

## De tomaat als case

Bedrijfsconcepten voor een emissiearme kas 2010-2015

# stelsysteem



# innovatie



WAGENINGEN UR

*For quality of life*

# Colofon

Dit is een rapport van de onderzoeksprogramma Systeeminnovaties plantaardige productiesystemen van Wageningen UR. Het cluster van onderzoeksprogramma's wordt gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

## **Informatie**

LEI Wageningen UR  
Ir. M.N.A. (Marc) Ruijs  
Alexanderveld 5  
2585 LS Den Haag  
T 070 3358398  
F 070 3615624  
E [marc.ruijs@wur.nl](mailto:marc.ruijs@wur.nl)  
[www.lei.wur.nl](http://www.lei.wur.nl)  
[www.syscope.nl](http://www.syscope.nl)

## **Projectgroep emissiearme kas**

Marc Ruijs	LEI en Wageningen UR Glastuinbouw
Christiaan Reijnders	LEI (tot 1-1-2008)
Marcel Raaphorst	Wageningen UR Glastuinbouw
Jouke Campen	Wageningen UR Glastuinbouw
Jan Ammerlaan	Ammerlaan Advies en Themato Advies
Jan Voogt	Hoogendoorn Automatisering BV

## **Foto omslag**

Shutterstock

# De tomaat als case

Bedrijfsconcepten voor een emissiearme kas  
2010-2015

Ir. M.N.A. Ruijs

Drs. C.E. Reijnders

Ir. M.G.M. Raaphorst (Wageningen UR, Glastuinbouw)

Ir. J.B. Campen (Wageningen UR, Glastuinbouw)

Ir. J.C.J. Ammerlaan (Ammerlaan Advies en Thermato Advies)

Ir. J.O. Voogt (Hoogendoorn Automatisering BV)







Rapport 2009-007

April 2009

Projectcode BO-07-006

LEI Wageningen UR, Den Haag

Het LEI kent de werkvelden:

-  Internationaal beleid
-  Ontwikkelingsvraagstukken
-  Consumenten en ketens
-  Sectoren en bedrijven
-  Milieu, natuur en landschap
-  Rurale economie en ruimtegebruik

Dit rapport maakt deel uit van het werkveld Milieu, natuur en landschap.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek BO-07-006 'Systeeminnovatie Geïntegreerde Beschermde Teelten' in het kader van LNV-programma's

## **De tomaat als case; Bedrijfsconcepten voor een emissiearme kas 2010-2015**

Ruijs, M.N.A., C.E. Reijnders, M.G.M. Raaphorst, J.B. Campen, J.C.J. Ammerlaan  
en J.O. Voogt

Rapport 2009-007

ISBN/EAN: 978-90-8615-309-1

Prijs € 15,25 (inclusief 6% btw)

56 p., fig., tab., bijl.

Dit rapport beschrijft het ontwerpen van bedrijfsconcepten voor een emissiearme kas op basis van een toekomstbeeld voor het tomatenbedrijf. In de bedrijfsconcepten staan de milieugebieden energie en CO<sub>2</sub>, gewasbescherming en nutriënten centraal. Met behulp van een simulatiemodel zijn verschillende energieconcepten gekwantificeerd op energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie en vergeleken met drie referentiesituaties.

This report describes the design of farm concepts for a low-emission greenhouse on the basis of a future scenario for tomato farms. The farm concepts focus on the environmental areas of energy, CO<sub>2</sub>, crop protection and nutrients. With the aid of a simulation model, various energy concepts have been quantified in terms of energy consumptions and CO<sub>2</sub> emission, and compared with three reference situations.

### **Bestellingen**

070-3358330

publicatie.lei@wur.nl

© LEI, 2009

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.



Het LEI is ISO 9000 gecertificeerd.

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
	<b>Summary</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Terugblik op innovaties 1995-2005</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>Toekomstbeeld van het tomatenbedrijf 2010-2015</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Bedrijfsconcepten emissiearme kas</b>	<b>26</b>
	4.1 Ambities emissiereductie	26
	4.2 Referentiesituatie	29
	4.3 Toekomstige situatie - 2010	35
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>47</b>
	6.1 Conclusies	47
	6.2 Aanbevelingen	49
	<b>Literatuur en websites</b>	<b>51</b>
	<b>Bijlagen</b>	
	1 KASPRO-berekeningen referentieteelt trostomaat	52
	2 KASPRO-berekeningen systeemvarianten trostomaat	56

# Woord vooraf

In het kader van het LNV-onderzoeksprogramma 'Transitie, Innovatie en Kennisnetwerken voor geïntegreerde beschermde teelten' is een studie uitgevoerd naar emissiearme kassen. Met dit programma wordt gewerkt aan twee beleidsopgaven van LNV: 1) duurzame productie op de gebieden energie en CO<sub>2</sub>, gewasbescherming en nutriënten en 2) herstructurering van de glastuinbouw.

Voor het opstellen van een toekomstbeeld van het tomatenbedrijf en de ambities op de verschillende milieugebieden zijn stakeholders uit het tuinbouwbedrijfsleven gehoord. In de studie is de algemene aanpak beschreven en vervolgens concreet uitgewerkt in verschillende bedrijfsconcepten voor een tomatenbedrijf. Hierin zijn de effecten voor het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie, het middelenverbruik en de -emissie gekwantificeerd. De economische aspecten zijn niet expliciet in beschouwing genomen.

De studie is uitgevoerd door onderzoekers van het LEI en Wageningen UR Glastuinbouw. Een belangrijke bijdrage is ook geleverd door twee externe bedrijven (Ammerlaan Advies en Hoogendoorn Automatisering), die bij innovaties op energiegebied betrokken zijn.

Dank gaat uit naar de verschillende stakeholders vanuit het tuinbouwbedrijfsleven voor hun bijdrage tijdens de workshops.



Prof.dr.ir. R.B.M. Huirne  
Algemeen Directeur LEI Wageningen UR

# Samenvatting

---

## *Inleiding en doel*

Binnen het LNV-onderzoekprogramma 'Systeeminnovatie geïntegreerde beschermde teelten' is het project 'Emissiearme glastuinbouw' gestart. Doel is het ontwerpen van bedrijfsconcepten van emissiearme kassen voor de middellange termijn, waarbij schadelijke emissies aanzienlijk worden gereduceerd. De focus ligt op het verminderen van de emissies van CO<sub>2</sub>, gewasbescherming en nutriënten. Het bedrijf en de ondernemer vormen de begrenzing van het onderzoek.

## *Aanpak*

Dit rapport richt zich op de tomaat met eerst een terugblik over 10 jaar innovaties in de tomatenteelt. Drie referentiesituaties zijn als vertrekpunt genomen, getiteld op de variatie in de praktijk. Per referentiesituatie zijn een of meer varianten bedacht. Hierbij is gebruik gemaakt van ideeën van diverse partijen. De beoordeling beperkt zich tot de P van planet. Het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie is op bedrijfsniveau en op macroniveau bepaald. Op macroniveau wordt het (vermeden) energieverbruik en de (vermeden) CO<sub>2</sub>-productie van de elektriciteitscentrale meegenomen. De economische aspecten zijn niet onderzocht.

## *Terugblik op innovaties 1995-2005*

Veel innovaties hebben hun intrede gedaan op tomatenbedrijven. Hierdoor is de schaalomvang van het gemiddelde bedrijf verdubbeld, de fysieke productie met 0,85% per jaar gestegen en de arbeidsproductiviteit met een factor 2,5 toegenomen. Het gasverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie zijn met 2,3% per jaar gedaald.

Het gewasbeschermingsmiddelenverbruik bleef stabiel, maar wel minder milieubelastend. Het nutriëntenverbruik laat na daling weer een toename zien, gerelateerd aan de productietoename.

## *Referentie 2006*

De referentiesituatie betreft: 1) onbelichte teelt met gasgestookte wkk en elektrateruglevering, 2) onbelichte teelt en 25% gesloten kasdeel met gasgestookte wkk, warmtepomp en aquifer en 3) belichte teelt met gasgestookte wkk en teruglevering.

Op bedrijfsniveau is het gasverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie van referentie 2 minimaal een factor 2,5 lager dan van de andere referenties. Dankzij elektraterug-



levering is op macroniveau het primaire energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie van referentie 1 minimaal een factor 2,5 lager. De belichte teelt scoort zowel op micro- als op macroniveau slechter dan de onbelichte teelt; ook de energie-efficiëntie is slechter ondanks de circa 12% hogere productie in de belichte teelt.

Het gewasbeschermingsmiddelenverbruik en de emissie zijn in de onbelichte teelt met conditionering (2) het laagst door betere vochtbeheersing en lagere ziektedruk in het gesloten kasdeel. Het nutriëntenverbruik en de emissie zijn productiegerelateerd en is daardoor in de belichte teelt hoger dan in de onbelichte teelt.

### *Bedrijfsconcepten emissiearme kas 2010*

De volgende varianten zijn beschouwd per referentiesituatie:

- 1a) idem 1, maar geen minimumbuis en geen warmtevernietiging;
- 2a) idem 2, maar geen minimumbuis en 50% gesloten kasafdeling;
- 2b) idem 2, maar warmtepomp met elektra uit net, geen minimumbuis en geen gas;
- 3a) idem 3, maar belichten met elektra uit net en gasketel;
- 3b) idem 3, maar belichten met gasgestookte wkk en geen elektra teruglevering;
- 3c) idem 3, maar belichten én verwarmen met elektra uit net;
- 3d) idem 3, maar belichten én verwarmen met gasgestookte wkk en teruglevering.

### *Resultaten en conclusies*

Op bedrijfsniveau daalt in alle varianten het gasverbruik en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-emissie ten opzichte van de referentie. Het gasverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie worden nihil als elektriciteit wordt ingekocht voor verwarmen en/of belichten (2b en 3c). Daarna volgt variant 2a met bijna 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 26,3 kg/m<sup>2</sup>. Het verbruik en emissie zijn het hoogst bij variant 3b en 3d (82,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 146,9 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk 76,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 135,5 kg/m<sup>2</sup>).

Op macroniveau dalen in alle concepten het primair energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie ten opzichte van de referentie, met uitzondering van 3c (+15%). Het primair energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie zijn het laagst bij 1a (146 MJ/m<sup>2</sup> en 8,1 kg/m<sup>2</sup>). Het eerstvolgende concept (2a) heeft een driemaal zo hoog verbruik en emissie. Het hoogste verbruik en de emissie (3c) bedragen 3.100 MJ/m<sup>2</sup> en 174,6 kg/m<sup>2</sup>.

De fysieke productie neemt in de meeste concepten af (0-5%) ten opzichte van de referentie door aanpassingen ten gunste van energiebesparing. Concept 3c is een uitzondering (+7%). De energie-efficiëntie verbetert met name substantieel bij de concepten voor de onbelichte teelt; bij 3a en 3c (belichten met elektra uit het net) verslechtert dit ten opzichte van de referentie.

Door de daling van de productie en daarmee van de opbrengsten bij de meeste concepten wordt het ondanks de daling van het energieverbruik (op bedrijfsniveau) zeer moeilijk om de extra investering in energiearme bedrijfsconcepten goed te maken.

Het verbruik en de emissie van gewasbeschermingsmiddelen dalen bij alle bedrijfsconcepten ten opzichte van de referentiesituatie. De geschatte daling is het grootst (12-24%) bij de concepten met conditionering (2a en 2b).

Het nutriëntenverbruik en de nutriëntenemissie laten eenzelfde beeld zien als die van de fysieke productie door de directe koppeling. Resumerend scoren de concepten zónder belichting op energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie zowel op micro- als op macroniveau beter dan de concepten mét belichting. Binnen de onbelichte concepten scoort 1a het best op macroniveau en 2a en 2b op microniveau. Binnen de belichte concepten presteert 3c het best op microniveau en 3d op macroniveau. In economisch opzicht biedt investeren in emissiearme bedrijfsconcepten nog geen onverdeeld goede perspectieven.

### *Aanbevelingen*

Bij alle bedrijfsconcepten zijn het (primair) energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie verder te verminderen door de warmte- en belichtingsvraag van de teelt te reduceren. Bedrijfsconcepten met gas als energiedrager kunnen verbruik en emissie verminderen met een duurzaam alternatief (biobrandstof). Voor elektriciteit als energiedrager is dat inkoop van groene stroom of dit zelf opwekken. Concepten met conditionering kunnen verbruik en emissie verder reduceren door een groter aandeel gesloten kas (met warmtewinning) of de kas langer te sluiten (zonder warmtewinning).

