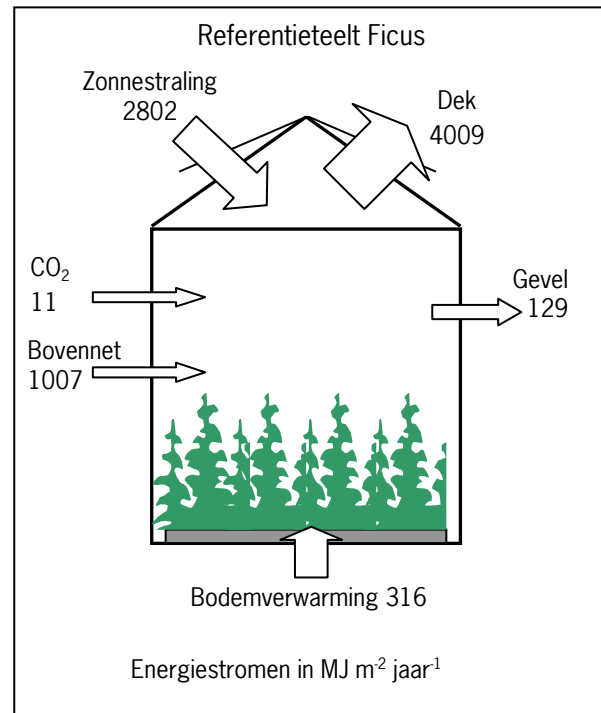
Door verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek kan 8% productiewinst behaald worden met een kleine mate van energiebesparing (3%), behalve bij hoge temperaturen in de zomer. Om de temperatuur in de zomer te drukken zal er gekrijt moeten worden, waardoor er geen lichtwinst is.

3.6 Ficus

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor zijn ficusteelt ruim $44 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ gas per jaar, wat overeenkomt met bijna $1400 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 1300 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het bovennet, verwarmde betonvloer en tijdens het doseren van CO_2 .

Een deel van de zonne-energie wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (ruim 4000 MJ), waarvan ruim 1800 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de gevel (130 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Temperatuur. Bij maatregelen met betrekking tot temperatuur worden positieve energie-quotiënten van 4-7% berekend. Er wordt uiteraard minder gestookt, wat op jaarbasis tot een besparing leidt in het gasverbruik van 14% bij temperatuurverlaging en 6% bij temperatuurintegratie. Gedurende de winter zal de temperatuur onder de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ blijven bij temperatuur setpoint-verlaging, waardoor een productievertraging van 8% ontstaat. Verwacht mag worden dat de kwaliteit (betere vertakking, minder bladval) toe zal nemen bij de lagere temperatuur in relatie tot de instraling, wat leidt tot een berekende energie-quotiënt van 7%.

Omdat verhoging van de teelttemperatuur vooral plaats vindt in de weken dat de temperatuur al boven de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ligt, worden er geen veranderingen in productie of kwaliteit verwacht. Hierdoor wordt de energie-quotiënt bepaald door de vermindering in gasverbruik van 6%.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m^3 gasverbruik/ficusplant), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor ficus.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	7	14.0	-8.0
2 °C temp. integratie 24h	4	5.6	-2.0
2 °C temp. integratie 72h	4	6.3	-2.0
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	4	2.5	2.0
Schermb			
Proportionele schermkierregeling	6	5.0	1.0
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	21	27.9	1.0
Verhoogde lichtdoorlatendheid	10	2.7	8.0

Vocht. Bij een continue verhoging van het RV-setpoint met 5% zijn de effecten op het klimaat minimaal. Er is een kleine verhoging van het CO₂-gehalte, waardoor 2% meer productie gerealiseerd kan worden. Kwaliteitsproblemen zijn ook niet aannemelijk, zodat met een 2% vermindering van het gasverbruik hierdoor energie wordt bespaard.

Schermb. Een proportionele schermkierregeling in stappen levert een energiebesparing op van 5% in vergelijking met een situatie met schermregeling op RV zoals in de referentieteelt. Dit gaat gepaard met een kleine productieverhoging zonder effecten op de kwaliteit, waardoor deze maatregel energiebesparend blijkt te zijn.

Kasdek. Het isoleren van het kasdek zonder een noemenswaardig reductie in lichttransmissie lijkt voor ficus op voorhand een goede maatregel om energie te besparen. Gedurende het jaar wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek gemiddeld 28% minder gas verbruikt. Terwijl er een productiestijging van 1% wordt geschat, wordt er, zonder extra maatregelen te treffen, verwacht dat meer bladval en optreden van trips en wolluis in voor- en najaar tot een kwaliteitsverlies van 10% zullen leiden. Dit zou deels voorkomen kunnen worden door vaker te luchten, maar dat gaat dan weer ten koste van de energiebesparing.

