

# **Effect van kasconstructie op het toekomstige energiegebruik in de glastuinbouw**

R. Bakker

Augustus 1999

Rapport 1.99.06

Landbouw-Economisch Instituut (LEI), Den Haag

Het Landbouw-Economisch Instituut (LEI) beweegt zich op een breed terrein van onderzoek dat in diverse domeinen kan worden opgedeeld. Dit rapport valt binnen het domein:

- Bedrijfsontwikkeling en omgevingsfactoren
- Emissie- en milieuproblematiek
- Concurrentiepositie en de Nederlandse agribusiness; Industrie en handel
- Economie van het landelijk gebied
- Nationale en internationale beleidsvraagstukken
- Bedrijven-Informatienet; Statistische documentatie; Periodieke rapportages

Effect van kasconstructie op het toekomstige energiegebruik in de glastuinbouw  
Bakker, R.  
Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut (LEI), 1999  
Rapport 1.99.06; ISBN 90-5242-531-0; Prijs f 27,- (inclusief 6% BTW)  
58 p., fig., tab. bijl.

In dit onderzoek is het effect van vernieuwing van het kassenbestand op de energiebesparing in kaart gebracht. Dit is gedaan omdat de glastuinbouw moeite heeft om de energiedoelstelling uit het MJA-E te halen, en van nieuwe kassen veel verwacht wordt op het gebied van energiebesparing en verbetering van de energie-efficiëntie.

Indien in 2010 het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand is vervangen kan dit 14,6% energiebesparing opleveren. Dit percentage komt geheel voor rekening van verbeteringen in de kasconstructie en het areaal met een scherm. Vervanging van alle in 1995 aanwezige kassen door kassen met het technische niveau van 1995 levert 10,8% energiebesparing op. Tussen de 3 subsectoren glasgroenten, snijbloemen en potplanten bestaan nauwelijks verschillen. Tussen de gewasgroepen binnen sectoren zijn er wel verschillen; deze worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de verwachte groei van het areaal met schermen in de diverse gewasgroepen. Een groot deel (bijna de helft) van de 14,6% besparing wordt gerealiseerd door vermindering van de lekverliezen in het kasdek.

**Bestellingen:**

Telefoon: 070-3308330

Telefax: 070-3615624

E-mail: [publicatie@lei.dlo.nl](mailto:publicatie@lei.dlo.nl)

**Informatie:**

Telefoon: 070-3308330

Telefax: 070-3615624

E-mail: [informatie@lei.dlo.nl](mailto:informatie@lei.dlo.nl)

**Vermenigvuldiging of overname van gegevens:**

- toegestaan mits met duidelijke bronvermelding
- niet toegestaan

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO-NL) van toepassing. Deze zijn gedeponerd bij de Kamer van Koophandel Midden-Gelderland te Arnhem.



# Inhoud

	Blz.
<b>Woord vooraf</b>	7
<b>Samenvatting</b>	9
<b>1. Inleiding</b>	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Doelstelling	14
1.3 Opbouw rapport	14
<b>2. Methode</b>	15
2.1 Uitgangssituatie	15
2.2 Situatie in 2010	17
<b>3. Uitgangspunten</b>	20
3.1 Referentiesituatie in 1995	20
3.2 Verwachte situatie in 2010	21
3.2.1 U-waarde	22
3.2.2 Lichtdoorlatendheid	22
3.2.3 Dichtheid	22
3.2.4 Verhouding geveleppervlak per eenheid kasoppervlak	23
3.2.5 Per gewasgroep	24
<b>4. Resultaten</b>	29
4.1 Basisvariant	29
4.2 Resultaten bij gewijzigde uitgangspunten	31
4.2.1 Variant 'technisch niveau 1995'	31
4.2.2 Variant 'verbetering dichtheid'	32
4.2.3 Variant 'verandering lichtdoorlatendheid'	32
4.2.4 Variant 'verandering geschermd areaal'	33
4.2.5 Variant 'verandering geveleppervlak per eenheid kasoppervlak	34
4.2.6 Variant 'versnelde technische ontwikkeling'	35

	Blz.
<b>5. Discussie, conclusies en aanbevelingen</b>	36
5.1 Discussie	36
5.2 Conclusies en aanbevelingen	38
<b>Literatuur</b>	40
<b>Bijlagen</b>	
1. Overzicht energiebesparingsmogelijkheden van nieuwe kassen	43
2. Berekening besparingsgetal per invloedsfactor	55

## Woord vooraf

De Nederlandse glastuinbouwsector, vertegenwoordigd door het landbouwschap, en de Nederlandse overheid hebben begin 1993 een MeerJarenAfspraak-Energie ondertekend met als doelstelling een verbetering van de energie-efficiëntie met 50% in de periode 1980-2000. Na 2000 wordt het doel het verbeteren van de energie-efficiëntie met 65% in 2010 ten opzichte van 1980. In het algemeen wordt onderkend dat nieuwbouw van kassen grote mogelijkheden biedt voor het halen van deze doelstellingen.

Het LEI heeft van het Ministerie van Landbouw opdracht gekregen om de energiebesparingsmogelijkheden van een vernieuwd kassenbestand in 2010 te onderzoeken. In dit onderzoek is het effect van kasconstructie op het energiegebruik in de sector geanalyseerd. Hiervoor is onder andere gebruikgemaakt van de gegevens die jaarlijks door het LEI worden verzameld om de MeerJarenAfspraak-Energie (MJA-E) te monitoren.

Het onderzoek is uitgevoerd door R. Bakker, met inhoudelijke ondersteuning van N.J.A. van der Velden en A.P. Verhaegh. In de begeleidingscommissie hadden zitting J.A.M. Mourits (Ministerie van LNV), L. Oprel (IKC-L), P.W. Broekharst (Productschap Tuinbouw) en C.H.M.G. Custers (Novem). Naast dank aan de leden van de begeleidingscommissie is een woord van dank verschuldigd aan de heren M. Helderma (Bom Kassenbouw), J.J.M. Koop (DLV), A.A. Rijdsijk (PBG) en H.F. de Zwart (IMAG) voor hun suggesties en commentaar.

De directeur,

Prof.dr.ir. L.C. Zachariasse





# Samenvatting

## *Inleiding en doelstelling*

De Nederlandse glastuinbouwsector, vertegenwoordigd door het Landbouwschap, en de Nederlandse overheid hebben begin 1993 een MeerJarenAfspraak-Energie ondertekend met als doelstelling een verbetering van de energie-efficiëntie met 50% in de periode 1980-2000. Na 2000 wordt het doel het verbeteren van de energie-efficiëntie met 65% in 2010 ten opzichte van 1980. Van de diverse mogelijkheden om deze doelstellingen te halen is grootschalige vervanging van oude kassen door nieuwe een belangrijke optie. Bij nieuwbouw kan een kas namelijk op het gebied van energievraag en -aanbod zo optimaal mogelijk worden ingericht. Daarnaast is een moderne kas vanuit technisch oogpunt op een groot aantal punten verbeterd en daardoor energiezuiniger dan bijvoorbeeld een kas uit 1980. De doelstelling van het onderzoek is dan ook het in kaart brengen van de energiebesparing in 2010 van een vernieuwd kassenbestand in de glastuinbouw. Hierbij wordt alleen gekeken naar het effect van kasconstructie en schermgebruik op het toekomstig energiegebruik. Andere energiebesparende opties, en zaken als telersgedrag met betrekking tot deze opties, evenals intensivering, clustering en warmte van derden zijn buiten beschouwing gelaten.

## *Onderzoek*

In het onderzoek is allereerst een studie uitgevoerd naar de verschillende mogelijkheden voor energiebesparing in nieuwe kassen op het gebied van de kasconstructie. Naar aanleiding van deze studie zijn de volgende invloedsfactoren geselecteerd, die in het onderzoek worden doorgerekend:

- a) U-waarde van het glas en overige constructiematerialen;
- b) lichtdoorlatendheid van het kasdek;
- c) dichtheid van de kas;
- d) aandeel geveloppervlak per eenheid kasoppervlak;
- e) aandeel areaal met een beweegbaar scherm.

Vervolgens is de uitgangssituatie voor het basisjaar 1995 bepaald. Hiervoor zijn de gespecialiseerde bedrijven uit het Bedrijven-Informatienet ingedeeld in de volgende 12 gewasgroepen, die qua bedrijfsuitrusting en energiegebruik redelijk homogeen zijn. ( $b_i$ =brandstofintensiteit (aardgas, olie, restwarmte en w/k-warmte), in  $m^3$  aardgasequivalenten (a.e.) per  $m^2$ ):

- a) tomaat;
- b) komkommer;
- c) paprika;
- d) overige glasgroenten  $b_i > 40$ ;

- e) overige glasgroenten  $bi < 40$ ;
- f) roos belicht;
- g) roos onbelicht;
- h) chrysant;
- i) overige snijbloemen  $bi > 40$ ;
- j) overige snijbloemen  $bi < 40$ ;
- k) potplanten  $bi > 40$ ;
- l) potplanten  $bi < 40$ .