Het verdient aanbeveling om de economische aspecten van energiearme bedrijfsconcepten nader onder de loep te nemen. De te behalen energiebesparing op bedrijfsniveau gaat bij de meeste concepten gepaard met een productiedaling, waardoor de extra investering moeilijk tot niet lijkt terug te verdienen.

Het verbruik en de emissie van gewasbeschermingsmiddelen kunnen verder verminderen door een vorm van klimaatconditionering, waarbij de kas langer gesloten kan blijven. Verbruik en emissiereductie lijken ook mogelijk door mobie-

le teelt te combineren met compartimentering, waardoor behandeling per teelt-fase uitvoerbaar wordt.

De gecontroleerde emissie van nutriënten kan via de riolering teruggedron-gen worden door de zuivering op bedrijfs- en/of gebiedsniveau aan te pakken.

# Summary

---

## The tomato case

### Farm concepts for a low-emission greenhouse 2010-2015

#### *Introduction and objective*

The low-emission greenhouse horticulture project (*Emissiearme glastuinbouw*) has been launched within the research programme of the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, 'System innovation in integrated protected crops' (*Systeeminnovatie geïntegreerde beschermde teelten*).

The objective is the design of farm concepts for low-emission greenhouses for the medium term, with the aim of considerably reducing harmful emissions. The focus lies on the reduction of emissions of CO<sub>2</sub>, crop protection agents, and nutrients. The farm and the entrepreneur define the boundaries for this research.

#### *Approach*

This report focuses on the tomato, first looking back on 10 years of innovations in tomato cultivation. Three reference situations have been taken as a starting point, in view of the variation in practice. One or more variants have been devised per reference situation. Here, use is made of ideas from various parties. The assessment is limited to the P for planet. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions have been established at farm level and at macro level. At macro level, the energy consumption (or the avoided consumption) and the CO<sub>2</sub> production (or the avoided production) of the power station is included in the assessment. The economic consequences have not been studied.

#### *Looking back at innovations 1995-2005*

Many innovations have been introduced on tomato farms. As a result, the scale of the average holding has doubled, physical production has increased by 0.85% per annum and labour productivity has increased by a factor of 2.5. Gas consumption and CO<sub>2</sub> emissions have declined by 2.3% per annum.

The use of crop protection agents remained the same, but their impact on the environment was reduced. The use of nutrients first declined but is now increasing again. This is related to the increase in production.

### *Reference situation 2006*

The reference situation relates to: 1) cultivation without assimilation lighting, with gas-powered CHP generator and supplying electricity back to the public grid, 2) cultivation without assimilation lighting and with 25% closed section of the greenhouse, with gas-powered CHP generator, heat pump and aquifer, and 3) cultivation with assimilation lighting and with gas-powered CHP generator, and supplying electricity back to the public grid.

At farm level, the gas consumption and CO<sub>2</sub> emissions in reference situation 2 are at least a factor of 2.5 lower than the other reference situations. Thanks to the supply of electricity back to the public grid, the primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions of reference situation 1 are at least a factor of 2.5 lower at macro level. Crops under assimilation lighting score less highly than crops without lighting at both micro and macro levels; the level of energy efficiency is also less good despite the approximately 12% higher production in crops with assimilation lighting.

The quantity of crop protection agents used and emissions are lowest in crops cultivated without assimilation lighting with conditioning (2) thanks to better moisture management and lower incidence of disease in the closed section of the greenhouse. The quantity of nutrients used and emissions are related to production and these are therefore higher in crops with assimilation lighting than in crops without lighting.

### *Farm concepts for a low-emission greenhouse 2010*

The following variants are considered by reference situation:

- 1a) the same as 1, but without minimum temperature of the heating system and without loss of heat;
- 2a) the same as 2, but without minimum temperature of the heating system and with 50% closed greenhouse section;
- 2b) the same as 2, but with a heat pump using electricity from the public grid, without minimum temperature of the heating system and without gas;
- 3a) the same as 3, but with assimilation lighting using mains electricity, and with a gas furnace;
- 3b) the same as 3, but with assimilation lighting using a gas-powered CHP generator, and without supplying electricity back to the public grid;
- 3c) the same as 3, but with assimilation lighting *and* heating using mains electricity;
- 3d) the same as 3, but with assimilation lighting *and* heating using a gas-powered CHP and supplying electricity back to the public grid.

### *Results and conclusions*

At farm level, gas consumption in all variants - along with the associated CO<sub>2</sub> emissions - compared with the reference situation. The gas consumption and CO<sub>2</sub> emissions are reduced to zero if electricity is bought in for heating and/or lighting (2b and 3c). Next in line is variant 2a with just under 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> and 26.3 kg/m<sup>2</sup>. The gas consumption and emissions are highest in variants 3b and 3d (82.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> and 146.9 kg/m<sup>2</sup>, and 76.1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> and 135.5 kg/m<sup>2</sup> respectively).

At macro level, primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions fall in all concepts compared with the reference situation, with the exception of 3c (+15%). The primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions are lowest in 1a (146 MJ/m<sup>2</sup> and 8.1 kg/m<sup>2</sup>). The next concept (2a) has gas consumption and emissions that are three times as high. The highest gas consumption and emissions (3c) amount to 3100 MJ/m<sup>2</sup> and 174.6 kg/m<sup>2</sup>.

Physical production declines in most of the concepts (by 0-5%) compared with the reference situation through modifications to improve energy saving. Concept 3c is an exception (+7%). Energy efficiency improves substantially particularly in the concepts for crops without assimilation lighting; for 3a and 3c (assimilation lighting using mains electricity), this deteriorates compared with the reference situation.

The decrease of production and with it yield in most of the concepts will make it very hard to earn back the extra investments in energy poor farm concepts in spite of the energy saving.

The usage of and the emissions from crop protection agents decline in all the farm concepts compared with the reference situation. The estimated decline is largest (12-24%) for the concepts involving conditioning (2a and 2b). The consumption of nutrients and the associated emissions show the same patterns as the physical production due to the direct link.

To summarise, the concepts *without* assimilation lighting score better than the concepts *with* assimilation lighting in terms of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, at both micro and macro levels. Within the concepts without assimilation lighting, 1a scores the best at macro level, while 2a and 2b score best at micro level. Within the concepts *with* assimilation lighting, 3a scores the best at micro level, while 3d scores best at macro level. From economic point of view energy poor farm concepts don't offer complete good perspectives.

### *Recommendations*

In all the farm concepts, the primary (and secondary) energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions can be reduced further by reducing the heating and lighting re-

quirements of the crop. Farm concepts using gas as an energy carrier could reduce consumption and emissions by using a sustainable alternative (bio-fuels). Where electricity is the energy carrier, this means buying in green electricity or generating electricity oneself. Concepts involving conditioning can further reduce consumption and emissions through a larger proportion of closed greenhouses (with heat reclamation) or by closing the greenhouse for longer (without heat reclamation).

It deserves recommendation to look at the economic aspects of energy poor farm concepts. The obtainable energy saving at farm level is in most concepts coupled with a loss of production by which it seems hardly or not to earn back the extra investments.

The consumption of and emissions from crop protection agents can be further reduced through a form of climate conditioning, whereby the greenhouse can remain closed for longer periods. Reductions in consumption and emissions also appear to be possible through combining mobile cultivation with compartmentalisation, whereby treatment can be carried out for each separate cultivation phase.

The controlled emission of nutrients into sewers can be combated by means of purification at farm level and/or regional level.

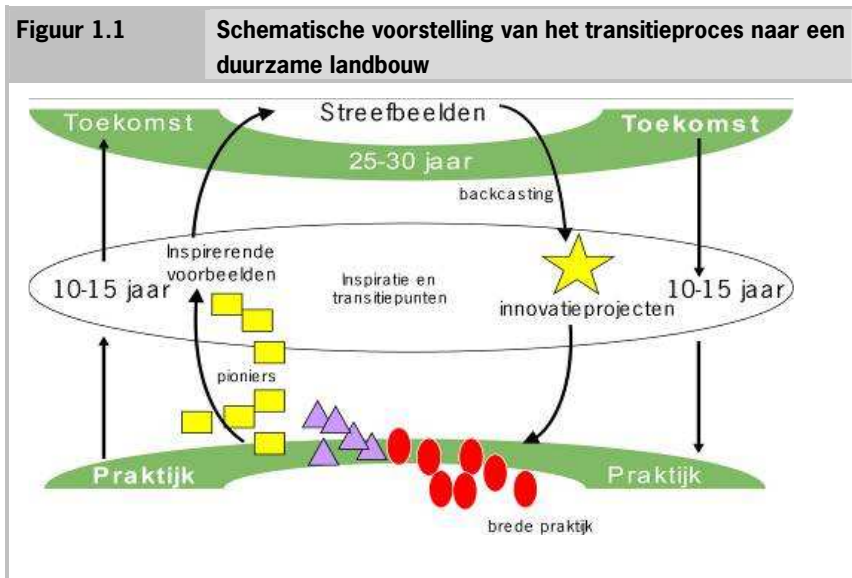
# 1 Inleiding

## Achtergrond

In het kader van het onderzoeksprogramma *Transitie, Innovatie en Kennisnetwerken voor geïntegreerde beschermde teelten (BO-07-006)* wordt gewerkt aan de beleidsopgaven van LNV. In het kort komen de beleidsopgaven neer op:

- duurzame productie bij gewasbescherming, mineralen, energie en CO<sub>2</sub>-reductie;
- herstructurering van de glastuinbouw.

In het onderzoeksprogramma worden twee sporen bewandeld: 'van toekomst naar de praktijk' en 'van praktijk naar de toekomst' (zie figuur 1.1).



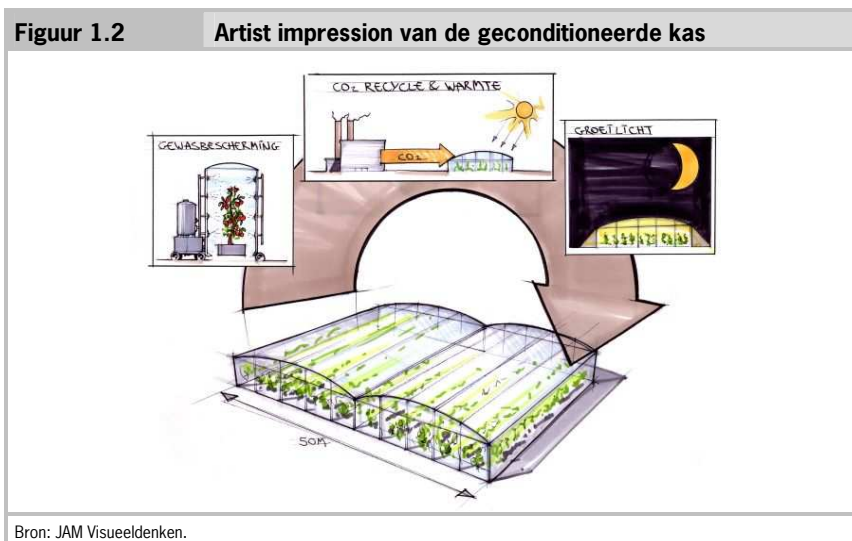
Deze twee sporen vullen elkaar aan, waarbij de samenhang op middellange termijn (10-15 jaar) het transitieproces kan verbreden en verdiepen. Drie clusters van activiteiten geven hieraan uitvoering: transitie en innovatie, co-innovatie en lerende netwerkgeving. Binnen het cluster 'transitie en innovatie' zijn inno-



vatieprojecten opgezet, die zich richten op de essentiële transitiepunten (transitieobstakels) en een tijdschijf van 10-15 jaar hebben.

De innovatieprojecten worden uitgevoerd in samenwerking met meerdere partijen (ondernemers, toeleveranciers, ketenpartijen en belanghebbenden) in de vorm van netwerken rond gedeelde oplossingsrichtingen. Het project 'Emissiearme kas' is een van de innovatieprojecten.

In de voorlopige studie voor de emissievrije kas (Ruijs, 2006) is het bedrijfsconcept 'geconditioneerde kas' het meest kansrijk genoemd om het langetermijndoel te verwezenlijken (zie figuur 1.2).



In deze rapportage wordt verslag gedaan van de vervolgtactiviteiten voor de emissiearme kas.