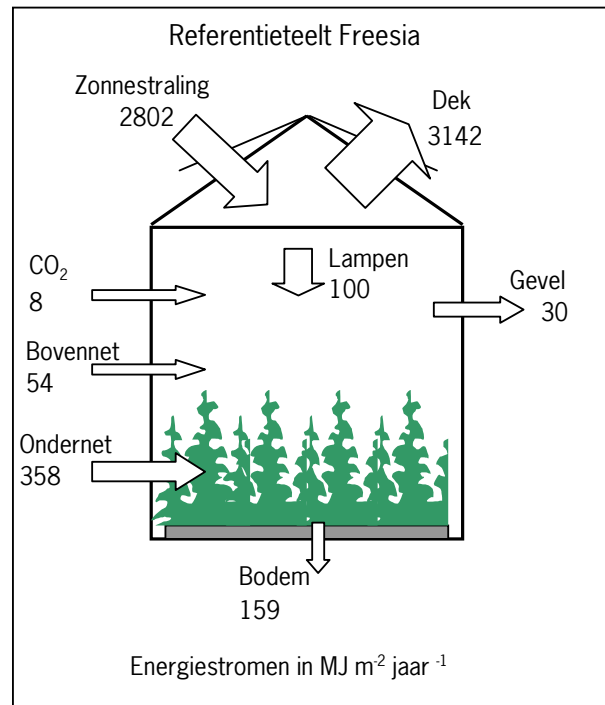
Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. Bij een 10% hogere lichtdoorlatendheid (dus meer zonne-energie) hoeft minder gestookt te worden om de temperatuur te handhaven. De productie van ficus neemt daardoor toe met 8%, alsook de winterkwaliteit met naar schatting 10%. Verhoging van de lichtdoorlatendheid kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdek materiaal.

3.7 Freesia

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstoekt voor zijn freesia bijna $13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gas per jaar, wat overeenkomt met ruim $400 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlak van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens ruim 400 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het onder- en bovennet en tijdens het doseren van CO_2 . Assimilatiebelichting van september t/m maart en levert 100 MJ energie aan de teelt.

Een deel van de zonne-energie wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan kaslucht en gewas die daarvoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (ruim 3100 MJ), waarvan ruim 2200 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de bodem (160 MJ) en de gevel (30 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m³ gasverbruik/tak freesia), het gasverbruik en de productie (in % t.o.v. de referentieteelt) voor freesia.

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Temperatuur			
Setpoint-verlaging (-2°C)	11	7.0	-5.0
2 °C temp. integratie 24h	5	5.4	0
2 °C temp. integratie 72h	7	7.0	0
Licht			
Verdubbeling lichtintensiteit	17	8.5	10.0
Verdubbeling PAR rendement	10	0.8	10.0
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	15	27.9	-15
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	19	18.6	0
Verhoogde lichtdoorlatendheid	3	2.3	0

Temperatuur. Bij een temperatuurverlaging van 2 °C hoeft er 20% minder gestookt te worden in het eerste kwartaal, maar 3% meer in de tweede en derde kwartalen, wat tot een besparing op het gasverbruik leidt van 7% op jaarbasis. Dit resulteert in een vertraging van de teelt met ongeveer 1 maand, waardoor de productie met 5% afneemt. Desondanks stijgt het energie-quotiënt met 11% t.o.v. de referentieteelt. Gebleken is dat temperatuurintegratie geen negatieve gevolgen heeft, nog voor de productie nog de kwaliteit. De energie-quotiënt van 5-7% is daarom een gevolg van de gasbesparing en blijkt daardoor te kunnen resulteren in een substantiële energiebesparing zonder negatieve consequenties voor de opbrengst.

Licht. Verdubbeling van de lichtintensiteit bij freesia heeft een positieve invloed op het energie-quotiënt (+17%). In de winter als de lampen branden wordt er gemiddeld 15% minder gas verbruikt en de productie stijgt met 10% op jaarbasis doordat de teelt wordt verkort, met zwaardere takken en geen verdroging van de hakken. Verdubbeling van het PAR-rendement leidt niet tot gasbesparing, maar levert wel meer takken zonder dat de kwaliteit wordt verminderd. Omdat aangenomen wordt dat verdubbeling van het PAR-rendement geen extra investering vraagt, is deze maatregel in zowel economisch als energetisch opzicht voordelig.