Hierna is per bedrijf de waarde van de 5 invloedfactoren in het basisjaar 1995 in kaart gebracht. Per gewasgroep is vervolgens een inschatting gemaakt van de waarde die de 5 invloedfactoren in 2010 kunnen hebben, op basis van de verwachte ontwikkelingen die zich in de periode 1995-2010 zullen voordoen. Met behulp van deze ontwikkelingen is per bedrijf berekend welk effect vervanging van de kassen heeft op het energiegebruik van dat bedrijf in 2010. Er is uitgegaan van een economische levensduur van kassen van 15 jaar, wat betekent dat de kassen na 15 jaar vervangen worden. In 2010 zijn alle kassen gebouwd voor 1995 vervangen en is de glastuinbouwsector in economisch opzicht modern. Er wordt dus een scenario doorgerekend waarbij aangegeven wordt welke kassen er liggen voor energiebesparing bij grootschalige bedrijfsvernieuwing en modernisering in de sector.

Na berekening van de verwachte energiebesparing per bedrijf in 2010 zijn de resultaten geaggregeerd naar gewasgroep-, subsector- en sectorniveau; dit is de basisvariant. Vervolgens is het effect van veranderingen in uitgangspunten (varianten) inzichtelijk gemaakt. Dit geeft een indruk van het effect op de energiebesparing indien bepaalde ontwikkelingen (in onder andere dichtheid, lichtdoorlatendheid, schermgebruik) anders verlopen dan in de basisvariant is aangenomen.

### *Resultaten*

Indien in 2010 het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand op gespecialiseerde glastuinbouwbedrijven is vervangen kan dit (ten opzichte van 1995) 14,6% energiebesparing opleveren. Deze 14,6% komt alleen voor rekening van verbeteringen in kasconstructie en schermgebruik; het effect op het energiegebruik van ontwikkelingen in andere energiebesparende opties, warmte van derden, clustering en intensivering is hierin niet meegenomen. Een groot deel (46%) van deze besparing wordt gerealiseerd door vermindering van lekverliezen in het kasdek. Verbeteringen in U-waarde, areaal met scherm, lichtdoorlatendheid en verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak leveren kleinere besparingen op.

Als het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand op het technische niveau van 1995 wordt gebracht kan er ongeveer 10,8% energie bespaard worden. Een grote winst in energiebesparing is dus te behalen door het vervangen van alle in 1995 aanwezige verouderde kassen. Dit komt door de snelle ontwikkelingen in de kassenbouw in de afgelopen 10 jaar waardoor kassen met betrekking tot lichtdoorlatendheid, U-waarde en dichtheid sterk zijn verbeterd. De huidige kas kan op een aantal punten nog wat verbeterd worden, maar wordt al als behoorlijk optimaal gezien. Naar verwachting zullen de ontwikkelingen uit de afgelopen 10 jaar zich in de toekomst niet op dezelfde schaal voortzetten. Daarnaast is bijna

40% van het glasareaal in 1996 verouderd en dus gegeven de uitgangspunten aan vervanging toe. Hierdoor ligt de verwachte energiebesparing door technische ontwikkelingen in de periode 1995-2010 met 3,8% (14,6-10,8) lager dan de 10,8% bij modernisering van het gehele kassenbestand naar het niveau van 1995.

De te behalen gemiddelde energiebesparingspercentages zijn in de 3 subsectoren glasgroenten, snijbloemen en potplanten ongeveer even groot. Tussen de gewasgroepen binnen subsectoren zijn de verschillen groter en liggen de besparingspercentages tussen de 11,6 (chrysant) en 19,6% (roos belicht). Deze verschillen kunnen grotendeels verklaard worden door de verwachte groei van het areaal met een beweegbaar scherm, die in de diverse gewasgroepen niet gelijk is.

Indien technische ontwikkelingen op het gebied van lichtdoorlatendheid, dichtheid, verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak en areaal met scherm sneller zullen verlopen dan verwacht dan is het mogelijk om in 2010 een besparing van 22,5% op sector-niveau ten opzichte van 1995 te behalen.

### *Aanbevelingen*

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat technische ontwikkelingen in kasconstructie grote invloed hebben op de mogelijke energiebesparing in kassen. Het is daarom van belang dat het omvangrijke areaal met verouderde kassen snel vervangen wordt en het kassenbestand in 2010 weer economisch modern is. De herstructurering in de glastuinbouwsector is een belangrijk middel om dit te bevorderen.

In onderliggend onderzoek is gekeken naar de mogelijkheden voor energiebesparing door technische verbeteringen in kasconstructie en door extra schermen. Om een totaalbeeld te krijgen van het verwachte energiegebruik in 2010 in de sector is inzicht benodigd in de toekomstige ontwikkeling van:

- de intensivering van de teelt onder glas, bijvoorbeeld op het gebied van CO<sub>2</sub>-dosering en assimilatiebelichting;
- het gebruik van warmte van derden (restwarmte en warmte uit w/k-installaties van het nutsbedrijf) in de glastuinbouw. De liberalisering van de aardgasmarkt en de invoering van het CDS-systeem kunnen grote gevolgen hebben voor het gebruik van warmte van derden;
- de samenwerking van glastuinders op het gebied van energie (clustering);
- het gebruik van de verschillende energiebesparende opties (gedrag teler).

Aanbevolen wordt om onderzoek op deze deelgebieden uit te voeren om uiteindelijk het totaalbeeld compleet te krijgen. Daarnaast is de verdere ontwikkeling van energiezuinige kasluchtontvochtigingstechnieken gewenst. Bij toepassing van kasluchtontvochtiging kunnen de kassen lekdichter geconstrueerd worden dan nu gebeurt, en hoeven de luchtramen niet of minder vaak geopend te worden om overtollig vocht kwijt te raken. Dit is van grote invloed op de energiebesparing in de kas.

Verder wordt aanbevolen om onderzoek te verrichten naar een groot aantal kleinere technische aspecten die van invloed zijn op bijvoorbeeld de U-waarde of de dichtheid van een kas en daardoor op het energiegebruik. Hierdoor krijgt een teler bij nieuwbouw beter

inzicht in het energie-effect die het toegepaste materiaal en de kasconstructie met zich meebrengen.

# 1. Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

De Nederlandse glastuinbouwsector heeft samen met de overheid een MeerJarenafspraak-Energie gemaakt voor verbetering van de energie-efficiëntie met 50% in het jaar 2000 ten opzichte van het basisjaar 1980. De energie-efficiëntie wordt hierbij gedefinieerd als het primair brandstofverbruik per eenheid product. Na het jaar 2000 wordt energie een onderdeel van de milieudoelstellingen uit het convenant Glastuinbouw en Milieu. De energiedoelstelling wordt dan het verbeteren van de energie-efficiëntie met 65% in 2010 ten opzichte van 1980.

Er zijn diverse mogelijkheden om de energiedoelstellingen uit het convenant te halen. In het algemeen wordt onderkend dat nieuwbouw hierbij grote mogelijkheden biedt. Bij nieuwbouw van een kas kan deze vanuit het oogpunt van energievraag en -aanbod namelijk zo optimaal mogelijk worden ingericht.

Uit onderzoek is gebleken dat van het in 1996 aanwezige glasareaal bijna 40% is gebouwd voor 1981 (Bakker et al., 1999). Uitgaande van een economische levensduur van 15 jaar is dus 40% van de kassen in economische zin verouderd. Omdat een glastuinbouwbedrijf doorgaans bestaat uit meerdere afdelingen met vaak verschillende bouwjaren ligt de situatie op bedrijfsniveau iets anders. Uit bovengenoemde studie komt naar voren dat 72% van de bedrijven in economische zin geheel of gedeeltelijk verouderd is (dat wil zeggen dat een aantal of zelfs alle afdelingen voor 1981 gebouwd zijn).

Om de veroudering van het kassenbestand te stoppen zal op korte termijn een aanzienlijk deel van de verouderde kassen vervangen moeten worden. Grootschalige herstructurering van de glastuinbouwsector is dan ook een krachtig instrument voor de verjonging van de bedrijven, en voor de verbetering van de bedrijfsstructuur. Van herstructurering wordt tegelijkertijd veel verwacht voor de vermindering van het energiegebruik en verbetering van de energie-efficiëntie. Deze verbetering kan onder andere gerealiseerd worden door de bouw van moderne kassen met een gunstige lengte-breedteverhouding, die energetisch optimaal uitgerust en ingericht zijn.

Uit Bakker et al. (1999) komt naar voren dat op bedrijven met recenter gebouwde kassen enkele belangrijke energiebesparende opties meer voorkomen dan op bedrijven met oudere kassen. Tegelijkertijd hebben de nieuwere bedrijven een intensievere bedrijfsvoering dan de oudere bedrijven. Dit komt tot uiting in een groter percentage substraatteelt, een hogere omzet per m<sup>2</sup>, en een hogere brandstofintensiteit. De verschillende ontwikkelingen op nieuwe bedrijven (intensivering bedrijfsvoering, hogere penetratiegraden energiebesparende opties, verbetering van bedrijfsstructuur, kasconstructie en kasinrichting) zullen allen van invloed zijn op het toekomstige energiegebruik in de glastuinbouw. Om een beeld te krijgen van het netto-effect van deze ontwikkelingen tezamen is inzicht benodigd in het effect van de afzonderlijke ontwikkelingen. Hiervan is echter nog onvoldoende bekend.