### *Doel*

Doel is het ontwerpen van bedrijfsconcepten van emissiearme kassen voor de middellange termijn (circa 10 jaar), waarbij schadelijke emissies aanzienlijk worden beperkt. Het streefbeeld op de lange termijn (25-30 jaar) is een emissievrije kas.

De focus ligt op het terugdringen van de emissies van CO<sub>2</sub>, energie, gewasbescherming en nutriënten in de geïntegreerde en beschermde teelt. Het bedrijf en de ondernemer(s) vormen de systeembegrenzing van het onderzoek. Het

streven naar een duurzame glastuinbouw op cluster- of gebiedsniveau is onderwerp van studie in het aanpalende project 'Kas in de stad'. De bedrijfsconcepten worden in deze studie beoordeeld op de P van planet.

#### *Aanpak - algemeen*

Het ontwerpen van emissiearme bedrijfsconcepten is gestoeld op drie pijlers: teeltfasering, conditionering en compartimentering. De teeltfasering vormt de basis voor een adequate probleemanalyse en -oplossing van ongewenste emissies in het teelt- en productieproces. Daarnaast is het een belangrijke opstap voor het conditioneren van de productieomstandigheden; dat wil zeggen, het creëren van omstandigheden die optimaal zijn voor de afzonderlijke teeltfasen én voorwaarden scheppen om ongewenste emissies te beperken. Door compartimentering van de productieruimte kan het conditioneren per teeltfase verder worden geoptimaliseerd. Bovendien kunnen de mogelijkheden van mechanisering en automatisering beter worden benut om het bedrijfsdoel en het milieudoel te bereiken.

De na te streven emissiereducties worden dus vanuit een integrale bedrijfs-optiek benaderd. Hierbij wordt ook gedacht aan de arbeidsomstandigheden voor de mens.

In de studie staan twee cases centraal. De eerste case betreft het tomatenbedrijf als representant voor de vruchtgroentebedrijven. Bij de tweede case gaat het om een chrysantenbedrijf als pilot voor de groep snijbloemenbedrijven. Bij de keuze van het voorbeeldgewas is rekening gehouden met de omvang van de ongewenste emissies. Bij het bedenken en ontwerpen van emissiearme bedrijfsconcepten is aangesloten op inspirerende praktijkvoorbeelden.

#### *Aanpak - de tomaat als case*

Om een vooruitblik te kunnen geven, is eerst een terugblik gedaan. Welke innovaties hebben in de afgelopen 10 jaar op tomatenbedrijven plaatsgevonden en welke impact heeft dit gehad op de structuur en de prestaties van de bedrijven in economisch en milieuopzicht (zie ook Ruijs, 2006b)?

Als startpunt voor het ontwerpen van emissiearme bedrijfsconcepten is de situatie van het representatieve tomatenbedrijf anno 2006 in kaart gebracht (zie foto pagina 17). Dit betreft een kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving van het tomatenbedrijf in (teelt)technisch en milieuopzicht. Hierbij hebben onder andere het bedrijf Themato en de deelnemende tomatenbedrijven in het project SynErgie als voorbeeld gediend ([www.synergieplaza.nl](http://www.synergieplaza.nl)).

In het ontwerpproces is gebruik gemaakt van de ideeën en suggesties van diverse partijen. Dit betreft glastuinbouwondernemers, toeleveranciers en dienstverlening. De ideeën zijn verkregen bij workshops en individuele gesprekken.

Daarnaast is een belangrijke input geleverd door de externe partijen in het projectteam: Ammerlaan Advies en Hoogendoorn Automatisering.



Teelt van tomaten in 2006.

## 2 Terugblik op innovaties 1995-2005

---

Om een uitdagende en realistische ambitie neer te zetten van de te verwachten emissiereducties in de komende 10 jaar, is teruggeblikt op de periode 1995-2005. Deze exercitie is beschreven in Ruijs (2006b). Hierna volgen in het kort de belangrijkste resultaten daaruit.

### *Innovaties*

In de volgende opsomming van innovaties is niet gestreefd naar volledigheid, maar de opsomming geeft een impressie van de terreinen waarop deze innovaties zoal hebben plaatsgevonden:

- *rassen*  
nieuwe marktsegmenten, zoals pruimtomaat en smaaktomaat;
- *afzetwijze*  
via afzet- en telersverenigingen;
- *energievoorziening/opwekking*  
ketel (WOK, VOS), wk-installatie (benutten warmte en CO<sub>2</sub> en gebruik en verkoop van elektra), (semi)'gesloten kas'-concepten (benutten zonne-energie door warmtepomp en aquifer);
- *energiebesparing*  
schermen, warmtebuffer;
- *productiesysteem*  
hangende goten, WPS, continu teeltsysteem en dergelijke;
- *teeltconcepten*  
biologisch telen, geïntegreerd telen, geconditioneerd telen;
- *gewasbescherming*  
biologisch, geïntegreerd, minder schadelijke middelen, nieuwe toedieningstechnieken;
- *bemesting*  
extra CO<sub>2</sub>-dosering (met ketel, wkk en via derden (OCAP));
- *regenwateropslag*  
ondergrondse wateropslag, waterkelders;
- *groeilicht*  
intensiteiten, branduren, mobiele systemen en lichtemissiereductieschermen;

- *kasconstructie*  
grotere spant/vak/poot/glasmaten, profielen en dergelijke;
- *kasdekmaterialen*  
hogere lichttransmissie, hogere isolatiewaarde en dergelijke;
- *mechanisering en automatisering*  
intern transport, verwerking, beeldverwerking;
- *procesautomatisering*  
klimaatbeheersing (weersvoorspelling, TI en dergelijke), meststofdosering, handelingen- en arbeidsregistratie;
- *certificering*  
ISO, HACCP, EurepGAP en dergelijke;
- *sensoren*  
plantsensoren, ionselectieve sensoren en dergelijke;
- *schaalvergroting*  
hoofd- en nevenvestigingen (in binnen- of buitenland);
- *managementstructuur*  
meerhoofdige leiding, gelaagde arbeidsorganisatie;
- *financieringsconstructie*  
lease-back (Rabobank), leasen en dergelijke.



Innovaties bij producttypen (1b), energiebesparing (rb), klimaatbeheersing (lo) en intensivering (ro).

*Bereikte prestaties in teelttechnisch, economisch en milieuopzicht*

Door de eerder vermelde innovaties hebben de bedrijfsprestaties zich tussen 1995 en 2005 gemiddeld als volgt ontwikkeld:

- het aantal tomatenbedrijven is fors afgenomen, terwijl de schaalomvang per bedrijf is verdubbeld;
- de fysieke productie is op gespecialiseerde tomatenbedrijven met 0,85% per jaar toegenomen. De opbrengsten en het nettobedrijfsresultaat werden sterk bepaald door de productprijs, die in 2004 een dieptepunt bereikte;
- de vervangingswaarde is jaarlijks toegenomen met 2,7% per jaar;
- de arbeidsproductiviteit, op basis van de fysieke productie, is bijna 2,5 maal beter geworden. Het aandeel arbeidskosten is op hetzelfde niveau gebleven;
- het gasverbruik en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-emissie zijn met 2,2% per jaar gedaald, terwijl het aandeel energiekosten gelijk is gebleven;

- het verbruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen is stabiel gebleven, waarbij het middelenpakket uit milieuoogpunt in positieve zin is gewijzigd. De kosten van biologische en chemische middelen zijn door de jaren heen nauwelijks gewijzigd en beperkt van omvang (aandeel in de totale kosten circa 4%);
- het verbruik van nutriënten is in de eerste helft van de beschouwde periode sterk gedaald en in de tweede helft weer fors gestegen door de productiestijging. Het kostenaandeel is gelijk gebleven.

#### *Toekomstverwachting bij voortgaande trends*

In 2010 zijn op het gespecialiseerde tomatenbedrijf door introductie en toepassing van innovaties de volgende ontwikkelingen te verwachten wanneer de trends uit de periode 1995-2004 worden doorgetrokken naar 2010:

- de fysieke productie neemt toe met gemiddeld circa 5% tot 57 kg/m<sup>2</sup> door verdere intensivering van de tomatenteelt (teeltconditionering, waaronder groeilicht, CO<sub>2</sub>-dosering en RV en rassenkeuze);
- de schaalvergroting zet door en resulteert in een gemiddelde bedrijfsgrootte van circa 53.500 m<sup>2</sup>;
- de vervangingswaarde van het bedrijf neemt toe met 17% tot een bedrag van circa 125 €/m<sup>2</sup>;
- de arbeidsproductiviteit neemt met circa 80% toe. Per hectare daalt de arbeidsinzet tot onder de 3 VAK/ha;
- het gasverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie zullen met ongeveer 13% afnemen. Het gemiddeld gasverbruik bedraagt dan circa 43,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en de CO<sub>2</sub>-emissie ruim 77 kg/m<sup>2</sup>;
- het chemische middelenverbruik kan met 15% dalen. De middelenemissie en de milieu-impact zullen verder teruglopen;
- de inzet van biologische middelen zal verder toenemen;
- het nutriëntenverbruik zal proportioneel toenemen met de toename van de fysieke productie (circa 5%). De emissie neemt echter niet toe door gecontroleerde afvoer via het rioolstelsel.

In tabel 2.1 is dit nog eens weergegeven.

**Tabel 2.1      Structuur, productie, arbeid en verbruik en emissie op  
tomatenbedrijven in 2004 en een schatting voor 2010 (extra-  
polatie trends periode 1995-2004)**

	<b>2004</b>	<b>2010 a)</b>
Oppervlakte gespecialiseerd glas per bedrijf (m <sup>2</sup> )	31.600	53.500
Productie (kg/m <sup>2</sup> )	54,3	57
Vervangingswaarde (euro/m <sup>2</sup> )	106	125
Oppervlakte gespecialiseerd glas per bedrijf (m <sup>2</sup> )	31.600	53.500
Productie (kg/m <sup>2</sup> )	54,3	57
Vervangingswaarde (euro/m <sup>2</sup> )	106	125
Oppervlakte gespecialiseerd glas per bedrijf (m <sup>2</sup> )	31.600	53.500
Productie (kg/m <sup>2</sup> )	54,3	57
Vervangingswaarde (euro/m <sup>2</sup> )	106	125
a) 2010 inschatting		



### 3 Toekomstbeeld van het tomatenbedrijf 2010-2015

---

In een workshop in 2006 is aan een groep innovatieve tomatenondernemers gevraagd hun visie op het toekomstige tomatenbedrijf te geven. De vraag hierbij was: In welke richting dient het bedrijf zich te ontwikkelen om zich staande te houden in de internationale concurrentiestrijd en tegemoet te komen aan de eisen en wensen van de markt en maatschappij ten aanzien van een duurzame productiewijze?

De workshop is gehouden op het bedrijf van boomkwekerijbedrijf Van der Starre in Boskoop (winnaar Nationale Tuinbouw Ondernemersprijs 2006) om als inspiratie te dienen voor de bijeenkomst.

In de workshop is de terugblik op innovaties in de tomatenteelt als achtergrond gebruikt om te brainstormen over het toekomstbeeld. Daarnaast hebben de ondernemers vooraf hun visie beschreven in steekwoorden. Samen vormden ze het startpunt voor de discussie.

In het toekomstbeeld zijn volgens de ondernemers de volgende onderwerpen dominant:

- markt;
- bedrijfsstructuur;
- teelt;
- energie;
- mechanisering en automatisering.

Hierna lichten we bovenstaande items beknopt toe aan de hand van de door de ondernemers te verwachten ontwikkelingen:

- *markt*
  - ondernemers concentreren afzet en bieden daarmee tegenwicht aan de marktmacht van supermarkten en handelsbedrijven;
  - toenemende vraag naar smaakvolle tomaten en andere nicheproducten (inhoudsstoffen). Dit vereist de ontwikkeling van nieuwe rassen (in kenten);
  - duurzame productiewijze voor een schoon product als marktinstrument benutten (sluiten van kringlopen voor water en energie).