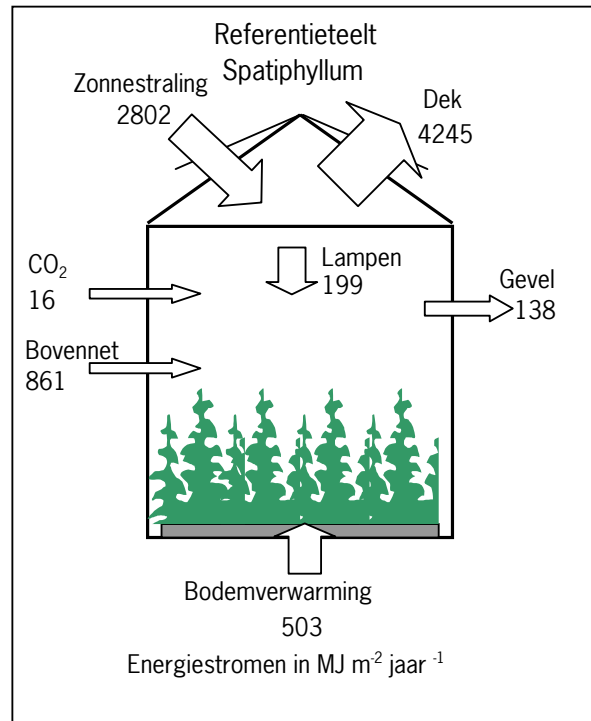
Vocht. Bij een verhoging van het RV-setpoint met 5% kan bijna 28% besparing van het gasverbruik betekenen. Maar doordat de kans op Botrytis-infectie sterk wordt verhoogd, wordt een productieverlaging van 15% verwacht, waardoor deze maatregel voor een tuinder economisch gezien niet interessant is. Wanneer er extra maatregelen worden genomen, door b.v. vaker te luchten, wordt de kans op Botrytis minder maar dit resulteert in een hoger gasverbruik.

Kasdek. Ook bij freesia lijkt het isoleren van het kasdek een goede maatregel om energie te besparen. Denk hierbij aan het nieuwe 'zig-zag' kasdek materiaal dat naar verwachting isoleert zonder een noemenswaardig reductie in lichttransmissie. Gedurende het jaar, m.u.v. de zomerperiode, resulteert een verbeterde isolatie van het kasdek in 19% minder gasverbruik. Mits er voldoende wordt gelucht in de zomer om de temperatuur te verlagen, worden er geen negatieve gevolgen voor productie en kwaliteit verwacht. Door de temperatuur niet te hoog te laten oplopen kan door toepassing van deze maatregel energie worden bespaard. Gezien het feit dat een dergelijk kasdek een hoge investering vraagt is deze maatregel bedrijfseconomisch gezien niet het meest voor de hand liggend. Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie. Teveel licht in de zomer is echter ongewenst en wordt weggeschermd, omdat dit leidt tot verhoging van de kaslucht- en bodemtemperaturen. Bij een 10% hogere lichtdoorlatendheid (dus meer zonne-energie) wordt 2% gasvermindering gerealiseerd, en worden productie en kwaliteit van freesia positief beïnvloed. Verhoging van de lichtdoorlatendheid in de winter kan worden gerealiseerd door het kasdek goed schoon te houden of door gebruik te maken van ander kasdek materiaal, maar er zal in de zomer toch geschermd moeten worden om de kwaliteit te handhaven.

3.8 Spatiphyllum

Energiestromen in de kas

In deze studie is een moderne tuinder als referentie genomen. Deze tuinder verstookt voor de teelt van Spatiphyllum $46,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gas per jaar, wat overeenkomt met bijna $1500 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. In een kas levert de zon het grootste deel van de voor het gewas beschikbare energie. Uitgaande van een kas met een totale oppervlakte van 4 ha is dit circa $2800 \text{ MJ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Nog eens bijna 1400 MJ wordt aangevoerd via het verwarmingssysteem via het bovennet, verwarmde betonvloer en tijdens het doseren van CO_2 . Assimilatiebelichting levert ook 200 MJ energie aan de teelt. Een deel van de zonne-energie wordt vastgelegd in het gewas via de fotosynthese. Een aanzienlijk deel van de stralingsenergie wordt omgezet in latente warmte via gewasverdamping, en voelbare warmte wordt afgegeven aan de kaslucht en gewas die daardoor in temperatuur stijgen. Een groot deel van de energie verdwijnt uit de kas via het dek (ruim 4200 MJ), waarvan ruim 1850 MJ door ventilatie vanwege de verhoogde temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Daarnaast verdwijnt er ook energie via de gevel (140 MJ).



Energiebesparende maatregelen

Van de onderzochte maatregelen, worden alleen die maatregelen besproken die resulteerden in perspectieven voor energiebesparingen. De efficiëntie van de maatregelen werd berekend als een energie-quotiënt (EQ), namelijk het gasverbruik/opbrengst t.o.v. de referentieteelt; de resultaten zijn hieronder weergegeven. Als een maatregel een $\text{EQ} < 1$ heeft, geeft dat een energiebesparing aan; immers er wordt minder gas gebruikt per kg opbrengst tomaat. De energie-quotiënten zijn berekend voor een heel jaar, maar daar waar energie-quotiënten in bepaalde seizoenen beter uitpakken dan het jaargemiddelde kunnen ze in die seizoenen toegepast worden met voordeel voor de teler. In deze studie worden geen optimalisaties uitgevoerd; die komen aan bod in het project 'Energie op Maat'.