## **1.2 Doelstelling**

De doelstelling van het onderzoek is het kwalitatief en kwantitatief in kaart brengen van de energiebesparingsmogelijkheden in 2010 van een vernieuwd kassenbestand in de glastuinbouw. Er wordt hierbij alleen gekeken naar het effect van verbeteringen in kasconstructie en penetratiegraad van schermen op het toekomstige energiegebruik. Technische verbeteringen op het gebied van ketels, condensors, verwarmingsnetten, klimaatregeling, enzovoort worden niet in beschouwing genomen. Het onderzoek vormt één van de bouwstenen die nodig zijn om uiteindelijk een compleet beeld te krijgen van het netto-effect in 2010 van enerzijds het verwachte energiegebruik en de energiebesparingsmogelijkheden, en anderzijds de intensivering van de glastuinbouw. Andere bouwstenen zijn bijvoorbeeld onderzoek naar intensivering op procesniveau in de glastuinbouw, onderzoek naar uitbreiding van warmte van derden en onderzoek naar de mogelijkheden en knelpunten van clustering. In onderliggend onderzoek worden zaken als intensivering, warmte van derden en clustering echter niet meegenomen. Daarnaast valt ook het gedrag van telers (bijvoorbeeld ten aanzien van schermgebruik) buiten het kader van dit onderzoek.

## **1.3 Opbouw rapport**

In hoofdstuk 2 wordt de methode van onderzoek beschreven. Daarna komen in hoofdstuk 3 de uitgangspunten voor de berekening van de basisvariant aan bod. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten van deze berekeningen beschreven, gevolgd door enkele varianten waarbij de uitgangspunten gewijzigd zijn. Tot slot volgen in hoofdstuk 5 discussie, conclusies en aanbevelingen.

## 2. Methode

### 2.1 Uitgangssituatie

Allereerst is een studie uitgevoerd naar de verschillende energiebesparingsmogelijkheden van nieuwe kassen op het gebied van kasconstructie. Hiervoor is literatuur bestudeerd, en zijn enkele deskundigen geraadpleegd. Dit heeft geresulteerd in een uitgebreid overzicht van technische verbeteringen in en aan de kas, die allen in meer of mindere mate van invloed zijn op het energiegebruik in de kas (bijlage 1). De verschillende technische verbeteringen hebben betrekking op één van de volgende vier aspecten:

- a) U-waarde van het glas en overige constructiematerialen (profielen);
- b) lichtdoorlatendheid van het kasdek;
- c) dichtheid van de kas;
- e) energiebesparende opties in de kas.

Naar aanleiding van deze studie is een keuze gemaakt welke factoren voor doorrekening in aanmerking komen. Hierbij zijn die factoren geselecteerd die een relatief grote invloed kunnen hebben op het energiegebruik. De volgende invloedsfactoren (grotendeels afgeleid van bovengenoemde aspecten) zijn gekozen en worden in de berekeningen meegenomen:

- 1) U-waarde van het glas en overige constructiematerialen;
- 2) lichtdoorlatendheid van het kasdek;
- 3) dichtheid van de kas;
- 4) aandeel geveleppervlak per eenheid kasoppervlak;
- 5) aandeel areaal met een beweegbaar scherm.

Er is voor gekozen om deze factoren op een wat hoger aggregatieniveau dan het niveau van de afzonderlijke technische verbeteringen (bijlage 1) door te rekenen. Dit is gedaan omdat de afzonderlijke technische verbeteringen vaak slechts een geringe invloed hebben op het energiegebruik. Daarnaast is niet van elke verbetering bekend hoe groot deze invloed (kwantitatief) is. Door nu een inschatting te maken van de ontwikkeling van de vijf invloedsfactoren wordt geprobeerd om alle onderliggende technische verbeteringen impliciet zo goed mogelijk mee te nemen. Omdat het onderzoek hoofdzakelijk op de kasconstructie is gericht ligt hierop de nadruk (factor a tot en met d). Het beweegbare scherm (factor e) is als enige kasinrichtingsaspect meegenomen, omdat dit de belangrijkste energiebesparende optie in de kas is, en omdat het schermgebruik zich naar verwachting in de toekomst verder zal ontwikkelen. De ontwikkeling van andere energiebesparende opties in de kas en op bedrijfsniveau met hun effect op het energiegebruik vormen een studie op zich; zij worden dan ook in dit onderzoek niet meegenomen.

Na de keuze van de door te rekenen factoren is de uitgangssituatie in 1995 bepaald. Hiervoor is allereerst de populatie gespecialiseerde glastuinbouwbedrijven uit het Bedrij-

ven-Informatienet (het Informatienet) van het LEI ingedeeld in 12 gewasgroepen. Deze groepen zijn zodanig gekozen dat ze qua bedrijfsuitrusting en energiegebruik redelijk homogeen zijn. De volgende gewasgroepen zijn onderscheiden (met  $bi$ =brandstofintensiteit (aardgas, olie, restwarmte en w/k-warmte), in  $m^3$  aardgasequivalenten (a.e.) per  $m^2$ ):

- m) tomaat;
- n) komkommer;
- o) paprika;
- p) overige glasgroenten  $bi > 40$ ;
- q) overige glasgroenten  $bi < 40$ ;
- r) roos belicht;
- s) roos onbelicht;
- t) chrysant;
- u) overige snijbloemen  $bi > 40$ ;
- v) overige snijbloemen  $bi < 40$ ;
- w) potplanten  $bi > 40$ ;
- x) potplanten  $bi < 40$ .

In de groepen 'overig' is onderscheid gemaakt tussen bedrijven met een brandstofintensiteit boven en onder de  $40 m^3$  a.e. per  $m^2$ ; hiermee wordt een (arbitraire) indeling gemaakt naar brandstofintensievere bedrijven en brandstofextensievere bedrijven.

Na indeling in gewasgroepen is per bedrijf de waarde van de 5 invloedsfactoren voor het jaar 1995 in kaart gebracht. Twee van deze invloedsfactoren (aandeel geveloppervlak per eenheid kasoppervlak, en aandeel areaal met scherm) zijn direct afkomstig uit het Informatienet. De overige 3 factoren (U-waarde, lichtdoorlatendheid en dichtheid) zijn afgeleid op basis van de uitgevoerde literatuurstudie en enkele technische bedrijfskenmerken uit het Informatienet, waarvan de gemiddelde leeftijd van het bedrijf het belangrijkste is. Er is verondersteld dat de genoemde 3 factoren lineair samenhangen met de gemiddelde leeftijd van het bedrijf.

Het Informatienet voor de glastuinbouw omvat een representatieve steekproef van circa 230 gespecialiseerde glastuinbouwbedrijven waarvan jaarlijks per bedrijf een uitgebreide bedrijfseconomische boekhouding wordt opgesteld. Hiervoor wordt op de bedrijven een groot aantal economische, technische en financiële gegevens verzameld. In het kader van de MeerJarenAfspraak-Energie berekent het LEI jaarlijks de energie-efficiëntie en worden de penetratiegraden van de energiebesparende opties bepaald. Als aanvulling op de reguliere boekhouding wordt hiervoor per bedrijf een groot aantal gegevens met betrekking tot het energiegebruik en de toepassing van energiebesparende opties verzameld.

Het Informatienet is in 1995 representatief voor circa tweederde deel van de 13.000 bedrijven met glastuinbouw in Nederland. Op deze bedrijven bevindt zich in 1995 95% van het totale areaal productieglastuinbouw (9.812 ha) in Nederland; het aandeel van de Informatienet-bedrijven in het totale brandstofverbruik (aardgas, olie, restwarmte en w/k-warmte) van de Nederlandse glastuinbouw is zelfs nog iets hoger.



## 2.2 Situatie in 2010

Per gewasgroep is allereerst voor de basisvariant een inschatting gemaakt van de waarde die de invloedsfactoren in 2010 kunnen hebben. Hierbij wordt uitgegaan van de best mogelijke kas die in 2010 gebouwd kan worden. Deze inschatting is gebaseerd op ontwikkelingen die zich in de periode 1980-1995 hebben voorgedaan, de situatie in 1995, en verwachtingen ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen. Voor een realistische inschatting is literatuur bestudeerd en zijn deskundigen geraadpleegd. Er wordt een lineaire ontwikkeling in de tijd verondersteld (dat wil zeggen dat de invloedsfactor elk jaar in de periode 1995-2010 met een gelijk percentage verbetert).

Daarna is per bedrijf berekend welk effect vervanging van de kassen heeft op het energiegebruik van dat bedrijf. Er is uitgegaan van een economische levensduur van kassen van 15 jaar, wat betekent dat de kassen na 15 jaar vervangen worden. Van een kas die er in 1995 stond en die gebouwd was in 1985, is verondersteld dat deze in 2000 wordt vervangen. In 2010 is deze kas dan 10 jaar oud en staat er dan dus nog steeds. In de berekeningen worden dus elk jaar de kassen vervangen die in dat jaar 15 jaar oud worden. Van de in 1995 aanwezige kassen gebouwd vóór 1980 (ongeveer 40%) wordt verondersteld dat ze gelijkmatig in de jaren 1995 tot en met 1998 vervangen worden. Begin 2010 zijn deze kassen dan 12-15 jaar en zullen er allen nog staan.

Met nadruk wordt vermeld dat er een scenario wordt doorgerekend dat weergeeft welke kansen er liggen voor de sector op het gebied van energiebesparing bij bedrijfsvernieuwing. De toekomst zal leren hoe de werkelijke leeftijdsopbouw van het kassenbestand in 2010 is. Het is echter waarschijnlijk dat in de praktijk een deel van de in 2010 aanwezige kassen van voor 1995 zal dateren.