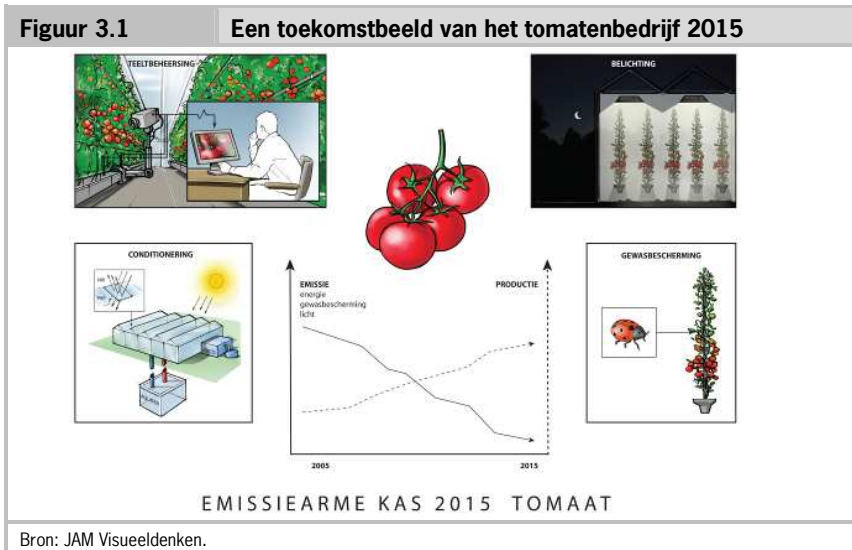
- *bedrijfsstructuur*
  - grootschalige bedrijven: benutten schaalvoordelen op diverse terreinen, zoals investeringen, arbeidsspecialisatie, allianties met afnemers en toeleveranciers, uitzetten individueel onderzoek;
  - breed en kundig management: meerhoofdige leiding met completerende deskundigheden en competenties.
- *teelt*
  - geconditioneerd telen: energiebesparing en productieverbetering (kwantiteit en kwaliteit);
  - zo veel mogelijk onafhankelijk van gewasbeschermingsmiddelen en residuvrij;
  - intensivering: CO<sub>2</sub>-dosering, belichting in combinatie met lichtemissiereductie.
- *mechanisering/automatisering*
  - verbeteren werkmethoden (efficiënter en arbeidsvriendelijker) en interne logistiek: onder andere mobiele teelt, robotisering;
  - procesautomatisering: meten/regelen/sturen van de teelt, arbeidsregistratie, kwaliteitsbewaking, tracking and tracing;
  - informatisering van bedrijfsprocessen: betere grip op het bedrijfsgebeuren voor interne en externe controle.
- *energie*
  - reduceren fossiele brandstoffen: verminderen CO<sub>2</sub>-emissie en verbeteren imago door;
  - zelf opwekken warmte, elektra en CO<sub>2</sub> met wkk voor eigen gebruik en levering aan derden (elektra en warmte);
  - benutten zonne-energie in semigesloten kassen door lange termijn warmte/koudeopslag;
  - CO<sub>2</sub> van derden (onder andere OCAP).

Er is niet één toekomstbeeld voor het tomatenbedrijf. Ook in de toekomst zullen tomatenbedrijven verschillen in omvang, afzetmarkt, organisatie en productiewijze. Een belangrijk verschil in toekomstvisie tussen ondernemers is bijvoorbeeld de noodzaak om te belichten. Wil men jaarrond leveren door zelf jaarrond te produceren of door in een deel van het jaar aan te voeren en in de andere periode door (al dan niet in samenwerking met) buitenlandse producenten?

Wel is duidelijk dat voor het bereiken van een toekomstbeeld veranderingen nodig zijn. Dit vraagt samenwerking met andere partijen, meer interactie tussen

verschillende partijen, zoals ondernemers, toeleveranciers, overheden, dienstverleners en belanghebbenden. Een belangrijke vraag voor ondernemers is wie daarbij de regie moet(en) of wil(len) hebben.

Op basis van de toekomstvisies van de ondernemers is een schets gemaakt van een toekomstig tomatenbedrijf (zie figuur 3.1).



## 4 Bedrijfsconcepten emissiearme kas

---

In het ontwerpproces van emissiearme kassen voor de tomaat hebben de emissies van gewasbeschermingsmiddelen, energie/CO<sub>2</sub>, nutriënten en groeilicht centraal gestaan. Het zwaartepunt ligt op het terugdringen van het fossiele energieverbruik en daarmee de CO<sub>2</sub>-emissie. In eerste instantie zijn in de workshop met een groep innovatieve ondernemers de ambities bepaald voor het terugdringen van de emissies. Op het milieuterrein energie/CO<sub>2</sub> is dit vertaald in een reductiepercentage. Voor de andere milieuterreinen zijn de ambities in kwalitatieve zin geïdentificeerd en vervolgens in de projectgroep gekwantificeerd. Om te beoordelen of de ambities kunnen worden bereikt, is een referentiesituatie beschreven. Deze referentie dient als startpunt voor het ontwerpen en kwantificeren van emissiearme bedrijfsconcepten. Ten slotte zijn de te verwachten emissiereducties in kaart gebracht.

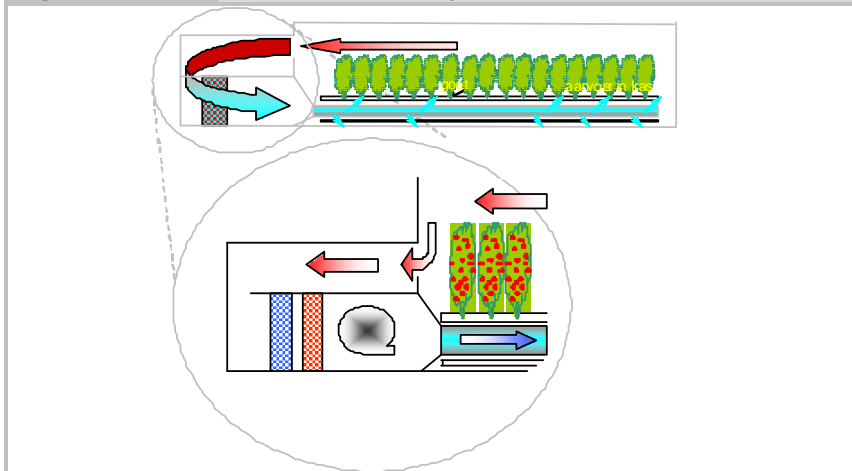
### 4.1 Ambities emissiereductie

#### *Energie/CO<sub>2</sub>*

Op het milieuterrein energie/CO<sub>2</sub> is de ambitie afgeleid van de ontwikkelingen bij Themato ([www.themato.nl](http://www.themato.nl)). Door Th. Ammerlaan (Themato) werd tijdens de workshop in 2006 voor zijn onbelichte tomatenbedrijf in 2010 een gasverbruik op bedrijfsniveau mogelijk gehouden van 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Hiermee zou het gasverbruik en daarmee de CO<sub>2</sub>-emissie met bijna 50% worden gereduceerd ten opzichte van het gemiddelde gasverbruik op tomatenbedrijven in 2005 (Ruijs, 2006b). Het reductiepercentage is gebaseerd op het 'gesloten kas'-concept. Het bedrijf is daarbij verdeeld in een gesloten en een open afdeling. De in de zomer geoogste warmte in de gesloten afdeling wordt in de winter benut op het gehele bedrijf (zie figuur 4.1).

**Figuur 4.1**

**'Gesloten kas'-concept**



In de praktijk vindt daarnaast een sterke uitbreiding plaats van de belichte teelt. Deze teelt kent een grotere energievraag door de extra vraag naar elektriciteit voor groeilicht. De grotere vraag naar energie (warmte én elektriciteit) leidt tot een verschillende invulling (configuratie) van de energievoorziening. Zo kan de elektriciteitsvraag voor groeilicht (deels) op het bedrijf zelf worden opgewekt met een wkk. De geproduceerde warmte en CO<sub>2</sub> worden ook in het bedrijf aangewend.

Ondanks de verschillende productiewijzen van tomaten (onbelicht versus belicht) is in deze case hetzelfde ambitieniveau aangehouden, omdat een gelijke inspanning wordt verondersteld. Zo is voor de CO<sub>2</sub>-emissiereductie op bedrijfsniveau in 2010 een ambitie aangehouden van minimaal 50% ten opzichte van 2006.

Er zijn twee methoden gebruikt om de emissiereductie van energie en CO<sub>2</sub> te bepalen. De eerste methode gaat uit van het gasverbruik en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-emissie op het bedrijf en is conform de IPCC-methode (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change).

In de tweede methode wordt rekening gehouden met het vermeden energieverbruik en de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie. Hiervan is sprake als het glastuinbouwbedrijf elektriciteit teruglevert aan het net of warmte levert aan derden. Dit is het geval wanneer een wkk op het bedrijf aanwezig is en elektriciteit wordt teruggeleverd en/of overtollige warmte (van wkk of uit zonne-energie) wordt geleverd aan derden. In dat geval worden het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie volgens

de eerste methode verminderd met het vermeden energieverbruik en de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie die een elektriciteitscentrale zou veroorzaken als het de teruggeleverde elektriciteit opwekt of de andere partij de warmte zelf opwekt. De tweede rekenmethode sluit aan bij de bepaling van de CO<sub>2</sub>-emissie, die is overeengekomen tussen de overheid en de glastuinbouwsector (CO<sub>2</sub>-emissieruimte), waarbij de CO<sub>2</sub>-emissie van teruggeleverde elektriciteit en warmtelevering aan derden niet wordt meegeteld.

### *Gewasbescherming*

Voor het terugdringen van de emissie van gewasbeschermingsmiddelen konden de ondernemers in de workshop in 2006 geen concrete ambitie formuleren. Wel leerde de ervaring bij Themato met geconditioneerd telen dat het middelenverbruik in de gesloten afdeling aanzienlijk lager was dan in de open afdeling. Ook de andere ondernemers gaven aan dat door deze ontwikkeling het schone product op termijn in het verschieft ligt. Op basis daarvan is de ambitie voor het verbruik en de emissiereductie van gewasbeschermingsmiddelen gesteld op 50%.

### *Lichtuitstoot*

Hoewel het toepassen van groeilicht een niet te stuiten ontwikkeling is, onderkennen de ondernemers dat de problematiek van lichtuitstoot dient te worden aangepakt. Voor de ambitie wordt daarbij uitgegaan van het convenant (in 2006 gesloten) tussen de Stichting Natuur en Milieu (SNM) en de glastuinbouwsector (LTO Glaskracht Nederland). In dit convenant is overeengekomen dat vanaf 2008 alle belichte kassen een donkerperiode aanhouden, waarin het licht uit de kassen voor minimaal 95% wordt afgeschermd. Vanaf 2014 wordt gedurende 6 uur het licht uit kassen voor 100% procent afgeschermd ([www.snm.nl](http://www.snm.nl)).

### *Nutriënten*

Voor nutriëntenemissie is door de ondernemers in 2006 (én in een breed samengestelde workshop in 2005; Ruijs, 2005) gesteld dat deze emissie 'eenvoudig' kan worden ondervangen. Door de teelt op substraat en recirculatie en hergebruik van voedingswater kan emissie worden voorkomen. Bij het wettelijke toegestane spui wordt dit op het riool gedaan. Wel dient het bedrijf op het rioolstelsel te zijn aangesloten.

## 4.2 Referentiesituatie

### 4.2.1 Algemene beschrijving

Als startpunt voor de beoordeling van de emissiereducties is een referentiesituatie beschreven voor een tomatenbedrijf. Dit betreft drie situaties:

- 1) onbelicht tomatenbedrijf;
- 2) onbelicht tomatenbedrijf met geconditioneerd telen ('gesloten kas'-concept);
- 3) belicht tomatenbedrijf.

Voor het beschrijven en kwantificeren van de referentiesituaties is gebruik gemaakt van informatie van praktijkgegevens (onder andere het LEI en Thema-to), KWIN (Vermeulen et al., 2008) en expertise van Wageningen UR Glastuinbouw (informatie M. van der Staaij en W. Voogt). Als algemeen uitgangspunt geldt dat het een modern en goed geleid bedrijf betreft van 5-10 ha met als peiljaar 2006.

#### Ad 1) Onbelicht tomatenbedrijf

De teelt van grove tomaten vindt plaats op een bedrijf, waarbij een gasgestookte wkk en ketel in de warmte voorzien en de opgewekte elektriciteit wordt teruggeleverd aan het net. Daarnaast zijn een scherm en warmtebuffer aanwezig. Voor meer details over de kas, buitencondities, teelt en kasklimaat verwijzen we naar bijlage 1.



Onbelichte trostomatenteelt (gangbaar).