*Verbetering van het energie-quotiënt EQ (m^3 gasverbruik/week teeltduur bij *Spatiphyllum*), het gasverbruik en verkorting van de teeltduur (in % t.o.v. de referentieteelt) voor *Spatiphyllum*.*

Maatregel	EQ (%)	Gasverbruik (%)	Productie (%)
Licht			
Verdubbeling lichtintensiteit	12	5.2	7.5
Verdubbeling PAR rendement	3	0.2	0
Vocht			
RV-setpoint-verhoging (+5%)	5	4.3	0
Verlaging plantverdamping	2	1.7	0
Schermb			
Proportionele schermkierregeling	3	3.0	0
Kasdek			
Verhoogde kasdek-isolatie	20	15.3	5.0
Verhoogde lichtdoorlatendheid	2	1.9	0

In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Licht. Verdubbeling van de lichtintensiteit bij *Spatiphyllum* leidt tot een energie-quotiënt van 12%. Dit komt door een vermindering van het gasverbruik van 5% in combinatie met een positieve invloed op de productie en kwaliteit. De teeltduur zal met 1-2 weken verkort worden en er zullen zwaardere scheuten per plant met donker blad worden geproduceerd. Overmatige belichting leidt echter tot vermindering van de kwaliteit, en zal daarvoor met mate moeten worden gebruikt. Ook van verhoging van het PAR-rendement wordt eenzelfde resultaat op *Spatiphyllum* verwacht.

Vocht. Verschillende maatregelen m.b.t. vocht leiden tot energiebesparingen van 2-4% op jaarbasis. Er zijn geen negatieve invloeden van verhoging van het RV-setpoint met 5% of van verlaging van de plantverdamping te verwachten. Er zijn echter wel negatieve gevolgen voor de kwaliteit in de winter. Door langere perioden met hoge RV's (>90%) kunnen de planten een teveel aan vocht onvoldoende afvoeren omdat verdamping plaatsvindt, waardoor bladranden necrotisch en bruin worden. De kwaliteit kan echter verbeterd worden door wat vaker te luchten.

Schermb. Een proportionele schermkierregeling levert een energiebesparing op van 3% op jaarbasis. Er zijn vrijwel geen verschillen in temperatuur en RV in een kas met een energiescherm, en wordt er daarom geen invloed van deze maatregel op de productie en kwaliteit te verwachten.

Kasdek. Het isoleren van het kasdek voor *Spatiphyllum* lijkt op voorhand een goede maatregel om energie te besparen. Gedurende het jaar wordt bij een verbeterde isolatie van het kasdek 20% minder gas verbruikt. Een iets hogere temperatuur zal dan leiden tot een teeltversnelling van 1 week zonder nadelige gevolgen voor de kwaliteit. Alleen bij de bloei moet de temperatuur niet hoger worden dan 25°C, zodat als er vaker wordt gelucht in deze periode van de teelt een aanzienlijke energiebesparing en productieverhoging mogelijk is.

Verhoging van de lichtdoorlatendheid van het kasdek is in het voorjaar, maar vooral in de winter, van belang voor de gewasproductie, terwijl er minder gestookt hoeft te worden om de temperatuur te handhaven. Bij *Spatiphyllum* treedt er in de winter dan ook een teeltversnelling en verbetering van de kwaliteit op omdat de planten meer licht ontvangen. Er zal echter meer gekrijt moeten worden gedurende de rest van het jaar om kwaliteitsproblemen op bladranden te voorkomen.

4. Effect van de maatregelen per maatregel

Van de 13 maatregelen (zie 2.2) is voor de verschillende gewassen berekend wat de effecten zijn op gasgebruik, productie, productkwaliteit en bedrijfseconomisch resultaat. Een aantal maatregelen leidt tot een aanzienlijke besparing van het energieverbruik. Sommige maatregelen blijken daarentegen over het gehele jaar weinig of geen energiebesparing op te leveren en in enkele gevallen zelfs een toename van het gasgebruik te veroorzaken. Bij een aantal maatregelen wordt ingeschat dat productie en/of kwaliteit beïnvloed worden. Daarnaast is een analyse gemaakt van de energiebesparende maatregelen. Een overzicht van de effecten van alle dertien maatregelen op deze aspecten wordt hieronder weergegeven en is samengevat in Tabel 1.

M1. Verlaging van het temperatuursetpoint

Het verlagen van het temperatuursetpoint leidt voor alle gewassen tot een daling van het gasverbruik, voor vijf ervan zelfs meer dan 10%. Deze besparingen vinden echter plaats in de winter wanneer er gestookt wordt, onder suboptimale lichtomstandigheden voor fotosynthese en groei. Temperatuurverlaging leidt bij chrysant en ficus tot een toename in kwaliteit, b.v. door verbeterde vertakking en minder bladval in de winter. Door het regelmatig voorkomen van lagere temperaturen (de ondergrens van de temperatuurintegratiebandbreedte), wordt ingeschat dat de productie van alle gewassen achteruit gaat, behalve voor chrysant. Al is er is wel energie te besparen door temperatuurverlaging; dit kan zonder productieverlies alleen bereikt worden door het met mate en op geschikte tijden in het jaar toe te passen. Als temperatuurverlaging strak wordt toegepast, valt voor alle gewassen, behalve chrysant, het bedrijfseconomisch saldo zeer negatief uit.