De berekeningen zijn per individueel bedrijf uitgevoerd. Allereerst is per invloedsfactor de berekende waarde van de kas in 2010 vergeleken met de werkelijke waarde in 1995, en is de verwachte energiebesparing berekend door vermenigvuldiging van het verschil met het besparingsgetal. Dit besparingsgetal geeft weer met welk percentage het energiegebruik verandert indien de invloedsfactor met 1 eenheid verandert. Voor bepaling van het besparingsgetal per invloedsfactor wordt verwezen naar bijlage 2.

De totale energiebesparing per bedrijf in 2010 kan vervolgens berekend worden door vermenigvuldiging van de energiebesparingspercentages per invloedsfactor. Vermenigvuldiging van deze energiebesparingspercentages is noodzakelijk, aangezien de verschillende opties met elkaar concurreren. Hierdoor zal de maximale energiebesparing (verkregen door optelling van de afzonderlijke percentages) niet haalbaar zijn in de praktijk. Ter verduidelijking wordt hieronder een voorbeeldberekening gegeven van de energiebesparing bij gelijktijdig gebruik van verschillende opties.

Voorbeeldberekening energiebesparing bij de combinatie van scherm en een dichtere kas:

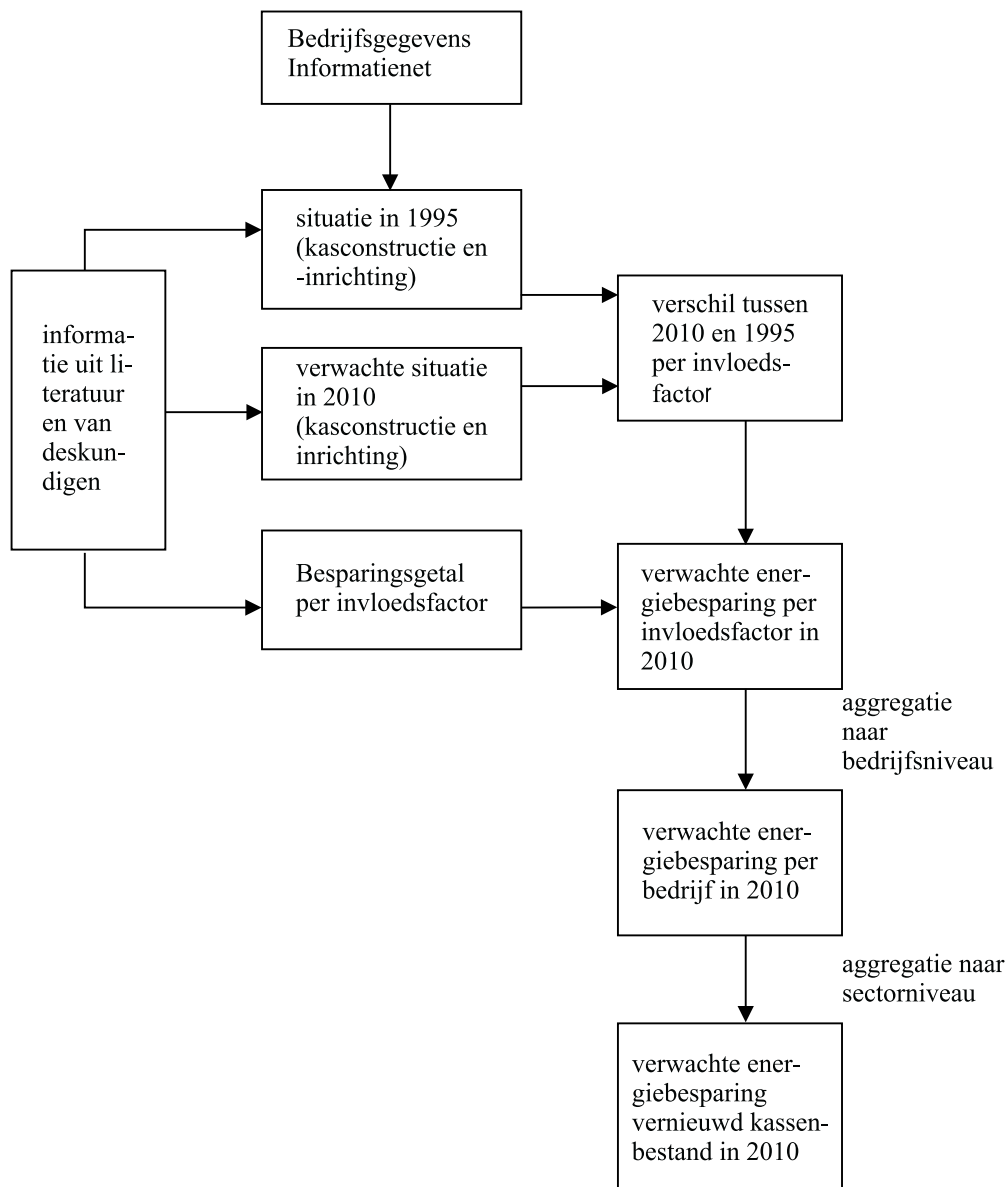
Gasverbruik in oude, relatief 'lekke' kas zonder scherm:	50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Energiebesparing door nieuwe, dichtere kas: 5%		
Energiebesparing door scherm: 20%		
Gasverbruik in relatief 'lekke' kas zonder scherm:	50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Energiebesparing door nieuwe, dichtere kas: 5% van 50 =	2,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
	<hr/>	-
Gasverbruik in nieuwe, dichtere kas:	47,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Energiebesparing door scherm 20% van 47,5 =	9,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
	<hr/>	-
Gasverbruik in nieuwe, dichtere kas met scherm:	38 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	

De totale besparing door de nieuwe, dichtere kas en het scherm bedraagt dus 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, ofwel 24%. Dit ligt lager dan de besparing die wordt verkregen door optelling van de afzonderlijke besparingspercentages (20+5 = 25%).

Na berekening van de energiebesparing per bedrijf kan de gemiddelde besparing voor elke gewasgroep, en voor de gehele sector worden berekend. Dit is de basisvariant. Door middel van een gevoeligheidsanalyse wordt het effect van veranderingen in uitgangspunten (varianten) inzichtelijk gemaakt. Dit geeft een indruk van het effect op de energiebesparing indien bepaalde ontwikkelingen (in onder andere dichtheid, lichtdoorlatendheid, schermgebruik) anders verlopen dan in de basisvariant is aangenomen.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van een spreadsheetprogramma waarmee, na invoer van de situatie in 1995 en de verwachte situatie in 2010, de verwachte energiebesparing in 2010 is berekend. Deze besparing is berekend voor alle gespecialiseerde bedrijven samen, en per subsector en gewasgroep. Daarnaast is de bijdrage aan de totale besparing van de verschillende invloedsfactoren gekwantificeerd.

In figuur 2.1 wordt de toegepaste methode schematisch weergegeven.



*Figuur 2.1 Schematische weergave van de gevolgde werkwijze*

### 3. Uitgangspunten

#### 3.1 Referentiesituatie in 1995

In de referentiesituatie is uitgegaan van de technische kasuitrusting en -inrichting in 1995 op de bedrijven van de 12 gewasgroepen. Een samenvattend overzicht van enkele belangrijke bedrijfskenmerken en invloedsfactoren (gemiddeld per gewasgroep) staat in tabel 3.1a,b. Een deel van de kenmerken en factoren is direct uit het Informatienet afkomstig. De invloedsfactoren U-waarde, lichtdoorlatendheid en dichtheid zijn per bedrijf ingeschat op basis van het gemiddelde bouwjaar van het bedrijf, en de informatie uit de uitgevoerde literatuurstudie (bijlage 1).

Tabel 3.1a Samenvattend overzicht van enkele belangrijke bedrijfskenmerken voor de 12 gewasgroepen en voor alle gespecialiseerde bedrijven in 1995

Gewas a)	Aantal bedrijven ongewogen	Aantal bedrijven gewogen	Gemiddeld oppervlak (m <sup>2</sup> )	Gemiddeld bouwjaar	Brandstof- intensiteit (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Tomaat	18	580	17.510	1983	59,3
Komkommer	17	629	12.088	1985	55,0
Paprika	20	610	14.424	1984	48,7
Ov. groenten bi<40	29	1.421	8.030	1977	14,4
Ov. groenten bi>40	5	190	14.885	1981	54,6
<i>Gem. glasgroente</i>					43,4
Roos belicht	8	235	10.717	1983	71,9
Roos onbelicht	11	372	11.002	1977	46,8
Chrysant	16	738	17.977	1984	40,0
Ov. bloemen bi<40	37	1.779	8.318	1980	27,4
Ov bloemen bi>40	14	665	9.112	1981	50,0
<i>Gem. snijbloemen</i>					39,6
Potplanten bi<40	16	469	9.662	1978	24,2
Potplanten bi>40	39	1.004	8.323	1982	54,4
<i>Gem. potplanten</i>					43,8
Totaal/gem. alle gesp. bedrijven	230	8.692	10.863	1981	41,8

a) Bi = brandstofintensiteit, in m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>.

Bron: Bedrijven-Informatienet.