#### Ad 2) Onbelicht trostomatenbedrijf met geconditioneerd telen

Voor deze referentie heeft het bedrijf Themato - met het 'gesloten kas'-concept - model gestaan. Daarnaast zijn er ook andere systeemvarianten van geconditioneerd telen in de praktijk, zoals de energieproducerende kas, semigesloten kas, Aircokas en dergelijke. Themato is eind 2003 als eerste gestart met het geconditioneerd telen. Op basis van de behaalde resultaten in 2004, 2005 en 2006 (Info ThematoAdvies) is een vertaalslag gemaakt naar een referentiesituatie. In warmte wordt voorzien door de geogoste zonne-energie (met behulp van luchtbehandelingkasten, warmtepomp en korte- en langetermijnopslag), een wkk en aanvullend met de ketel. De wkk levert de elektriciteit voor de warmtepomp. In het 'gesloten kas'-concept is ervan uitgegaan dat 25% van het glasoppervlak uit een gesloten kasafdeling bestaat.

Daarnaast zijn een scherm en warmtebuffer aanwezig. Voor meer details over de kas, buitencondities, teelt en kasklimaat verwijzen we naar bijlage 1.





Onbelichte trostomatenteelt met systeem van klimaatconditionering.



Belichte trostomatenteelt.

### Ad 3) Belicht trostomatenbedrijf

Deze referentiesituatie betreft de belichte teelt van fijne trostomaten (cocktailtomaten). In warmte en elektriciteit wordt primair voorzien door een gasgestookte wkk en aanvulling met een ketel. Behalve elektriciteitsproductie voor groeilicht wordt ook elektriciteit teruggeleverd aan het net. Wat betreft het niveau van belichten en de omvang van elektriciteiteruglevering is er grote variatie in de praktijk. Daarnaast zijn een scherm en warmtebuffer aanwezig. De cijfers zijn ontleend aan de KWIN (Vermeulen et al., 2008) en aan dit onderzoek.

Voor meer details over de kas, buitencondities, teelt en kasklimaat verwijzen we naar bijlage 1.

#### 4.2.2 Kengetallen

Voor de drie referentiesituaties zijn de relevante kengetallen in tabel 4.1 opgenomen.

<b>Tabel 4.1</b>		<b>Overzicht van relevante kengetallen voor de drie referentiesituaties van de trostomatenteelt (bedrijfsomvang 7 ha peiljaar 2006)</b>		
<b>Referentiesituatie</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Kengetallen</b>	<b>Onbelichte trostomaten</b>	<b>Onbelichte trostomaten en geconditioneerd telen (25% gesloten)</b>	<b>Belichte trostomaten</b>	
Energie-uitrusting	Wkk, ketel, buffer en scherm	Wkk, warmtepomp, aquifer, ketel, buffer en scherm	Wkk, ketel, buffer, scherm en belichting (13.500 lux)	
Gasverbruik (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	77,8	30,0	107,3	
Elektriciteitsverbruik (kWh/m <sup>2</sup> )	7	7	7	
Elektriciteit teruglevering (kWh/m <sup>2</sup> )	242	7	193	
Primair energieverbruik, inclusief teruglevering (MJ/m <sup>2</sup> )	382	949	2703	
Productie (kg/m <sup>2</sup> )	63,0	66,1	76,5	
Primair energieverbruik per kg product (MJ/kg)	6,1	14,4	35,3	
Gewasbescherming (kg werkzame stof/ha)	12,5	12,0	17,0	
Nutriënten: N	1.493	1.566	1.812	
(kg zuivere meststof/ha) P	437	459	531	

Uit tabel 4.1 blijkt dat het onbelichte tomatenbedrijf met conditionering een duidelijk lager fossiel energieverbruik heeft dan de andere twee referentiesituaties. Daartegenover leveren deze twee referentiebedrijven substantieel elektriciteit terug. Het primair energieverbruik ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) laat zien dat het onbelichte bedrijf met elektrateruglevering in dat opzicht gunstiger is. Er treedt wel warmtevernietiging op in het onbelichte bedrijf ( $290 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ) en in het belichte bedrijf ( $770 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ).

De productie op het belichte bedrijf is ruim 20% hoger dan op het onbelichte bedrijf en circa 15% hoger dan het onbelichte bedrijf met conditionering. Per eenheid product is de energie-efficiëntie het gunstigst bij de onbelichte teelt en teruglevering.

Het nutriëntenverbruik is sterk gerelateerd aan het productieniveau. Het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen is indicatief, omdat goede cijfers ontbreken.

Bovenstaande verbruikscijfers voor energie, gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten zijn hieronder vertaald naar emissiecijfers.

### *CO<sub>2</sub>*

Het fossiele energieverbruik op bedrijfsniveau leidt tot een overeenkomstige CO<sub>2</sub>-productie. Een klein deel daarvan neemt het gewas op. Dit is kort cyclisch CO<sub>2</sub> dat na consumptie en compostering weer vrijkomt. Ook is de vermeden CO<sub>2</sub>-productie door de elektriciteitscentrale vermeld, die samenhangt met de teruggeliverde elektriciteit (zie tabel 4.2). In de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot is de opname van CO<sub>2</sub> niet meegenomen.

De CO<sub>2</sub>-uitstoot op bedrijfsniveau is het laagst bij de onbelichte tomatenteelt met conditionering. Wanneer de vermeden productie door de centrale wordt verdisconteerd, is de uitstoot van CO<sub>2</sub> het laagst bij de onbelichte tomatenteelt in combinatie met teruglevering van elektriciteit. Het belichten van tomaten leidt ondanks teruglevering van elektriciteit tot een aanzienlijk grotere CO<sub>2</sub>-uitstoot dan op het onbelichte bedrijf.



### *Nutriënten*

Het bepalen van de emissie van stikstof en fosfor is niet eenvoudig. Het merendeel van de toegediende meststoffen wordt vastgelegd in de planten. De emissie door lozing van spuiwater is vastgesteld op minimaal 0,55%. Uit onderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw bleek dat 4% van de toegediende N- en P-gift niet kon worden herleid (Raaphorst et al., 2003). In deze studie is uitgegaan van een totale emissie van 2% van de totale N- en P-gift. Indien een bedrijf is aangesloten op het riool, kan er sprake zijn van een emissie (lozing) naar het riool. In tabel 4.3 is de berekende emissie voor stikstof en fosfor voor de referentiesituaties weergegeven.

<b>Tabel 4.3 Emissie van nutriënten voor de drie referentiesituaties van de trostomatenteelt bij een bedrijfsomvang van 7 ha, peiljaar 2006</b>		
<b>Referentiesituatie</b>	<b>Emissie stikstof (kg/ha)</b>	<b>Emissie fosfor (kg/ha)</b>
1. Onbelichte trostomatenteelt	29,9	8,7
2. Onbelicht en geconditioneerd trostomatenteelt	31,3	9,2
3. Belichte trostomatenteelt	36,2	10,6

### *Groeilicht*

Het belichte trostomatenbedrijf leeft de bestaande richtlijnen voor het gebruik van groeilicht na. Dit houdt in: een donkerperiode van 4 uur tussen 20.00 en 24.00 uur of een emissiereductie van minimaal 85%.

## **4.3 Toekomstige situatie - 2010**

Bij het ontwerpen van vernieuwende bedrijfsconcepten heeft de CO<sub>2</sub>-uitstoot centraal gestaan. De overige emissiesoorten (gewasbescherming en nutriënten) zijn wel bekeken, maar minder in detail. De alternatieve bedrijfsconcepten zijn doorgerekend op de effecten voor het fossiele energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

### *Energie en CO<sub>2</sub>-uitstoot*

De volgende varianten van energieconcepten per referentiesituatie zijn beschouwd:

- Referentie 1: onbelicht (gasgestookte wkk en dergelijke)
  - a) idem 1, maar zonder gebruik minimumbuis en geen warmtevernietiging.
- Referentie 2: onbelicht en 25% gesloten (gasgestookte wkk, wp, aquifer en dergelijke)
  - b) idem 2, maar zonder gebruik minimumbuis en aandeel gesloten 50%;
  - c) idem 2, maar geen wkk, wp met elektra van het net, zonder gebruik minimumbuis, aandeel 'gesloten' 100% (à la 'kas zonder gas'; zie figuur 4.5).
- Referentie 3: belicht (gasgestookte wkk en dergelijke)
  - d) idem 3, maar geen wkk, belichten met elektra uit het net en gasketel;
  - e) idem 3, maar belichten met gasgestookte wkk zonder elektriciteit teruglevering;
  - f) idem 3, maar geen wkk, belichten én verwarmen met elektra uit het net;
  - g) idem 3, maar belichten én verwarmen met elektra van de gasgestookte wkk.



'Kas zonder gas' project bij M. van der Hoorn, orchideeënteler in Ter Aar. Bron: [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu).

In tabel 4.4 is het berekende energieverbruik, het primair energieverbruik en het eventuele vernietigde of overtollige vermogen vermeld.

<b>Tabel 4.4</b>		<b>Energieverbruik (m<sup>3</sup>, kWh), primair energieverbruik (MJ) en warmteverniëting (MJ) voor de verschillende referentiesituaties en de varianten</b>				
<b>Kengetal Variant</b>	<b>Gas (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Primaire energie (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Elektra (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Primaire energie (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Totaal primaire energie (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Warmte verniëting (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
1	77,8	2.464	-235	-2.082	382	290
1a	67,0	2.123	-230	-1.977	146	0
2	30,0	949	0	0	949	0
2a	14,9	470	0	0	470	0
2b	0	0	75	647	647	0
3	107,3	3.399	-186	-696	2.703	769
3a	33,1	1.047	195	1.674	2.721	0
3b	82,5	2.611	0	0	2.611	668
3c	0	0	362	3.104	3.104	0
3d	76,1	2.408	-46	-400	2.008	503

1a. onbelicht: gasgestookte wkk zonder gebruik minimumbuis en geen warmteverniëting; 2a. onbelicht en 50% gesloten: gasgestookte wkk en warmtepomp, zonder gebruik minimumbuis; 2b. onbelicht en 100% gesloten: warmtepomp met elektra van net, zonder gebruik minimumbuis; 3a. belicht: belichten met elektra uit het net en verwarmen met gasketel; 3b. belicht: belichten met gasgestookte wkk zonder elektriciteit teruglevering; 3c. belicht: belichten én verwarmen met elektra uit het net; 3d. belicht: belichten én verwarmen met elektra van de gasgestookte wkk.

Het energieverbruik is relatief laag ten opzichte van de huidige praktijk. Dit komt vooral doordat de relatieve vochtigheid hoog is ingesteld (90%). Daarnaast wordt geen extra verwarming gebruikt op het moment dat het vochniveau te hoog wordt. Ten slotte wordt in de berekeningen geen minimumbuis ingezet, wat in de huidige praktijk wel gebruikelijk is.

Het verwarmen van kassen zonder de inzet van aardgas betekent niet automatisch een duurzaamheidsverbetering (zie variant 2b en 3c). In plaats daarvan wordt elektriciteit ingekocht en bij een gasgestookte energiecentrale wordt uiteindelijk meer primaire energie ingezet. Wanneer de elektriciteit duurzaam wordt ingekocht (wind, zon en dergelijke), wordt geen primaire energie gebruikt. Alleen is dit economisch niet aantrekkelijk.

Uit tabel 4.4 blijkt overduidelijk dat belichten een hogere inzet van primaire energie vraagt (variant 3a t/m 3d) dan de onbelichte teelt. Het belichten met

elektra van eigen wkk (3b en 3d) is uit energieoogpunt op macroniveau gunstiger dan met elektra uit het net (3a en 3c). Wel ontstaat bij variant 3b en 3d warmtevernietiging; ook in het geval zonder elektrateruglevering (3b). Omgerekend komt dit overeen met 21 respectievelijk 16 m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>. De warmtevernietiging bij variant 3b en 3d neemt wel substantieel af ten opzichte van referentie 3.

De systeemvarianten met conditionering (variant 2a en 2b) produceren koude in de winter, die in de zomer nuttig wordt aangewend om de kas langer gesloten te houden voor CO<sub>2</sub>-dosering. De koudeproductie is bij eigen elektrateruglevering voor de warmtepomp lager dan wanneer men elektra inkoop.

De berekende effecten van de systeemvarianten op het aantal schermuren, belichtingsuren en biomassaproductie zijn in bijlage 2 weergegeven. Hieruit blijkt dat het aantal schermuren door belichting substantieel (ruim 20%) afneemt. Aan de andere kant neemt de biomassaproductie zoals verwacht toe (zie ook bijlage 2).