M2. 24-uurs temperatuurintegratie

Temperatuurintegratie met een integratieperiode van 24 uur en een marge van 2 °C resulteert in een energiebesparing voor alle teelten t.o.v. de referentieteelten, behalve voor Spatiphyllum. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een compensatie van de warmtetoename door instraling overdag met minder stoken 's nachts. Dit geeft voor sommige gewassen geen problemen, maar ook geen groot voordeel in termen van productie en kwaliteit. Voor andere gewassen zoals roos en ficus, wordt de productie met enkele procenten verminderd doordat gemiddelde dagtemperaturen van 19 °C aanzienlijk vaker voorkomen. Behalve voor chrysant, wordt een bedrijfseconomisch saldo berekend dat (licht) negatief uitvalt.

M3. Verhoging van het RV-setpoint met 5%

Een verhoging van het RV-setpoint met 5% resulteert in een lager gasverbruik doordat er minder gelucht hoeft te worden, waardoor de warmte langer in de kas blijft. Een verhoging van het RV-setpoint met 5% verhoogt de kans op ziektes, vooral Botrytis en roest. Daarentegen neemt het aantal takken van chrysant iets toe en de teeltduur van ficus neemt onder deze kasomstandigheden af. Als de RV dus met enige voorzichtigheid wordt verhoogd, vooral als de luchtvochtigheid al laag is, kan dit leiden tot energiebesparing. Het bedrijfseconomisch saldo als gevolg van deze maatregel is overwegend positief, alleen voor freesia en komkommer valt het negatief uit vanwege een vermindering van de kwaliteit bij continue verhoging van het RV-setpoint.

Verbetering van het gasverbruik en de productie (% verschil t.o.v. de referentieteelt) voor dertien maatregelen (zie tekst voor uitleg). Een positief getal betekent gasbesparing respectievelijk meer productie t.o.v. de referentieteelt. Productie eenheden gebruikt voor deze berekening zijn aangegeven. Daarnaast zijn de bedrijfseconomisch effecten van de maatregelen weergegeven.

Verklaring: (-) = saldo < -1 euro m²; (-) = -1 < saldo < 0,2 euro m²; (0) = -0,2 < saldo

< 0,2 euro m²; (+) = 0,2 < saldo < 1 euro m²; (++) = saldo > 1 euro m²; (.) = geen waarde.

		Tomaat kg	Komkommer kg	Chrysant kg	Roos takken	Sla kg	Ficus planten	Freesia takken	Spatiphyllum teeltduur
M1	gasverbruik	+15,5	+13,7	+11,5	+9	+39,5	+14	+7	+1,5
	productie	-3,3	-9,2	+9,3	-8,3	-10	-8	-5	-15
	saldo	--	--	++	--	-/-	--	++	--
M2	gasverbruik	+4,4	+3,4	+8,4	+5,6	+34,5	+5,6	+5,4	0
	productie	-0,7	-0,7	+1,7	-0,8	-1	-2	0	0
	saldo	-	0	+	--	0	-	-	0
M3	gasverbruik	+5,5	+7,0	+5,7	+12,1	0	+2,5	+27,9	+4,3
	productie	-0,1	-2,2	+1	+3	0	+2	-15	0
	saldo	+	-	+	++	0	++	--	+
M4	gasverbruik	nvt	nvt	+10,3	+7,9	nvt	nvt	+8,5	+5,2
	productie	nvt	nvt	+11	+5,8	nvt	nvt	+10	+7,5
	saldo	nvt	nvt	-	-	nvt	nvt	-	-
M5	gasverbruik	+3,3	+1,7	-1,9	-0,2	-1,7	-2,3	-0,8	-0,2
	productie	-0,2	+0,2	+0,3	+0,6	0	0	>0	0
	saldo	0/+	0	0	-	0	0	-	0
M6	gasverbruik	+5,7	+5,5	+7,4	+10,6	+16,8	+5	+6,2	+3
	productie	-0,3	-2	+0,6	+2,6	0	+1	-15	0
	saldo	0	-	+	++	+	+	--	+
M7	gasverbruik	nvt	nvt	-1,9	-5,8	nvt	nvt	+0,8	-4,3
	productie	nvt	nvt	+6,4	+3,2	nvt	nvt	+10	+7,5
	saldo	nvt	nvt	++	0/+	nvt	nvt	+	++
M8	gasverbruik	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	nvt	0	0	0
	productie	0	-1,4	-1,1	+0,8	nvt	0	>0	<0
	saldo	+	-	--	-	nvt	0	-/-	0
M9	gasverbruik	+2,2	+2,1	+1,7	+2,9	+0,8	+1,1	+2,3	+1,7
	productie	-0,6	+2	-0,4	+1,4	0	0	0	0
	saldo	0	0	0	0/-	-	0	-	0
M10	gasverbruik	+4,4	+3,6	+8,1	+6,1	+34,1	+6,3	+7	+0,2
	productie	-0,8	-2	+1,4	-0,7	-1,5	-2	0	0
	saldo	--	-	+	-/-	0/+	-	-	0
M11	gasverbruik	+22,7	+21,6	+20	+19	+52,1	+27,9	+18,6	+15,3
	productie	-2,9	-0,8	-4,8	+5,9	-9	+1	0	+5
	saldo	--	--	-	+/>++	--	-/+	--	0 +
M12	gasverbruik	+2,2	+2,3	+1,4	+1	+3,4	+2,7	+2,3	+1,9
	productie	+6,3	+7,6	+4,9	+5,1	+8	+8	>0	<0
	saldo	++	0	++	-	--	++	--	-
M13	gasverbruik	-2,9	-2,5	-3,4	-3,3	-0,8	-1,6	-3,1	-2,8
	productie	-0,2	-0,7	+3,2	-4,4	+3	0	>0	0
	saldo	0	-	+	--	+	-	-	0/-