Tabel 3.1b Samenvattend overzicht van enkele belangrijke bedrijfskenmerken voor de 12 gewasgroepen en voor alle gespecialiseerde bedrijven in 1995

Gewas a)	U-waarde (W/m <sup>2</sup> .K)	Lichtdoorlatendheid (%)	Dichtheid (aantal keer per uur)	Aandeel buitengevel (m <sup>2</sup> /100 m <sup>2</sup> )	Oppervlak met vast scherm (%)	Oppervlak met beweegbaar scherm (%)
Tomaat	8,2	70,3	0,8	13,4	10,8	18,0
Komkommer	8,2	71,0	0,8	13,5	24,7	42,2
Paprika	8,2	70,5	0,8	12,7	24,9	65,8
Ov. groenten bi<40	8,3	67,7	1,0	15,6	2,7	21,7
Ov. groenten bi>40	8,2	69,5	0,8	15,2	0,0	76,8
<i>Gem. glasgroente</i>						
Roos belicht	8,2	70,3	0,8	15,2	5,5	56,1
Roos onbelicht	8,3	67,7	1,0	18,6	0,0	79,4
Chrysant	8,2	70,5	0,8	13,3	0,0	98,6
Ov. bloemen bi<40	8,3	69,0	0,9	18,4	3,1	54,1
Ov bloemen bi>40	8,3	69,3	0,9	17,0	0,0	78,0
<i>Gem. snijbloemen</i>						
Potplanten bi<40	8,3	68,3	1,0	21,9	1,2	67,7
Potplanten bi>40	8,2	69,7	0,8	19,8	8,0	92,1
<hr/>						
Totaal/gem. alle gesp. bedrijven	8,3	69,3	0,9	16,5	7,2	60,1

a) Bi = brandstofintensiteit, in m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>.  
Bron: Bedrijven-Informatienet.

### 3.2 Verwachte situatie in 2010

Op basis van de uitgangssituatie in 1995, het literatuuronderzoek en gesprekken met deskundigen is per gewasgroep een inschatting gemaakt van de referentiekas in 2010, dat wil zeggen de kas die in 2010 (per gewasgroep) als standaard kan gelden. In het algemeen wordt er voor alle gewasgroepen in 2010 uitgegaan van hetzelfde kastype. Dit lijkt reëel aangezien het aandeel breedkapkassen in het totaal areaal nieuwe kassen al sinds 1970 afneemt (Bakker et al., 1999). Een belangrijke oorzaak hiervoor is de hogere investering die een breedkapper vraagt, zowel voor de kas als voor de installaties daarin (bijvoorbeeld een scherm). Als standaardkas in 2010 wordt uitgegaan van een venlokas met een poothoogte van 4,5 m, een vakmaat van 5 m en enkel glas in het dek. Volgens deskundigen is dit een realistisch kastype voor het jaar 2010, aangezien niet verwacht wordt dat nieuwe kasconcepten (andere kastype, andere bouwwijze) in 2010 al op grote schaal zullen worden toegepast. Vier van de vijf invloedsfactoren in deze kas (U-waarde, lichtdoorlatendheid, dichtheid, verhouding gevel/kasoppervlak) worden voor alle gewasgroepen gelijk verondersteld. Alleen het percentage bedrijven met een beweegbaar scherm wordt verondersteld per gewasgroep te verschillen. Hieronder volgt een opsomming van de invloedsfactoren met de verwachte waarden in 2010 in de basisvariant.

### 3.2.1 U-waarde

De U-waarde van het kasdek per eenheid kasoppervlak is in de periode 1980-1995 gemiddeld met ongeveer  $0,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  per jaar gedaald. In een in 1995 gebouwde kas is een kasdek met een U-waarde van 8,0 haalbaar. Omdat de ontwikkelingen in de kassenbouw naar verwachting in de periode 1995-2010 minder snel zullen verlopen zal er worden gerekend met een gemiddelde jaarlijkse daling van de U-waarde van  $0,01 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Dit betekent dat de U-waarde van het kasdek van de beste kas gebouwd in 2010 op ongeveer  $7,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  uit zal komen.

De U-waarde van de kasgevel wordt bij de factor verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak behandeld.

### 3.2.2 Lichtdoorlatendheid

De lichtdoorlatendheid van kassen is in de periode 1980-1995 met gemiddeld 0,4% per jaar verbeterd. Voor een kas gebouwd in 1995 is een lichtdoorlatendheid van ongeveer 75% haalbaar. Omdat ten aanzien van de lichttransmissie in de toekomst nog slechts kleine verbeteringen verwacht worden, is het realistisch om voor de periode 1995-2010 uit te gaan van een verbetering van de lichtdoorlatendheid met gemiddeld 0,2% per jaar. Dit betekent dat voor de beste kas gebouwd in 2010 een lichtdoorlatendheid van 78% reëel wordt geacht.

### 3.2.3 Dichtheid

De dichtheid van kassen (uitgedrukt in het ventilatievoud, ofwel het aantal keer per uur dat de volledige kasluchthoud ververscht wordt bij gesloten luchtramen) is in de periode 1980-1995 fors verbeterd. Dit komt enerzijds doordat de kassen lekdichter geconstrueerd worden, en anderzijds doordat de poothoogte is toegenomen. Bij een grotere poothoogte neemt de kasinhoud namelijk ook toe, waardoor het aantal keer per uur dat de kasinhoud wordt ververscht afneemt. Bij doorrekening van de situatie in 2010 moet daarom van dezelfde poothoogte (en dus kasinhoud) als in 1995 worden uitgegaan.

In de (relatief lage) kassen gebouwd in 1980 is een ventilatievoud van 1-1,5 realistisch, en voor de (relatief hoge) in 1995 gebouwde kassen 0,3. Voor het jaar 2010 wordt van dezelfde waarde (0,3) uitgegaan, omdat een verdere daling van het ventilatievoud niet reëel lijkt. Indien een kas te 'dicht' geconstrueerd wordt dan kan dit namelijk problemen geven met het kasklimaat en zullen de luchtramen geopend moeten worden om deze te verhelpen. Hierdoor wordt het voordeel van een dichtere kas weer voor een groot deel tenietgedaan. Alleen als het mogelijk is om op een rendabele (energiezuinige) manier de kaslucht mechanisch te koelen en te ontvochtigen zullen kassen nog dichter geconstrueerd kunnen worden. Een doorbraak op dit gebied wordt in de komende jaren echter niet verwacht. Daarnaast wordt niet verwacht dat de poothoogte in de periode 1995-2010 verder zal stijgen.

Voor een juiste berekening van het effect van een veranderende ventilatievoud op het energiegebruik moet worden uitgegaan van een gelijkblijvende poothoogte. De drie hiervoor genoemde ventilatievoudens moeten daarom worden teruggerekend naar dezelfde

gemiddelde poothoogte. In 1995 is poothoogte gemiddeld 2,9 m. Uitgaande van deze poothoogte worden de ventilatievouden van kassen gebouwd in de verschillende jaren als volgt:

- bouwjaar 1980: ventilatievoud van 0,75-1 (komt overeen met een ventilatievoud van 1-1,5 bij een poothoogte van 1,9-2,2 m);
- bouwjaar 1995: ventilatievoud van 0,5 (komt overeen met een ventilatievoud van 0,3 bij een poothoogte van 4,5 m);
- bouwjaar 2010: ventilatievoud van 0,5 (komt overeen met een ventilatievoud van 0,3 bij een poothoogte van 4,5 m).

### 3.2.4 Verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak

De verhouding kasgeveloppervlak per eenheid kasoppervlak wordt door 3 factoren bepaald: het oppervlak van de kas, de hoogte van de kas, en de lengte-breedteverhouding van de kas. Omdat deze 3 factoren in 2010 allen veranderd zullen zijn ten opzichte van 1995 is het moeilijk om in te schatten hoe de gemiddelde lengte-breedteverhouding in 2010 veranderd zal zijn ten opzichte van 1995. Om inzicht te krijgen in het effect van de onderliggende factoren op de lengte-breedteverhouding zijn berekeningen uitgevoerd (tabel 3.2).

Tabel 3.2 *Effect van kasoppervlak, poothoogte en lengte-breedteverhouding op de verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak, gemiddeld voor de gehele sector*

Variant	Factoren			Verhouding geveloppervlak/kasoppervlak (m <sup>2</sup> /100 m <sup>2</sup> )	Verbetering t.o.v. basis (%)
	kasoppervlak (m <sup>2</sup> )	poothoogte (cm)	l*b-verhouding		
basis (1995)	10863	294	onbekend a)	16,5	-
1)	10863	294	1:1	13,9	16
2)	10863	450	1:1	21,2	-28
3)	21726	450	1:1	15,0	9
4)	32589	450	1:1	12,2	26

a) Van de Informatienet-bedrijven is de exacte vorm niet bekend, dus kan de lengte-breedteverhouding niet worden bepaald.

Uit de tabel blijkt dat met name de poothoogte en de lengte-breedteverhouding van kassen een grote invloed hebben op de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak. Verbetering van de lengte-breedteverhouding naar 1:1 (bij gelijkblijvende gemiddelde bedrijfsgrootte en poothoogte) leidt tot een verlaging van de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak met 16%. Indien onder dezelfde omstandigheden de gemiddelde poothoogte naar 450 cm stijgt, dan neemt de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak met 28% toe ten opzichte van de basissituatie. Verder heeft vergroting van het gemiddelde kasoppervlak een positief effect op deze verhouding: bij verdubbeling van de gemiddelde

bedrijfs grootte (bij een poothoogte van 450 cm en een lengte-breedteverhouding van 1:1) neemt de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak met 9% af.