De effecten op de fysieke productie en de energie-efficiëntie staan in tabel 4.5. De fysieke productie neemt voor de meeste varianten af ten opzichte van de referentiesituatie. De reden hiervan is een gemiddeld lager CO<sub>2</sub>-niveau in de kas en/of een kleiner belichtingsvermogen (door minder branduren van de lampen).

Bij variant 3d is weliswaar het gemiddelde CO<sub>2</sub>-niveau in de kas hoger dan in de referentie, maar ligt het belichtingsvermogen aanzienlijk lager, waardoor per saldo de fysieke productie daalt.

De energie-efficiëntie is het gunstigst bij variant 1a en wordt met name veroorzaakt door de elektrateruglevering. De energie-efficiëntie van de varianten 1a, 2a en 2b verbetert ten opzichte van de referentiesituatie (zie tabel 4.5). Bij de belichte teelt (3b en 3d) verbetert de energie-efficiëntie ten opzichte van de referentieteelt; het verslechtert als voor het belichten (grijze) elektriciteit wordt ingekocht (3a en 3c).



<b>Tabel 4.5</b>		<b>Fysieke productie (kg/m<sup>2</sup>), energie-efficiëntie (MJ/kg) en productie (kg/m<sup>2</sup>) en energie-efficiëntie ten opzichte van referentiesituatie (in %) voor de verschillende varianten</b>		
<b>Kengetal</b>	<b>Fysieke productie kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Fysieke productie t.o.v. referentie %</b>	<b>Energie-efficiëntie MJ/kg</b>	<b>Energie-efficiëntie in % van referentie a)</b>
1	63,0	-	6,1	-
1a	59,3	-5,9	2,5	41,0
2	66,1	-	14,4	-
2a	64,5	-2,4	7,3	50,7
2b	66,0	-0,2	9,8	68,0
3	76,5	-	35,3	-
3a	71,3	-6,8	38,2	108,2
3b	76,5	0	34,1	96,6
3c	81,8	6,9	37,9	107,4
3d	73,5	-3,9	27,3	77,3

a) Energie-efficiëntiereferentie = 100; 1a. onbelicht: gasgestookte wkk zonder gebruik minimumbuis en geen warmtevernieuwing; 2a. onbelicht en 50% gesloten: gasgestookte wkk en warmtepomp, zonder gebruik minimumbuis; 2b. onbelicht en 100% gesloten: warmtepomp met elektra van net, zonder gebruik minimumbuis; 3a. belicht: belichten met elektra uit het net en verwarmen met gasketel; 3b. belicht: belichten met gasgestookte wkk zonder elektriciteit teruglevering; 3c. belicht: belichten én verwarmen met elektra uit het net; 3d. belicht: belichten én verwarmen met elektra van de gasgestookte wkk.

Hoe pakt het voorgaande nu uit voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende systeemvarianten? De CO<sub>2</sub>-uitstoot is lager dan in de vergelijkbare referentiesituatie met uitzondering voor de varianten 3a en 3c (zie tabel 4.6). Bij deze varianten leidt de inkoop van elektra voor belichten en verwarmen tot een hoge CO<sub>2</sub>-productie-uitstoot in de centrale. Tabel 4.6 laat ook zien dat bij de varianten 2a, 2b en 3c additioneel CO<sub>2</sub> moet worden ingekocht om de gewenste CO<sub>2</sub>-dosering te realiseren. Bij variant 2a is bijna evenveel CO<sub>2</sub> aanvullend nodig als in variant 2b en 3c. Blijkbaar is in variant 2a de door de ketel geproduceerde CO<sub>2</sub> niet op het juiste moment beschikbaar. Omdat de ingekochte CO<sub>2</sub> afkomstig is uit een andere (duurzame) bron, wordt deze CO<sub>2</sub>-inkoop niet tot de uitstoot van het glastuinbouwbedrijf gerekend.

Tabel 4.6

CO<sub>2</sub>-productie, -inkoop, -opname, -productie centrale en -uitstoot voor de referentie en varianten (in kg/m<sup>2</sup>) en CO<sub>2</sub>-uitstoot van varianten ten opzichte van referentie (in %)

Kengetal	CO <sub>2</sub> -productie op bedrijf	CO <sub>2</sub> -inkoop	CO <sub>2</sub> -opname plant a)	CO <sub>2</sub> -uitstoot op bedrijf b)	(Vermeden) CO <sub>2</sub> -productie door centrale c)	CO <sub>2</sub> -uitstoot, incl. (vermeden) productie centrale	CO <sub>2</sub> -uitstoot, incl. centrale t.o.v. referentie
Variant	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	%
1	138,5	0	6,3	138,5	-117,1	21,4	-
1a	119,3	0	5,9	119,3	-111,2	8,1	-62,1
2	53,4	0	6,5	53,4	0	53,4	-
2a	26,3	26,1	6,5	26,3	0	26,3	-50,7
2b	0	28,4	6,6	0	36,4	36,4	-31,8
3	191,0	0	7,7	191,0	-39,1	151,9	-
3a	58,9	0	7,1	58,9	94,1	153,0	0,7
3b	146,9	0	7,7	146,9	0	146,9	-3,3
3c	0	28,4	8,2	0	174,6	174,6	14,9
3d	135,5	0	7,4	135,5	-22,2	113,3	-25,4

a) Per kg grove trostomaten (inclusief bladmassa en stengels) wordt circa 0,1 kg CO<sub>2</sub> opgenomen; b) Voor de bepaling van de uitstoot telt de gewasopname en inkoop van CO<sub>2</sub> niet mee; c) Bij gasgestookte elektracentrale met 42% elektrisch rendement. Vermeden uitstoot = negatief teken; 1a. onbelicht: gasgestookte wkk zonder gebruik minimumbuis en geen warmtevernieuwing; 2a. onbelicht en 50% gesloten: gasgestookte wkk en warmtepomp, zonder gebruik minimumbuis; 2b. onbelicht en 100% gesloten: warmtepomp met elektra van net, zonder gebruik minimumbuis; 3a. belicht: belichten met elektra uit het net en verwarmen met gasketel; 3b. belicht: belichten met gasgestookte wkk zonder elektriciteit teruglevering; 3c. belicht: belichten én verwarmen met elektra uit het net; 3d. belicht: belichten én verwarmen met elektra van de gasgestookte wkk.

Uit tabel 4.6 blijkt dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot (inclusief vermeden uitstoot) voor de varianten zonder belichting aanmerkelijk lager is dan voor de varianten met belichting. De CO<sub>2</sub>-uitstoot is groter dan voor vergelijkbare varianten als de benodigde elektriciteit (voor warmtepomp of belichten) uit het net wordt betrokken.

### *Overzicht*

Variant 1a levert de laagste CO<sub>2</sub>-uitstoot op. Dit is in hoofdzaak te danken aan de teruglevering van elektra. Hierbij geldt de kanttekening dat de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot van elektriciteitteruglevering is gebaseerd op een gasgestookte elektriciteitscentrale. De varianten met de onbelichte teelt in combinatie met conditionering (2a en 2b) volgen op gepaste afstand. De varianten met de belichte teelt behouden een grotere CO<sub>2</sub>-uitstoot dan de belichte teelt.

Bij variant 2b en 3c kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot op macroniveau tot nul worden gereduceerd als de elektriciteit duurzaam wordt ingekocht. Voor de overige varianten dient men een duurzame vervanger voor aardgas te vinden (onder andere biobrandstof).

Tabel 4.4 liet zien dat voor variant 3b en 3d een warmteoverschot (vernietiging) wordt berekend. Wanneer dit warmteoverschot elders kan worden aangevend, levert dit een extra reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op van 37,6 en 28,3 kg/m<sup>2</sup>. In dat geval komt de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot uit op 109,3 en 97,9 kg/m<sup>2</sup>, een reductie van 28 respectievelijk 36% ten opzichte van referentiesituatie 3. Ondanks deze reductie blijft de absolute CO<sub>2</sub>-uitstoot groter dan bij de onbelichte teelt.

### *Economisch perspectief*

Hoewel geen economische analyse is uitgevoerd, zijn toch wel enige indicaties af te geven over het economisch perspectief van de energiearme bedrijfsconcepten. De concepten bereiken allemaal een gasbesparing op bedrijfsniveau, maar daar staat in de meeste gevallen een productiedaling (tot 6%) tegenover. De bedrijfsconcepten 2b en 3c hebben geen gasverbruik, maar daar staat relatief dure elektriciteit tegenover. De impact van een productiedaling op het financiële resultaat is groter dan dat van een energiebesparing. De energiekosten van een tomatenbedrijf bedragen grofweg 10-20% (onbelicht respectievelijk belicht, inclusief teruglevering) van de totale bedrijfskosten (Vermeulen, 2008). Een productiedaling van 5% komt daarmee in geld uitgedrukt overeen met een energiebesparing van circa 25-50%. En dan zijn de extra kosten van de energiebesparende maatregelen nog niet in beschouwing genomen.

Het bovenstaande wijst erop dat het economisch perspectief van energiearme bedrijfsconcepten niet groot lijkt. Hogere energieprijzen zullen het perspectief dichterbij brengen.

### *Gewasbescherming*

Bij de productiewijze verschillen de meeste varianten van energieconcepten niet substantieel van de referentiesituatie. Alleen bij variant 2a en 2b is sprake van een gewijzigde productiesituatie, doordat een groter deel van de kas in de zomerperiode geconditioneerd kan worden. Bij variant 2a is deze 50% en bij variant 2b is de gehele kas van een systeem van klimaatconditionering voorzien. Door het grotere aandeel 'gesloten' kas kan de intrede van plagen worden verminderd. Daarnaast kan het vochniveau in de kas op het gewenste niveau worden gehouden, waardoor schimmelaantastingen minder zullen optreden. Dit alles leidt tot de volgende verwachting over de reductie van het middelenverbruik (uitgedrukt in werkzame stof):

- insecticiden en acariciden: 50%;
- hulpstoffen: 50%;
- fungiciden: 20%.

Men verwacht echter dat de hoeveelheid biologische preparaten toeneemt en het gebruik van groeiregulatoren vervalt.

Er is uitgegaan van hetzelfde emissiepercentage bij emissie via de lucht als bij referentiesituatie (2%). Dit leidt tot het volgende overzicht van het verbruik en de emissie van gewasbeschermingsmiddelen (zie tabel 4.7).

De indicatieve cijfers in tabel 4.7 wijzen uit dat de emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar verwachting het meest dalen voor de varianten met de geconditioneerde teelt. Hoewel de belichtingsuren voor de varianten 3c en 3d - verwarmen via belichten - ruim 4.000 uur hoger liggen dan voor de varianten 3a en 3b (zie bijlage 2), is (nog) niet duidelijk welke invloed dit heeft op het middelenverbruik.

<b>Tabel 4.7</b>		<b>Geschatte verbruik (kg/ha) en emissie (gr/ha) van gewasbeschermingsmiddelen voor de varianten en verbruik/emissie ten opzichte van referentiesituatie (kg/ha, gr/ha en %)</b>			
<b>Kengetal</b>	<b>Verbruik</b>	<b>Verbruik t.o.v. referentie</b>	<b>Emissie</b>	<b>Emissie t.o.v. referentie</b>	<b>Verbruik en emissie t.o.v. referentie %</b>
<b>Variant</b>	<b>kg/ha</b>	<b>kg/ha</b>	<b>gr/ha</b>	<b>gr/ha</b>	<b>%</b>
1	12,5	-	ca. 250	-	-
1a	12,1	-0,4	ca. 240	ca. -10	-3
2	12,0	-	ca. 240	-	-
2a	10,6	-1,4	ca. 210	ca. -30	-12
2b	9,1	-2,9	ca. 180	ca. -60	-24
3	17,0	-	ca. 340	-	-
3a t/m 3d	16,5	-0,5	ca. 330	ca. -10	-3

Variant: 1a. onbelichte teelt; 2a t/m 2c. onbelichte en geconditioneerde teelt; 3a t/m 3d. belichte teelt.

### *Nutriënten*

Het nutriëntenverbruik is min of meer gerelateerd aan het productieniveau, omdat geen ongecontroleerde uitspoeling naar de omgeving plaatsvindt. Van het verbruik is de emissie (2%) afgeleid. In tabel 4.8 zijn het verbruik en de emissie van nutriënten voor de verschillende varianten weergegeven.

De verandering in het verbruik en de emissie van nutriënten wordt bepaald door de verandering in de fysieke productie. Door de beperkte wijziging in productieniveaus ten opzichte van de referentiesituatie, veranderen ook het verbruik en de emissie van nutriënten in beperkte mate. Deze verandering ligt in de orde van grootte van -7 tot 7%.