M4. Verhoging van de intensiteit van assimilatielicht

Een verhoging van de intensiteit van assimilatiebelichting, en daardoor de hoeveelheid onderschepte PAR, is onderzocht voor roos, chrysant, freesia en Spatiphyllum. Veel gas wordt hiermee bespaard (8-10%), omdat een deel van de benodigde warmte in de winter wordt geleverd door de lampen. Meer PAR betekent een hogere productie en een kwalitatief beduidend beter eindproduct voor roos en chrysant, en resulteert in een verkorting van de teeltduur voor freesia en Spatiphyllum. Deze bevindingen zijn op voorhand positief voor de energiebesparing, maar de lagere kosten voor gas door toepassen van deze maatregel worden ruimschoots teniet gedaan door de extra elektriciteitskosten.

Elektriciteit t.b.v. de assimilatiebelichting wordt in de praktijk gegenereerd door wk-installaties, maar omdat de verhouding tussen elektriciteit afkomstig van wk-installaties en van het net niet constant is, is er voor deze berekening aangenomen dat de benodigde elektriciteit wordt ingekocht, wat duurder is dan zelf elektriciteit opwekken via een wk-installatie. Het betekent wel een onderschatting van het gasverbruik. Deze maatregel is in economisch opzicht daarom geen verbetering, ook omdat de investeringskosten van de lampen en armaturen hoog zijn.

M5. Luchtvochtigheidsregeling op dauwpunt van de kaslucht en gewastemperatuur

Het regelen op de gewastemperatuur t.o.v. het kaslucht is een geheel andere wijze van vochtregulatie.

Vochtregeling moet voorkomen dat het gewas nat slaat, waardoor ziekten minder kans krijgen en moet tevens zorgen dat voldoende gewasverdamping kan plaatsvinden. De relatie tussen een setpoint 1,5 graden boven het dauwpunt en bijvoorbeeld een setpoint voor de RV is niet zonder meer bekend. Dat heeft te maken met temperatuurinstellingen en soort gewas. Uit de berekeningen blijkt dat alleen tomaat en komkommer minder energie gaan gebruiken bij deze maatregel. De overige gewassen laten een toename van het gasverbruik zien, hetgeen er op neer komt dat voor die gewassen het setpoint van 1,5 graden stringenter is dan een continue RV-setpoint- verhoging van 5%. Mogelijk zou deze maatregel wel effectief zijn bij een ander RV-setpoint dan de hier gekozen 1,5°C. Bij deze maatregel treden de effecten (zowel positief als negatief) voornamelijk op in het najaar. Deze maatregel heeft een zeer beperkt effect op het economisch resultaat.

M6. Schermkierregeling

Het inbrengen van een proportionele schermregeling in stappen leidt tot grote besparing van het gasverbruik bij alle gewassen. De kasluchttemperatuur stijgt iets, waardoor er minder warmteafgifte van het onder- en bovennet nodig is in het winterseizoen. Voor roos en in mindere mate voor chrysant en ficus resulteert deze schermregeling tevens in een verhoogde productie. Verwacht wordt dat in de winter vaker schermen zal resulteren in een verhoogde RV, wat de kans op meer Botrytis vergroot en dus in een sterke productie-afname. Bij chrysant neemt de kans op roest toe, en bij roos vermindert de houdbaarheid en dus de kwaliteit. Wanneer deze maatregel echter wordt toegepast met gezond verstand in perioden met lagere RV's, zijn er kansen op energiebesparing.

Net als bij M3 (verhoging RV-setpoint) is het bedrijfseconomisch saldo als gevolg van deze schermkierregeling overwegend positief, alleen voor freesia en komkommer valt dat negatief uit.

M7. Verdubbeling van het PAR-rendement van de lampen

Hier laat de berekening geen energiebesparing zien, wel een toename in de productie of een verkorting van de teeltduur. In de referentie wordt ca. 50% van het geïnstalleerde vermogen direct omgezet in voelbare warmte, 25% in PAR en 25% in NIR. Een verdubbeling van het PAR-rendement gaat ten koste van warmte en NIR-straling. Omdat in de berekeningen alle voelbare warmte in de kas komt en een deel van het PAR via reflecties de kas weer verlaat, zal bij deze maatregel minder warmte door de belichting in de kas worden gebracht, zodat het gasverbruik omhoog gaat. Naarmate het geïnstalleerde vermogen kleiner wordt, zijn de effecten kleiner.