Door Alleblas et al. (1997) wordt uitgegaan van een gemiddelde bedrijfs grootte (be-teelbaar oppervlak) in 2010 van 1,3 ha in de Autonome hoofdstructuur en 4,7 ha in de Economische hoofdstructuur. Het lijkt daarom reëel om in onderliggend onderzoek uit te gaan van een gemiddelde bedrijfs grootte in 2010 die 2 à 3 keer groter is dan in 1995. De gemiddelde lengte-breedteverhouding zal waarschijnlijk ook verbeterd zijn ten opzichte van 1995; het is echter moeilijk om deze voor 2010 in te schatten, omdat de gemiddelde lengte-breedteverhouding in 1995 niet bekend is. In 2010 zullen de kassen dus groter, hoger en vierkanter zijn. Als gevolg van deze drie ontwikkelingen, en op basis van de resultaten uit tabel 3.1 wordt uitgegaan van een verlaging van de verhouding kasgeveloppervlak/kasoppervlak met 10% in 2010.

Naast de verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak is ook de U-waarde van de gevel van invloed op het energiegebruik in een kas. De U-waarde van de gevel wordt bepaald door het materiaalgebruik en de mate van isolatie van de gevel. Gevelisolatie kan bestaan uit dubbel glas, folie, kunststof, coating of een beweegbaar scherm. In het algemeen geldt dat een groot deel van de kasgevels geïsoleerd is; in 1995 was dit 77% van het totale oppervlakte aan kasgevels (Van der Velden et al., 1998). Verder is bekend dat in recent gebouwde kassen gevelisolatie minder voorkomt dan in kassen die tijdens de hoge gasprijzen begin jaren tachtig zijn gebouwd. (Bakker et al., 1999). Het is dan ook mogelijk dat het genoemde percentage van 77 zich in de toekomst zal stabiliseren of zal gaan dalen. Omdat dit niet bekend is wordt er in de berekeningen van uitgegaan dat in periode 1995-2010 het percentage geveloppervlak met scherm en de U-waarde van de gevel niet zullen veranderen.

### 3.2.5 Per gewasgroep

Een bedrijfskenmerk waarvan de penetratiegraad van de gewasgroep afhangt is het bovenscherm. Een vast scherm komt in 1995 op gemiddeld 7% van het areaal voor, en een beweegbaar scherm op 60%. Omdat het areaal met vaste schermen al jaren daalt (Van der Velden et al., 1998) wordt verondersteld dat er in 2010 alleen nog beweegbare schermen voorkomen. Doordat de kassen in 2010 hoger zullen zijn dan in 1995, zal het op alle bedrijven technisch mogelijk zijn om een scherm toe te passen. Wel moet opgemerkt worden dat verschillende gewassen verschillend op een scherm reageren. Zo is een scherm in tomaten bedrijfseconomisch niet aantrekkelijk vanwege het lichtverlies en de invloed van het scherm op het kasklimaat, wat ongunstig uitpakt in deze teelt.

De inwerkingtreding van het convenant Glastuinbouw en Milieu in 2000 zal naar verwachting een positieve invloed hebben op het schermgebruik op glastuinbouwbedrijven. Telers worden dan namelijk via een Bedrijfsmilieuplan of AMvB individueel beoordeeld op onder andere hun energiegebruik. Voor het verminderen van het energiegebruik kan een scherm een belangrijke optie zijn.

Per gewasgroep is een inschatting gemaakt welk percentage beweegbare schermen in 2010 realistisch is. Hierbij is er vanuit gegaan dat het areaal dat in 1995 een vast scherm heeft, in 2010 voorzien zal zijn van een beweegbaar scherm. Er wordt in de berekeningen alleen gewerkt met veranderingen in penetratiegraden van het scherm; de toepassing van



zwaardere schermdoeken of eventuele veranderingen in aantal geschermden uren worden niet meegenomen. In de volgende tabel wordt het aandeel areaal met een vast en een beweegbaar scherm in 1995, en een inschatting van het percentage areaal met een beweegbaar scherm in 2010 weergegeven. In de tabel worden alle schermen meegenomen; naast energieschermen dus ook schermen die voornamelijk andere doelen dienen, zoals bijvoorbeeld verduistering. Onder de tabel volgt een toelichting.

Tabel 3.3 Aandeel areaal in 1995 met een vast en met een beweegbaar scherm, en geschat aandeel areaal in 2010 met een beweegbaar scherm (%) a)

Gewasgroep	Aandeel areaal met		
	vast scherm in 1995 b)	bew. scherm in 1995 b)	bew. scherm in 2010
Tomaat	10,8	18,0	30
Komkommer	24,7	42,2	100
Paprika	25,0	65,8	100
Overig groente bi<40	2,7	21,7	10
Overig groente bi>40	0	76,8	100
Roos belicht	5,5	56,1	100
Roos onbelicht	0	79,4	100
Chrysanth	0	98,6	100
Overig bloem bi<40	3,1	54,1	60
Overig bloem bi>40	0	78,0	100
Potplanten bi<40	1,2	67,7	70
Potplanten bi>40	8,0	92,1	100

a) Verondersteld wordt dat er in 2010 geen vaste schermen meer voorkomen; b) Bron: Bedrijven-Informatienet.

### *Tomaat*

In tomaat bedraagt het areaal met scherm (vast en beweegbaar) in 1995 bijna 30%. Het betreft hier grotendeels bedrijven waarin de jaren tachtig een scherm is geïnstalleerd, dat nog steeds gebruikt wordt. Bij nieuwbouw worden er in de tomatenteelt vrijwel geen schermen meer geïnstalleerd (Disco, 1999), vanwege het negatieve effect van een scherm op het kasklimaat en de hoeveelheid licht in de kas. Het is mogelijk dat er in de komende 10 jaar door verbetering van de schermregeling en eventueel ontwikkeling van andere schermdoeken een positieve invloed op het kasklimaat gerealiseerd kan worden. Daarnaast zal waarschijnlijk door de inwerkingtreding van het convenant Glastuinbouw en Milieu de druk op tomatentelers toenemen om (meer) te gaan schermen. Hierdoor kan het gebruik van schermen in de tomatenteelt aantrekkelijker worden. Het areaal tomaat met een scherm in 2010 wordt daarom verondersteld niet verder te dalen, maar gelijk te blijven ten opzicht van 1995.

### *Komkommer*

In 1995 is op ongeveer tweederde deel van het komkommerareaal een scherm aanwezig. Door de verbetering van de schermregeling en eventueel de ontwikkeling van nieuwe schermdoektypen zal het wellicht voor meer telers aantrekkelijk worden om te schermen. Hierdoor, en door de druk van het convenant Glastuinbouw en Milieu tot energiebesparing, wordt het areaal komkommer met een scherm in 2010 op 100% geschat.

### *Paprika*

In de paprikateelt is in 1995 iets meer dan 90% van het areaal voorzien van een scherm. Vanwege het gunstige invloed van een scherm op het kasklimaat (vooral aan het begin van de teelt) wordt verondersteld dat in 2010 100% van het paprika-areaal geschermd wordt.

### *Overig groente $bi < 40$*

In deze groep heeft in 1995 ongeveer 25% van het areaal een scherm. Vanwege de lage gemiddelde brandstofintensiteit in de groep ( $14 \text{ m}^3/\text{m}^2$  a.e.) zal toepassing van een scherm bedrijfseconomisch meestal niet (meer) aantrekkelijk zijn, zelfs niet bij een hogere gasprijs. Er wordt dan ook verwacht dat er bij nieuwbouw minder schermen zullen worden geïnstalleerd. Voor enkele bedrijven uit deze groep, namelijk degenen die net onder de  $40 \text{ m}^3/\text{m}^2$  a.e. zitten, kan het nog wel aantrekkelijk zijn om een scherm toe te passen. Het percentage areaal met scherm in de gehele groep wordt daarom op 10% in 2010 geschat.

### *Overig groente $bi > 40$*

Op deze bedrijven is in 1995 ruim drievierde deel van het areaal van een scherm voorzien. Door verbetering van de schermregeling, de ontwikkeling en toepassing van betere schermdoeken en de druk van het convenant Glastuinbouw en Milieu zal dit percentage naar verwachting in 2010 op 100% liggen.

### *Roos belicht*

In de belichte rozenteelt heeft in 1995 ruim 60% van het areaal een scherm. Het gebruik van schermen in de belichte rozenteelt is de laatste jaren minder aantrekkelijk door het optreden van warmteoverschotten. Deze zijn een gevolg van hogere belichtingsintensiteiten in combinatie met elektriciteitsopwekking met een eigen w/k-installatie en  $\text{CO}_2$ -dosering met de ketel. Bij het optreden van (grote) warmteoverschotten zal het steeds aantrekkelijker worden om een cluster te vormen met één of meerdere bedrijven die de warmte kunnen gebruiken. Ook kan door de toepassing van temperatuurintegratie de warmtevraag beter worden afgestemd op het warmteaanbod. Verder zal door toepassing van een rookgasreiniger op de w/k het warmteoverschot kleiner worden. Bij gebruik van een rookgasreiniger hoeft er namelijk minder  $\text{CO}_2$  met de ketel in perioden zonder warmtevraag te worden geproduceerd. Verder is de verwachting dat de overheid steeds strenger wordt ten aanzien van de lichtuitstoot van belichtende bedrijven. Nu al hebben alle belichtende rozenbedrij-

ven verplicht een gevelscherm, en moeten ze minimaal 4 uur per nacht donker zijn. Het is goed mogelijk dat de regelgeving in de toekomst verder aangescherpt wordt, waardoor toepassing van een scherm om de lichtuitstoot te verminderen aantrekkelijker wordt. Door de hiervoor genoemde ontwikkelingen zal gebruik van een scherm in de belichte rozenteelt aantrekkelijker worden. Het aandeel areaal met een scherm in 2010 wordt dan ook op 100% ingeschat.