Wel verwacht men dat het waterverbruik in de varianten met conditionering (2a en 2b) lager is, omdat met conditionering ook water uit de kaslucht kan worden teruggewonnen. Dit kan oplopen tot 50% van de watergift als het systeem van conditionering de gehele kas beslaat.

**Tabel 4.8**      **Geschatte verbruik en emissie van nutriënten (N en P) voor de verschillende varianten (in kg/ha) en verbruik/emissie ten opzichte van referentiesituatie (kg/ha en %)**

Variant	Verbruik kg/ha	Verbruik t.o.v. referentie kg/ha	Emissie kg/ha	Emissie t.o.v. referentie kg/ha	Verbruik en emissie t.o.v. referentie %
1	1.930	-	38,6	-	-
1a	1.817	-113	36,3	-2,3	-6
2	2.025	-	40,5	-	-
2a	1.976	-49	39,5	-1,0	-2
2b	2.022	-3	40,4	0	0
3	2.343	-	46,8	-	-
3a	2.184	-159	43,7	-3,1	-7
3b	2.343	0	46,9	0	0
3c	2.505	162	50,1	3,3	7
3d	2.251	-92	45,0	-1,8	-4

1a. onbelicht: gasgestookte wkk zonder gebruik minimumbuis en geen warmtevernieging; 2a. onbelicht en 50% gesloten: gasgestookte wkk en warmtepomp, zonder gebruik minimumbuis; 2b. onbelicht en 100% gesloten: warmtepomp met elektra van net, zonder gebruik minimumbuis; 3a. belicht: belichten met elektra uit het net en verwarmen met gasketel; 3b. belicht: belichten met gasgestookte wkk zonder elektriciteit teruglevering; 3c. belicht: belichten én verwarmen met elektra uit het net; 3d. belicht: belichten én verwarmen met elektra van de gasgestookte wkk.

## 5 Discussie

---

### *Duurzaamheid*

De studie is beperkt tot de P van planet. Voor energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie is dit op twee niveaus bekeken, namelijk op micro- (bedrijf) en op macroniveau (maatschappij). Beide invalshoeken zijn legitiem. Dit punt komt nadrukkelijk aan de orde bij elektriciteit die geleverd wordt aan of betrokken wordt van het net. De keuze voor een van beide invalshoeken heeft invloed op de rangschikking van de systeemvarianten.

### *Terugblik en toekomstbeeld*

Uit een terugblik op 10 jaar tomatenteelt (1995-2005) blijkt dat veel innovaties hun intrede hebben gedaan. Innovaties vinden echter geleidelijk hun weg naar de praktijk, waardoor de prestaties van het gemiddelde tomatenbedrijf minder sterk evolueren. Ze moeten passen bij de visie op het bedrijf en het investeringsritme van de bedrijven.

Innovatieve ondernemers hebben ambities om de tomatenteelt op een hoger plan te brengen. Hierbij hebben zij verschillende aandachtspunten. Hoewel energie en milieu belangrijke thema's zijn, is de marktfocus dominant. In dat licht dienen energiearme kassen ondersteunend te zijn aan het versterken van de concurrentiepositie.

### *Bedrijfsconcepten*

Bij het nadenken over emissiearme bedrijfsconcepten zijn drie referentiesituaties onderscheiden voor een tomatenbedrijf. De keuze voor drie referentiesituaties hangt samen met de visie van de ondernemers op de toekomst. Het blijkt dat ondernemers verschillen in mening over de noodzaak van belichten, over hun visie op marktontwikkelingen en over de mate van duurzaamheid die men wil nastreven. Daarom is in dit onderzoek aangesloten op de diversiteit in de praktijk. Tenslotte bestaat hét tomatenbedrijf niet en dus ook dé emissiearme kas niet.

### *Varianten in energieconcepten*

Voor elk van de referentiesituaties zijn een of meer varianten van energieconcepten onderscheiden en vervolgens doorgerekend op energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie. De energieconcepten zijn echter niet uitontwikkeld. Zo wordt eind 2008

op een praktijkbedrijf mede op basis van de voorlopige resultaten een vervolg gegeven aan het energieconcept van variant 2a.

*Kwantificeren van milieu- en energie-effecten*

In het onderzoek is gebruikgemaakt van rekenmodellen en expert judgement. De uitkomsten geven - met name voor gewasbescherming en nutriënten - een indicatie van het mogelijk te behalen verbruik en de emissiereducties. Vooral de grote verschillen in resultaten tussen de varianten zijn richtinggevend voor de verdere doorontwikkeling en concretisering van energie- en bedrijfsconcepten in de praktijk.



# 6 Conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Conclusies

### *Referentiesituatie, tomaat als case*

- Drie referentiesituaties zijn door de variatie in de praktijk onderscheiden:
  - onbelichte teelt met gasgestookte wkk, ketel en elektra teruglevering;
  - onbelichte teelt met conditionering (25% gesloten) met gasgestookte wkk, warmtepomp en aquifer;
  - belichte teelt met gasgestookte wkk, elektrateruglevering en ketel.
- Op bedrijfsniveau zijn het gasverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie het laagst bij referentie 2 (30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> respectievelijk 53,4 kg/m<sup>2</sup>). Op macroniveau zijn dankzij elektrateruglevering het primaire energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie bij referentie 1 het laagst (382 MJ/m<sup>2</sup> en 21,4 kg/m<sup>2</sup>). De belichte teelt scoort zowel op micro- als op macroniveau slechter dan de onbelichte teelt (107,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 191 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk 2.703 MJ/m<sup>2</sup> en 151,9 kg/m<sup>2</sup>). Ook de energie-efficiëntie van de belichte teelt is in beide gevallen ongunstiger. Door elektrateruglevering is in referentie 1 en in 3 een warmteoverschot (290 respectievelijk 770 MJ/m<sup>2</sup>).
- Het gewasbeschermingsmiddelenverbruik en de emissie zijn in de belichte teelt (3) door de intensieve productiewijze substantieel hoger dan in de onbelichte teelt. In de onbelichte teelt met conditionering (2) zijn het verbruik en de emissie het laagst door de betere vochtbeheersing in het gesloten kasdeel.
- Het nutriëntenverbruik en emissie zijn min of meer productiegerelateerd en daardoor in de belichte teelt hoger.

### *Bedrijfsconcepten emissiearme kas 2010, tomaat als case*

- Voor elke referentiesituatie zijn een of meer varianten opgesteld. De bedrijfsconcepten zijn beoordeeld op de P van planet; de economische aspecten zijn niet expliciet beschouwd. De varianten zijn:
  1. onbelichte teelt
    - a. idem 1, maar geen minimumbuis en geen warmtevernietiging;
  2. onbelichte teelt met conditionering
    - b. idem 2, maar geen minimumbuis en 50% gesloten kasafdeling;

- c. idem 2, maar warmtepomp met elektra uit net, geen minimumbuis en geen gasaansluiting;
3. belichte teelt
- d. idem 3, maar belichten met elektra uit net en ketel;
  - e. idem 3, maar belichten met wkk, ketel en geen elektra teruglevering;
  - f. idem 3, maar belichten én verwarmen met elektra uit net;
  - g. idem 3, maar belichten én verwarmen met wkk en elektra teruglevering.
- Op bedrijfsniveau daalt in alle varianten het gasverbruik en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-emissie ten opzichte van de referentie. Het gasverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie worden nihil als elektriciteit wordt ingekocht voor verwarmen en/of belichten (variant 2b en 3c). Vervolgens volgt variant 2a met bijna 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 26,3 kg/m<sup>2</sup>. Het gasverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie zijn het hoogst bij variant 3b en 3d (82,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 146,9 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk 76,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en 135,5 kg/m<sup>2</sup>).
  - Op macroniveau dalen in alle concepten het primair energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie ten opzichte van de referentie, met uitzondering van 3c (+15%). Het primair energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie is het laagst bij 1a (146 MJ/m<sup>2</sup> en 8,1 kg/m<sup>2</sup>). Het eerstvolgende concept (2a) heeft een driemaal zo hoog energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie. Het hoogste verbruik en emissie (in 3c) bedraagt 3.100 MJ/m<sup>2</sup> en 174,6 kg/m<sup>2</sup>.
  - De fysieke productie neemt in de meeste concepten af (0-5%) ten opzichte van de referentie door aanpassingen ten gunste van de energiebesparing. Concept 3c is een uitzondering (+7%) door een groter aantal belichtingsuren.
  - De energie-efficiëntie is het gunstigst bij de concepten voor de onbelichte teelt (2,5-10 MJ/kg); voor de belichte teelt is dit 27-38 MJ/kg. Bij 3a en 3c (belichte met elektra uit het net) verslechtert dit ten opzichte van de referentie.
  - Het verbruik en de emissie van gewasbeschermingsmiddelen daalt bij alle bedrijfsconcepten ten opzichte van de referentiesituatie. De geschatte daling is het grootst (12-24%) bij de concepten met conditionering (2a en 2b).
  - Het nutriëntenverbruik en -emissie laten hetzelfde beeld zien als de fysieke productie vanwege de directe koppeling.
  - Uit oogpunt van duurzaamheid (energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie) scoren de concepten zónder belichting zowel op micro- als op macroniveau beter dan de concepten mét belichting. Binnen de onbelichte concepten scoort 1a het

best op macroniveau en 2a en 2b op microniveau. Binnen de belichte concepten scoort 3c het best op microniveau en 3d op macroniveau.

- Door de daling van de productie en daarmee van de opbrengsten bij de meeste concepten lijkt het ondanks de daling van het energieverbruik (op bedrijfsniveau) zeer moeilijk om de extra investering in energiearme bedrijfsconcepten goed te maken. In economisch opzicht biedt investeren in emissiearme bedrijfsconcepten nog geen onverdeeld goede perspectieven.

## 6.2 Aanbevelingen

### *Energie en CO<sub>2</sub>*

- Voor alle bedrijfsconcepten geldt dat het (primair) energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie is te verminderen door de warmte- en belichtingsvraag van de teelt te reduceren.
- Bedrijfsconcepten met gas als energiedrager kunnen het (primair) energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie verminderen met een duurzaam alternatief (bio-brandstof).
- Bedrijfsconcepten met elektriciteit als energiedrager kunnen het (primair) energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie verlagen door groene stroom in te kopen of zelf op te wekken (wind en zon).
- Bedrijfsconcepten met conditionering kunnen het (primair) energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie verder omlaag brengen door een groter aandeel gesloten kas (met warmtewinning) of de kas langer gesloten te houden (zonder warmtewinning). De warmtebenutting kan plaatsvinden binnen het bedrijf (teelten met verschillende warmtebehoefte) of in een cluster van bedrijven.
- Een geheel ander energieconcept is aardwarmte. De eerste toepassing is in 2007 gestart op het tomatenbedrijf van A+G van den Bosch in Bleiswijk. Hierbij is geen gasaansluiting meer nodig en is er een beperkte vraag naar elektriciteit. Er moet nagegaan worden welke potentie dit biedt voor de sector, rekening houdend met de grote investeringsrisico's en vergunningverlening.

### *Gewasbescherming*

- Het verbruik en de emissie van gewasbeschermingsmiddelen kan worden teruggedrongen door een systeem van klimaatconditionering (betere temperatuur en vochtbeheersing) in te voeren, waardoor de kas in de zomer langer

- gesloten kan blijven. Dit lijkt ook realiseerbaar voor bedrijfsconcepten waarbij geen zonne-energie wordt opgevangen en opgeslagen.
- Een verdere daling van verbruik en emissie lijkt mogelijk door mechanisatie (mobiele teelt) in combinatie met compartimentering te onderzoeken, waardoor lokale en teeltfasespecifieke behandeling uitvoerbaar wordt. Daarnaast biedt het perspectieven voor verbetering van de arbeidsomstandigheden en -productiviteit.

### *Nutriënten*

De gecontroleerde emissie van nutriënten via de riolering kan teruggedrongen worden door de zuivering op bedrijfsniveau en/of gebiedsniveau op te pakken, zoals bijvoorbeeld bij het inmiddels afgeronde project Kasza (Kas zonder afvalwater). De vooruitzichten van het systeem van waterbeheer en -zuivering zijn positief.