Op dit moment is het echter niet of nauwelijks technisch mogelijk om deze verdubbeling van het rendement te realiseren. Deze maatregel vertoont een (zeer) positief economisch resultaat, maar de extra investeringskosten zijn

nog niet verdisconteerd. Deze maatregel werkt voor chrysant sterker door in de fysieke productie (positief) en minder sterk in het gasverbruik (negatief) dan voor roos. Hierdoor pakt het saldo van verschillen in opbrengsten en kosten t.o.v. de referentie voor chrysant positiever uit dan voor roos.

M8. Verhoging van buffercapaciteit

Verhoging van de capaciteit van de warmtebuffer leidt tot een evenredige verhoging van de CO₂-dosering. In principe moet een verhoging van de CO₂-concentratie in de kas kunnen leiden tot een verhoging van de productie.

Uitgangspunt bij de berekeningen rond CO₂-dosering is echter dat er geen warmte zou worden vernietigd. Als gedoseerd wordt zonder warmtevraag, zal de ketel branden totdat de buffer vol is. Op die momenten wordt de warmte van de condensor in de kas gebracht omdat deze warmte niet meer worden opgeslagen in de buffer. Bij een grotere buffer duurt het alleen langer voordat de buffer vol raakt, maar het effect blijft hetzelfde. Het effect wordt alleen kleiner wanneer de warmtevraag van het gewas kleiner is. Op een groot aantal dagen in de zomer komt de buffer niet leeg. Het vergroten van de buffercapaciteit heeft op die momenten dan ook geen enkel effect op de hoeveelheid gedoseerde CO₂.

Deze maatregel zal weinig effect hebben t.o.v. de referentieteelten in de winter omdat er dan weinig gelucht wordt terwijl de warmtevraag hoog is. Het zal een (klein) positief effect hebben in het voorjaar en slechts een gering effect in de zomer omdat er vaker gelucht wordt. De bedrijfseconomische gevolgen van deze maatregel zijn gering.

M9. Verlaging verdamping

Verdampingsremming door 10% hogere huidmondjesweerstand op vocht geeft op jaarbasis een energiebesparing van ongeveer 2% te zien. Dit heeft te maken met een aantal factoren: de verdamping in de nacht wordt nauwelijks beïnvloed, de totale verdamping neemt met minder dan 5% af en de verdamping in de zomer kost weinig fossiele energie. De grootste besparing treedt op in het najaar en heeft een zeer beperkt effect op het economisch resultaat.

M10. Drie-daagse temperatuurintegratie

De gevolgen van een 72-uur temperatuurintegratie lijken veel op die van maatregel 2 (24-uur temperatuurintegratie), variërend van een geringe gasbesparing bij *Spatiphyllum* tot ruim 30% minder gas bij sla. Er wordt meer energiebesparing berekend dan bij een 24-uurs temperatuurintegratie vanwege de langere integratieperiode. De productie van de meeste gewassen wordt licht negatief beïnvloed, maar mogelijk bieden aanpassing van de lengte van de integratieperiode mogelijkheden voor handhaving van de productie bij gasbesparing. Alleen bij chrysant neemt de productie toe door toepassing van deze (72-uurs) maatregel. Ook de bedrijfseconomische gevolgen zijn zeer vergelijkbaar met die van een 24-uurs temperatuurintegratie.

M11. Verbeterde isolatie

Een kasdek met hogere isolatiewaarde maar dezelfde transmissie bespaart in alle teelten veel energie. Een beter geïsoleerde kas werkt onder deze omstandigheden productieverhogend voor roos (5% toename in aantal en lengte van takken) en in mindere mate ook voor ficus, waar de teeltduur wordt verkort als gevolg van een hogere temperatuur. Voor een aantal andere gewassen (sla, tomaat, chrysant en komkommer) werkt een kasdek met hogere isolatiewaarde negatief op productie en kwaliteit, eveneens door verhoging van de temperatuur. Bij toepassing van deze maatregel zonder extra voorzorgsmaatregelen zoals extra luchten, wordt de kwaliteit minder en uit zich in glazigheid en rand bij sla en vruchtverkleuring bij komkommer. Zonder extra maatregelen is er bij tomaat een verhoogde kans op *Botrytis*, en bij chrysant op roest. Ook bij ficus wordt hierdoor de kans op ziekten en plagen (aantasting door trips en wolluis) groter. De economische resultaten voor roos, en in mindere mate voor ficus en *Spatiphyllum*, zijn positief.

M12. Verhoogde lichtdoorlatendheid

Verhoging van de lichttransmissie van het kasdek leidt op jaarbasis tot een toename van de ingebrachte hoeveelheid energie, al treedt deze toename voornamelijk op in de zomer als er weinig gasverbruik is en het effect ervan relatief klein is. In de winter is de toename in absolute zin gering ten opzichte van de energiebehoefte van de kas, zodat de reductie van het gasverbruik in die periode klein blijft, terwijl het effect relatief groot is. Op jaarbasis zijn de gevolgen van een verhoogde lichttransmissie op productie en kwaliteit van de gewassen overwegend positief. Terwijl deze maatregel een positief economisch resultaat heeft voor tomaat, komkommer, chrysant en ficus, zijn de gevolgen voor de andere gewassen beperkt.