#### *Roos onbelicht*

Het areaal met een scherm bedroeg in 1995 bijna 80%. De groep telers die 's winters niet doorstookt (waardoor de toepassing van een scherm minder aantrekkelijk is) zal naar verwachting in de toekomst verdwijnen. Als gevolg van deze ontwikkeling, en de impuls die naar verwachting uit zal gaan van het convenant Glastuinbouw en Milieu, wordt verondersteld dat in 2010 het areaal onbelichte rozenteelt met een scherm zal zijn gestegen tot 100%.

#### *Chrysant*

In de chrysantenteelt is in 1995 vrijwel 100% van het areaal uitgerust met een verduisteringsscherm. Dit is in deze teelt noodzakelijk voor de bloei-inductie. In 2010 zal dit niet veranderd zijn.

#### *Overig bloemen $bi < 40$*

In deze groep bedrijven wordt in 1995 op gemiddeld 57% van het areaal een scherm gebruikt. Voor de bedrijven in deze groep met een lage brandstofintensiteit (rond de  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2$  a.e.) is het veelal niet aantrekkelijk om een energiescherm toe te passen. Omdat een scherm vaak ook voor andere doelen dan alleen energiebesparing wordt gebruikt, wordt verondersteld dat in 2010 het percentage areaal met een scherm nauwelijks zal zijn veranderd.

#### *Overig bloemen $bi > 40$*

In 1995 was op bijna 80% van het areaal een scherm aanwezig. Door de mogelijke ontwikkeling van betere schermdoeken (dat wil zeggen beter rekening houdend met de verschillende kasklimaatomstandigheden in de diverse teelten), en de druk op de individuele teler voortvloeiend uit het Convenant Glastuinbouw en Milieu, zal dit percentage naar verwachting op 100% in 2010 liggen.

#### *Potplanten $bi < 40$*

Ongeveer 70% van het areaal was in 1995 voorzien van een scherm, en voor 2010 wordt dit percentage gelijk verondersteld. Dit aangezien een deel van de bedrijven met een lage brandstofintensiteit in deze groep ook in de toekomst naar verwachting geen scherm zal gaan gebruiken.

*Potplanten  $bi > 40$*

In deze groep is in 1995 vrijwel 100% van het areaal voorzien van een scherm. Naar verwachting zal dit percentage in 2010 niet veranderd zijn.

## 4. Resultaten

### 4.1 Basisvariant

In tabel 4.1 worden de resultaten vermeld van de modelberekeningen voor de 'basisvariant'. Uit de tabel blijkt dat de totale besparing in de gehele sector door een vernieuwd kassenbestand in 2010 uitkomt op ongeveer 14,6%. Het betreft hier alleen het effect van verbeteringen in kasconstructie op het energiegebruik; het effect van veranderingen in toegepaste energiebesparende opties, veranderingen in gedrag en de ontwikkeling van de intensivering zijn hierbij niet meegenomen. Uitgaand van een gemiddelde brandstofintensiteit van alle gespecialiseerde bedrijven in 1995 van  $43,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$  komt een besparing van 14,6% overeen met circa 600 miljoen  $\text{m}^3$  aardgasequivalenten. De grootste bijdrage aan de besparing in de sector (6,8%) worden geleverd door verbetering van de dichtheid. Dit kan verklaard worden doordat de dichtheid tegelijkertijd een grote invloed heeft op het energiegebruik, en de verbetering van de dichtheid wordt gerealiseerd op het gehele areaal. Verbetering van de U-waarde, het schermgebruik en de lichtdoorlatendheid geven lagere besparingspercentages van respectievelijk 3,9, 2,0 en 1,8%. Dit komt doordat de besparingsmogelijkheden een geringere invloed hebben op het energiegebruik in een kas (U-waarde en lichtdoorlatendheid), of doordat de penetratiegraad in 1995 al redelijk hoog is en tot 2010 nog slechts beperkt uitgebreid kan worden (schermen). Verbetering van de lichtdoorlatendheid zal naar verwachting wel een grote invloed hebben op de fysieke productie die in de kas gerealiseerd kan worden. Dit valt echter buiten het bereik van dit onderzoek. De verbetering van de verhouding geveleppervlak/kasoppervlak levert de kleinste bijdrage aan de totale besparing in de sector (1,0%). Dit kan verklaard worden doordat deze factor naar verwachting in 2010 in bescheiden mate zal zijn verbeterd (als gevolg van de toenemende pothoogte), en tegelijkertijd een relatief klein besparingsgetal heeft.

Tabel 4.1 Verwachte energiebesparing per invloedsfactor en voor alle gespecialiseerde bedrijven in 2010, basisvariant (%)

Invloedsfactor	Besparingspercentage
U-waarde	3,9
Lichtdoorlatendheid	1,8
Dichtheid	6,8
Verhouding geveleppervlak/kasoppervlak	1,0
Schermen	2,0
Totale besparing gespecialiseerde bedrijven	14,6 a)

a) De totale besparing is niet gelijk aan de som van de afzonderlijke besparingspercentages.

In tabel 4.2 wordt een overzicht gegeven van de verwachte gemiddelde brandstofintensiteit, en de besparingspercentages in 2010 in de 12 onderscheiden gewasgroepen, per subsector, en voor alle gespecialiseerde bedrijven. Er komt naar voren dat de verwachte besparingspercentages in de 3 subsectoren ongeveer even groot zijn. Binnen de subsectoren zijn er wel verschillen in besparingspercentages. Zo valt bij de glasgroente het verschil op tussen tomaat (11,9% besparing) en komkommer (16,2% besparing). Dit verschil wordt vrijwel geheel verklaard door de verwachte stijging van het areaal scherm in komkommer. In de snijbloementeel kan er vooral in de belichte rozenteelt nog veel energie bespaard worden. Dit komt vooral door de verwachte stijging van het schermgebruik. In de chrysantenteelt, waar het areaal met scherm in 1995 al 100% is, wordt er in 2010 dan ook relatief minder energie bespaard. In de beide gewasgroepen bij potplanten ligt het besparingspercentage rond de 14 à 15%.

Tabel 4.2 *Werkelijke gemiddelde brandstofintensiteit in 1995, berekende gemiddelde brandstofintensiteit en energiebesparing per gewasgroep, per subsector, en voor alle gespecialiseerde bedrijven in 2010, basisvariant*

Gewasgroep	Gemiddelde brandstofintensiteit in 1995 (m <sup>3</sup> a.e. per m <sup>2</sup> ) a)	Berekende gemiddelde brandstofintensiteit in 2010 (m <sup>3</sup> a.e. per m <sup>2</sup> )	Besparing (%)
Tomaat	59,3	52,2	11,9
Komkommer	55,0	46,1	16,2
Paprika	48,7	41,1	15,5
Ov. glasgroente bi<40	14,4	12,2	14,8
Ov. glasgroente bi>40	56,4	46,8	16,9
Alle glasgroentebedrijven	43,5	37,2	14,5
Roos belicht	71,9	57,8	19,6
Roos onbelicht	46,8	39,0	16,5
Chrysant	40,0	35,4	11,6
Ov. snijbloemen bi<40	27,4	23,3	14,9
Ov. snijbloemen bi>40	50,0	41,9	16,2
Alle snijbloemenbedrijven	39,6	33,7	14,8
Potplanten bi<40	24,2	20,5	15,2
Potplanten bi>40	54,4	46,7	14,3
Alle potplantbedrijven	43,8	37,5	14,4
Alle gespec. bedrijven	41,8	35,7	14,6

a) Bron: Bedrijven-Informatienet.

Uit de resultaten komt naar voren dat verschillen tussen gewasgroepen wat betreft de energiebesparing vooral veroorzaakt worden door verschillen in schermgebruik. Dit is niet

zo verwonderlijk, omdat er voor sommige gewassen is verondersteld dat de penetratiegraad van het scherm in 2010 flink is gestegen ten opzichte van 1995, terwijl dit in andere gewassen niet of in veel minder sterke mate het geval is (tabel 3.2). Bij de andere invloedsfactoren (U-waarde, lichtdoorlatendheid, dichtheid en verhouding geveloppervlak/kasoppervlak) zijn de verschillen tussen de gewassen veel kleiner, aangezien de verbetering in 2010 ten opzichte van 1995 voor alle gewassen gelijk wordt verondersteld, en de verschillen tussen de gewasgroepen in het basisjaar 1995 niet zo groot zijn.

## 4.2 Resultaten bij gewijzigde uitgangspunten

Aan de hand van de in hoofdstuk 3.2 geformuleerde uitgangspunten zullen er nu enkele varianten besproken worden waarbij telkens één uitgangspunt veranderd is. Per variant wordt naast de energiebesparing in de basisvariant de verwachte energiebesparing bij een optimistische inschatting, en bij een pessimistische inschatting van de ontwikkeling van de invloedsfactor weergegeven. Bij elke variant blijven de overige uitgangspunten ongewijzigd, behalve bij de variant in paragraaf 4.2.5.