### *Duurzaamheidsbeoordeling*

De beoordeling is in dit onderzoek beperkt gebleven tot de P van planet. Om de kansen van toepassing van de bedrijfsconcepten van emissiearme kassen in de praktijk goed te kunnen beoordelen is ook een beoordeling op de P's van people (mens) en profit (economie) wenselijk. De te behalen energiebesparing op bedrijfsniveau gaat bij de meeste concepten gepaard met een productiedaling, waardoor de extra investering moeilijk tot niet lijkt terug te verdienen.

## Literatuur en websites

---

Reijnders, C., *Toekomstbeeld tomatenbedrijf 2010-2015*: Verslag workshop 1 juni 2006. LEI, Den Haag, 2006.

Ruijs, M., *Workshop 'Emissievrije kas 2025'*. Publicatie Onderzoeksprogramma Systeeminnovaties geïntegreerde beschermde teelten. LEI, Den Haag, 2005, pp. 11.

Ruijs, M.N.A., *Eindrapportage project Emissievrije kas*. Intern rapport. LEI, Den Haag, 2006a, pp.15.

Ruijs, M.N.A., *Terugblik op innovaties op tomatenbedrijven; periode 1995-2005*. Publicatie Onderzoeksprogramma Systeeminnovaties beschermde teelten. LEI, Den Haag, 2006b, pp. 12.

Vermeulen, P. et al., *Kwantitatieve informatie voor de Glastuinbouw 2008; Groenten - Snijbloemen - Potplanten*. Publicatie 185 Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 2008.

[www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

[www.komindegeslotenkas.nl](http://www.komindegeslotenkas.nl)

[www.snm.nl](http://www.snm.nl)

[www.synergieplaza.nl](http://www.synergieplaza.nl)

[www.themato.nl](http://www.themato.nl)

# Bijlage 1

---

## KASPRO-berekeningen referentieteelt tomatomaat

Voor een tomatenteelt zoals die momenteel gangbaar is, zijn drie cases doorge-rekend: een (referentie)teelt met scherm, een teelt zonder scherm en een teelt met een WKK en een scherm.

In de volgende paragrafen beschrijven we kort hoe de modellen, de kassen en de teelten eruitzien.

Voor het berekenen van de temperatuur- en vochtverlopen boven en onder het scherm is het simulatiemodel KASPRO gebruikt.

### *De model parameters*

#### *Energiescherm*

Als het scherm gesloten is, zijn er drie redenen om het gedeeltelijk of geheel te openen:

- De temperatuur in het benedencompartiment neemt door het sluiten teveel toe ten opzichte van het gewenste setpoint. Dan wordt een temperatuurkier van 2% ingesteld.
- Het wordt in het benedencompartiment te vochtig. Dan wordt een kier van 0,3% ingesteld en 6 minuten gewacht. Is de trend van het vochniveau nog stijgend, dan wordt een volgende stap van 0,3% genomen. Dit gaat door tot een maximale vochtkier is bereikt van 4%. Zodra de vochtrend daalt, wordt het scherm weer gesloten (in één keer weer dicht).
- Er is zoveel licht en of de buitentemperatuur is zo hoog dat langer schermen voor energiebesparing geen nut meer heeft.

#### *Kas en buitencondities*

Bij de standaardteelt is uitgegaan van een kas van 4 ha met een goothoogte van 5 meter. De traliemaat is 8 meter (twee kappen van 4 meter) en de pootafstand is 4,5 meter. De luchtramen zijn 2 ruist (2,25 meter lang) en 1.32 meter hoog. Voor de productie van warmte en CO<sub>2</sub> wordt alleen gebruik gemaakt van een ketel. Aangenomen is dat er voor CO<sub>2</sub>-productie geen warmte wordt vernietigd. Voor de straling, buitentemperatuur en overige buitenklimaatfactoren, wordt in de modelberekeningen gebruik gemaakt van het SEL-Jaar, dat representatieve klimaatgegevens voor Nederland bevat.

### *De teelt*

Het verwarmingssysteem is een standaardsysteem voor de intensieve glas-groenteteelt en bestaat uit vijf 51 mm buizen per kap in het ondernet en half zo veel 28 mm buizen in het secundaire verwarmingsnet. De bovenbuizen fungeren als condensornet, maar ook als secundair verwarmingsnet wanneer een groot verwarmingsvermogen noodzakelijk is. De buistemperaturen zijn begrensd op 70 °C voor zowel het onder- als het bovennet. Het secundaire net wordt pas ingeschakeld voor verwarming als het ondernet een buistemperatuur van 60 °C heeft bereikt. De kas is uitgerust met een rookgasverdeelsysteem voor de CO<sub>2</sub>-dosering waarmee maximaal 220 kg CO<sub>2</sub> per ha per uur kan worden toegediend. De ketel heeft een verwarmingscapaciteit van 120 W/m<sup>2</sup>; voor de teelt zonder scherm is dit verhoogd naar 180 W/m<sup>2</sup> en er is een warmteopslagbuffer met een waterinhoud van 100 m<sup>3</sup> ha-1. De WKK heeft een elektrisch vermogen van 100 W/m<sup>2</sup>. De WKK draait zoveel mogelijk tussen 7:00 en 23:00 uur. Indien de buffer vol is, wordt de CO<sub>2</sub>-dosering gestopt. Het gewas wordt geplant op 8 december en geruimd op 25 november.

### *Kasklimaat*

In onderstaande tabel worden de temperatuursetpoints weergegeven. Men werkt met twee of drie dagdelen. Er wordt met een opstookhelling van 1 °C per uur gewerkt.

Datum	Setpointtemperatuur		
8/12	20	-	18
15/01	17	20	16
01/11	17	-	-
25/11	5	-	-

Datum	Temperatuur bereikt op		
8/12	bij zonsopkomst	-	1 uur na zon onder
15/01	1 uur na zon op	5 uur na zon op	1 uur na zon onder
01/11	dag en nacht	-	-
25/11	dag en nacht	-	-

Bij de teeltstart (8 december) staat de ventilatielijn 2 °C boven de stooklijn. Hierdoor wordt weinig warmte afgelucht, zodat op heldere dagen hogere etmaaltemperaturen kunnen worden behaald. Op 15 januari wordt dit terug ge-

bracht tot 1,5 °C en vanaf 15 maart is dit nog 1 °C, wat tot het eind van de teelt zo blijft gehandhaafd.

Deze temperaturen zijn dag en nacht gelijk. Op licht kan er tussen de 100 en 300 W/m<sup>2</sup> globale straling 1 (van teeltstart tot 1 februari) of 2 °C (de rest van het jaar) lichtverhoging op de setpointtemperatuur verwarmen worden gezet.

Er wordt beperkt gebruik gemaakt van een minimumbuis temperatuur. In de periode vanaf de start van de teelt tot 1 juni is de minimumbuis temperatuur van 1,5 uur voor zonsopgang tot 2 uur na zonsopgang ingesteld op 45 °C en vervolgens de rest van de dag op 38 °C. Na 1 juni wordt respectievelijk 42 °C en 35 °C ingesteld. Tussen de 120 en 150 W/m<sup>2</sup> globale straling wordt deze buis temperatuur afgebouwd.

De vochtregeling geschiedt met de luchtramen; er wordt pas bijgestookt indien de ruimtetemperatuur door deze ventilatie onder de setpointtemperatuur komt.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht een RV van meer dan 90% bereikt. De versterkingsfactor op de luchtramen in de winter 1% raamstand per % vochtoverschrijding. Naar de zomer wordt dit langzaam verhoogd naar 5% per % vochtoverschrijding.

De setpoint voor de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas is jaarrond 1.000 ppm. De CO<sub>2</sub> wordt gedoseerd met een maximale hoeveelheid van 220 kg/ha/uur tussen zonsopkomst en zonsondergang. De resterende ruimte in de buffer wordt over de rest van de CO<sub>2</sub>-doseerperiode verdeeld. Er wordt in principe van zonsopkomst tot zonsondergang CO<sub>2</sub> gedoseerd. In de zomerdag wordt 2 uur later begonnen en 2 uur eerder gestopt om de buffercapaciteit beter te benutten.

Er wordt een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 ultra plus gebruikt (voor eigenschappen van dit schermmateriaal, zie bijlage 2) tussen 15 oktober en 1 mei. Vanaf het eind van de oude teelt (10 november) tot 1 januari, wordt het scherm pas geopend bij een stralingsniveau van boven de 100 W/m<sup>2</sup>. Daarna bij een niveau van 50 W/m<sup>2</sup>. Komt de straling weer onder deze niveaus, dan wordt het scherm weer gesloten. Als tweede voorwaarde is er de buitentemperatuur. Vanaf 10 november gaat het scherm pas dicht bij een buitentemperatuur lager dan 9 °C. Vanaf 15 januari bij een buitentemperatuur van 7 °C, vanaf 15 februari 5 °C, 5 maart 4 °C en na 1 mei wordt het scherm tot 15 oktober uitgeschakeld. Vanaf 15 oktober mag het scherm pas weer dicht bij een buitentemperatuur van lager dan 5 °C. In de laatste twee weken van de teelt is dit 8 °C.

Wanneer het vochniveau (van het ondercompartiment) boven de setpoint komt, wordt het scherm op een vochtier van maximaal 4% getrokken. In de



gevel is een beweegbaar gevelscherf geplaatst, dat gelijktijdig met het horizontale scherm geopend en gesloten wordt.

Er wordt in de standaardteelt geen temperatuurintegratie toegepast. Verder wordt ook geen gebruik gemaakt van minimum raamstanden. Bij zuivere CO<sub>2</sub>-dosering wordt een maximum van 50 Kg/uur ha gehanteerd.

### *Belichting*

Bij de introductie van belichting zijn er zeer veel mogelijkheden hoe dit wordt ingevuld. In deze fase is gekozen voor een eenvoudige regeling van de lampen. De teelt wordt eerder gestart (20 oktober) en ook eerder beëindigd (7 oktober). De lampen worden pas gebruikt na 10 november en na 1 april worden ze niet meer ingeschakeld. In deze periode mogen de lampen in principe 15 uur per dag aan. De donkerperiode loopt van 16:00 uur in de middag tot 1:00 in de morgen. De lampen worden overdag uitgeschakeld indien de globale straling boven de 250 W/m<sup>2</sup> komt. Na 15 maart is dit 50 W/m<sup>2</sup>. Bij een elektrisch vermogen van 106 W/m<sup>2</sup> en een PAR rendement van 30% zullen deze lampen ongeveer 160 μmol/m<sup>2</sup> ofwel ongeveer 13500 lux geven.

Door het verschuiven van de teelt worden de data en setpoints ook iets verschoven.

datum	Setpointtemperatuur		
21/10	20	-	18
21/11	17	20	16
15/09	17	-	-
07/10	5	-	-
datum	temperatuur bereikt op		
21/10	bij zonsopkomst	-	1 uur na zon onder
21/11	1 uur na zon op	5 uur na zon op	1 uur na zon onder
15/09	dag en nacht	-	-
07/10	dag en nacht	-	-

Het scherm wordt ook iets anders geregeld om te voorkomen dat het te warm wordt onder het scherm. Zo wordt het scherm niet meer in het najaar gebruikt. Zodra de belichting wordt gebruikt, gaat het scherm open bij 50 W/m<sup>2</sup> globale straling, in combinatie met een buitentemperatuur van 6 °C.

## Bijlage 2

### KASPRO-berekeningen systeemvarianten trostomaat

Systeemvariant	Schermuren [uren/jaar]	Belichting uren [uren/jaar]	Belichting vermogen [MJ]	Biomassa [kg/m <sup>2</sup> ]
1 Referentie = onbelicht, WKK met teruglevering	2.156	0	0	844
1a WKK: zonder minimumbuis, P <sub>el</sub> =50W	2.156	0	0	7,9
2 Referentie = onbelicht, WKK + WP, 25% gesloten	2.150	0	0	8,8
2a WKK+WP: zonder minimumbuis; 50% gesloten	2.152	0	0	8,6
2b WP: zonder minimum- buis; 100% semigesloten	2.150	0	0	8,8
3 Referentie = belicht, WKK en teruglevering	1.663	2.113	703	10,2
3a Belichten met elektra uit het net	1.668	2.113	703	9,5
3b Belichten met gasgestookt WKK zonder teruglevering	1.668	2.113	703	10,2
3c Belichten en verwarmen met elektra uit net	1.669	6.694	1.304	10,9
3d Belichten en verwarmen met gasgestookte WKK)	1.661	6.481	528	9,8

---

stelsel

innovatie

---