M13. Kasdek-koeling

De toepassing van dekhoeling laat in alle gevallen een (geringe) toename van het gasverbruik zien. Dat er geen gas wordt bespaard, komt doordat er geen warmte wordt opgeslagen voor gebruik in de koude perioden. Koeling van het kasdek heeft een klein positief effect op de productkwaliteit van een aantal gewassen.

Doordat het kasdek koeler blijft, wordt er minder zonnewarmte opgeslagen in de bodem en in kasdelen. Er is daarom een hogere warmteafgifte nodig van een eventuele minimumbuis bij een lagere kasluchttemperatuur. Immers, door het gebruik van dekhoeling zal de gemiddelde kasluchttemperatuur op deze momenten dalen. Hierdoor zal het effect van deze maatregel merkbaar zijn, vooral in de zomer. Alleen voor sla en chrysant is er een positief effect op de bedrijfseconomie te zien.

5. Conclusies

Energiebesparende maatregelen kunnen zowel een positief als een negatief effect hebben op het gasverbruik. Het toepassen van een maatregel kan echter vergaande consequenties hebben voor de productie of voor de productkwaliteit wanneer deze zonder meer wordt toegepast. Deze drie belangrijke aspecten, het gasverbruik, de productie en productkwaliteit, bepalen vervolgens de bedrijfseconomie en gezamenlijk geven ze de teler een handvat waarop hij zijn beslissing over toepassing van een maatregel kan baseren.

Dit project is vooral bedoeld om kwantitatief inzicht te verschaffen in de mogelijkheden van energiebesparing. In verband met grote onderlinge verschillen tussen bedrijven voor wat betreft uitrusting, teeltwijze en management kunnen de mogelijkheden voor besparing per bedrijf afwijken van de hier gepresenteerde resultaten. Dit geldt vooral bij handig gebruik van de maatregelen in de verschillende jaargetijden.

Door toepassing van de volgende energiebesparende maatregelen zijn relatief de **grootste besparingen** in gasverbruik op jaarbasis te bereiken bij:

Het isoleren van het kasdek. Deze maatregel leidt tot gemiddeld 25% gasvermindering en t.o.v de productie is het altijd positief. Maar deze maatregel gaat gepaard met investeringskosten en heeft nadelige consequenties voor de kwaliteit wanneer er niet voor een lagere RV gezorgd wordt.

Verlaging temperatuur-setpoint met 2°C. Met een gemiddelde besparing van het gasverbruik van 14% g scoort deze maatregel ook hoog. Maar zowel productie als kwaliteit worden overwegend negatief beïnvloed door deze maatregel. De teeltduur wordt verlengd en de kans op ziektes wordt verhoogd als temperatuurverlaging strak wordt toegepast, waardoor het bedrijfseconomisch resultaat negatief uitvalt. Uitzonderingen zijn chrysanth en freesia met een verhoogde productie van resp. 9% en 5% en een positief economisch resultaat.

Verhoging RV-setpoint. Hiermee kan 8% gasbesparing gerealiseerd worden. De gevolgen voor de productie zijn niet groter dan 2% afwijking t.o.v de referentieteel, met een negatieve uitzondering voor freesia (-15% productieverlaging) als gevolg van een verhoogde kans op Botrytis. Ook de economische resultaten wisselen per gewas, en vallen vooral positief uit bij roos en ficus, maar negatief bij freesia

Verhoging van de belichtingsintensiteit. Toepassing van deze maatregel resulteert in ca. 7% minder gasverbruik, al nemen de elektriciteitskosten wel toe. De gemiddelde productie voor belichte teelten wordt met 9% verhoogd, maar deze maatregel leidt toch tot een negatief economisch resultaat vanwege de kosten van extra investeringen en elektriciteit, nog afgezien van de extra kosten voor verzwaring van de netaansluiting.

Schermkierregeling. Een proportionele schermkierregeling met stappen resulteert in 7,5% gasbesparing en een productieverval van maximaal 2% t.o.v. de referentieteelten. De uitzondering is freesia met een productieverlies van 15% als gevolg van een hogere RV en een verhoogde kans op Botrytis wanneer er teveel geschermd wordt. Het bedrijfseconomisch resultaat is overwegend positief, behalve voor freesia en komkommer.

In iets mindere mate dan door bovengenoemde maatregelen, wordt het gasverbruik verlaagd door toepassing van 24- en 72-uurs temperatuurintegratie. Wanneer dit wordt berekend op jaarbasis heeft temperatuurintegratie wisselende effecten op productie, kwaliteit en bedrijfseconomie, maar wanneer ze op een verstandige wijze worden toegepast, kunnen deze maatregelen tot energiebesparingen leiden, vooral in voor- en najaar.