### 4.2.1 Variant 'technisch niveau 1995'

In deze variant wordt het effect op de energiebesparing berekend van modernisering van het in 1995 aanwezige kassenbestand naar het technische niveau van 1995. Dit betekent dat alle kassen op (hetzelfde) technische niveau van 1995 worden gebracht. Het verschil met de basisvariant is dat de technische ontwikkelingen, die in de periode 1995-2010 worden verwacht, niet in beschouwing worden genomen. Op deze manier is het mogelijk om het effect op het energiegebruik te bepalen van enerzijds de modernisering van het gehele kassenbestand naar het technische niveau van 1995, en anderzijds de verwachte technische ontwikkelingen in de periode 1995-2010. In tabel 4.3 wordt het resultaat weergegeven.

Tabel 4.3 *Energiebesparing (%) van alle gespecialiseerde bedrijven in 2010 ten opzichte van de uitgangssituatie bij de variant 'technisch niveau 1995'*

	Variant 'niveau 1995'	Basisvariant
Energiebesparing gespecialiseerde bedrijven	10,8	14,6

Uit de tabel komt naar voren dat indien het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand op het technische niveau van 1995 wordt gebracht, er circa 10,8% energie te besparen is. Door verwachte technische ontwikkelingen in de periode 1995-2010 is er dus 3,8% (14,6-10,8) energie te besparen. De ontwikkelingen in kassenbouw en -inrichting in de periode 1995-2010 leveren dus een relatief kleine bijdrage aan de totale energiebesparing van 14,6%. Dit komt doordat er in de periode 1995-2010 op technisch gebied naar verwachting minder ontwikkelingen zullen plaatsvinden dan in de periode 1980-1995. Het is dus vanuit

oogpunt van energiebesparing aantrekkelijker op om een kas uit 1981 in 1996 te vervangen, dan om in 2009 een kas uit 1994 te vervangen.

Uit de cijfers blijkt dat de grootste winst te halen is door vervanging van alle in 1995 aanwezige oude kassen. Uit onderzoek van Bakker et al. (1999) is naar voren gekomen dat in 1996 bijna 40% van de kassen in Nederland ouder was dan 15 jaar, dus in economische zin verouderd was. Vervanging van deze 40% kan een flinke impuls geven aan de energiebesparing in de glastuinbouwsector.

#### 4.2.2 Variant 'verbetering dichtheid'

In deze variant wordt verondersteld dat de dichtheid van kassen verbetert, waarbij het ventilatievoud in 2010 0,25 bedraagt (in plaats van 0,50 in de basisvariant). Dit zou bijvoorbeeld gerealiseerd kunnen worden indien een energiezuinige kasluchtontvochtigingstechniek ontwikkeld wordt, waardoor de afvoer van vocht bij gesloten luchtramen in de dichtere kas geen probleem meer hoeft te zijn. Het wordt dan aantrekkelijk om kassen te ontwikkelen met een grotere dichtheid.

Tabel 4.4 *Energiebesparing (%) in 2010 van alle gespecialiseerde bedrijven ten opzichte van de uitgangssituatie bij de variant 'verbetering dichtheid'*

	Basisvariant	Variant 'verbetering dichtheid'
Energiebesparing gespecialiseerde bedrijven	14,6	19,8

Verbetering van de dichtheid, wat tot uiting komt in een daling van het ventilatievoud van 0,50 naar 0,25, levert een forse extra energiebesparing op van ruim 5 procentpunt (tabel 4.4). In de praktijk zal dit percentage echter lager liggen aangezien de toegepaste ontvochtigingstechniek energie zal gebruiken. Het saldo van enerzijds de behaalde energiebesparing en anderzijds het extra energiegebruik door ontvochtiging is echter moeilijk te bepalen. Duidelijk is wel dat de dichtheid van grote invloed is op het energiegebruik in kassen. Het verbeteren van de dichtheid (in combinatie met de ontwikkeling van energiezuinige kasluchtontvochtigingstechnieken) is dan ook een belangrijke optie om in de toekomst energie mee te besparen.

#### 4.2.3 Variant 'verandering lichtdoorlatendheid'

In deze variant wordt gerekend met een verbetering van de lichtdoorlatendheid met gemiddeld 0,4% in plaats van 0,2% per jaar in de basisvariant. Dit zou gerealiseerd kunnen worden bij een andere constructie van het kasdek, bijvoorbeeld door de toepassing van grotere, geharde, en/of gelijmde ruiten, of door de toepassing van coatings.

In tabel 4.5 worden de resultaten van deze variant weergegeven, waarbij ook het effect is doorgerekend van een verbetering van de lichtdoorlatendheid met 0,1% per jaar.



Tabel 4.5 *Energiebesparing (%) in 2010 van alle gespecialiseerde bedrijven ten opzichte van de uitgangssituatie bij de variant 'verandering lichtdoorlatendheid'*

	+0,1% licht per jaar	+0,2% licht per jaar (basisvariant)	+0,4% licht per jaar
Energiebesparing gespecialiseerde bedrijven	14,5	14,6	14,8

Uit de tabel komt naar voren dat een verandering in verbetering van de lichtdoorlatendheid slechts een geringe invloed heeft op de energiebesparing. De optimistische variant (een 0,4% grotere lichtdoorlatendheid per jaar) leidt tot een extra energiebesparing in 2010 van 0,2 procentpunt ten opzichte van de basisvariant. Het effect van een grotere lichtdoorlatendheid op de energiebesparing is dus gering; naar verwachting zal de invloed op het fysieke productieniveau een stuk forser zijn, omdat de relatie tussen lichthoeveelheid en fysieke productie veel sterker is. Dit aspect valt echter buiten dit onderzoek.

#### 4.2.4 Variant 'verandering geschermd areaal'

In deze variant wordt er vanuit gegaan dat in alle gewasgroepen op 100% van het areaal wordt geschermd. Dit betekent dat het ingeschatte percentage schermen in 2010 in de gewasgroepen waar nog geen volledig schermgebruik werd verondersteld, op 100% wordt gezet. Het betreft de gewasgroepen tomaat, overig groente bi<40, overig groente bi>40, overig bloemen bi<40 en potplanten bi<40 verhoogd worden naar 100 (alle andere gewasgroepen hadden al 100%). De toepassing van schermen op 100% van het areaal zou (technisch gezien) gerealiseerd kunnen worden door de ontwikkeling van andere schermdoeken, een kleiner scherpakket, en de toepassing van kasluchtontvochtiging.

Tabel 4.6 *Energiebesparing (%) in 2010 van alle gespecialiseerde bedrijven bij de variant 'verandering geschermd areaal'*

	Schermpcentage niveau 1995	Basisvariant	Schermpcentage 100%
Energiebesparing gespecialiseerde bedrijven	12,4	14,6	16,4

Indien er op het gehele areaal gespecialiseerde bedrijven geschermd zou worden, dan levert dit 1,8 procentpunt extra energiebesparing op in 2010. Dit percentage is relatief laag, omdat bij deze variant vooral in de gewasgroepen met een relatief laag energiegebruik (lager dan 40 m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>) het schermgebruik nog flink zal uitbreiden. De overige

gewasgroepen (exclusief tomaat) hebben in de basisvariant al een schermpercentage dat op of rond de 100% ligt. Meer energiebesparing met behulp van schermen zou gerealiseerd kunnen worden indien er langer (meer uren) geschermd wordt en/of zwaardere doeken (doeken met een hogere isolatiegraad) worden toegepast. Dit valt echter buiten het bereik van dit onderzoek.

In tabel 4.6 worden naast de uitkomsten van de basisvariant en de 100%-optie, ook de uitkomsten weergegeven van de situatie waarbij er ten opzichte van 1995 niets verandert (het percentage schermgebruik per gewasgroep in 2010 wordt dus op dat van 1995 gesteld). De energiebesparing in 2010 loopt dan ten opzichte van de basisvariant met 2,2% terug. Ook hier geldt dat door een ander schermgedrag en de toepassing van zwaardere doeken de daling van 2,2% beperkt of zelfs in een stijging omgezet kan worden.

#### 4.2.5 Variant 'verandering geveloppervlak per eenheid kasoppervlak'

Het geveloppervlak per eenheid kasoppervlak wordt door 3 factoren bepaald: de poothoogte, de oppervlakte en de lengte-breedteverhouding van een kas. Het is dan ook moeilijk om een betrouwbare schatting van de geveloppervlak/eenheid kasoppervlak in 2010 te geven. In deze variant wordt daarom gekeken naar het effect van een verbetering van het geveloppervlak/kasoppervlak van respectievelijk 0% en 20% (in de basisvariant is de verbetering op 10% ingeschat). Een verbetering van 20% zou gerealiseerd kunnen worden indien de kassen in 2010 een grotere oppervlak en een betere lengte-breedteverhouding hebben dan in de basisvariant is verondersteld. Als de poothoogte in 2010 wel is gestegen, maar het oppervlak en de lengte-breedteverhouding minder sterk veranderen dan in de basisvariant is aangenomen, dan zou verbetering van het geveloppervlak/kasoppervlak op 0% uit kunnen komen. In dat geval wordt het effect van een groter oppervlak en een betere lengte-breedteverhouding gecompenseerd door een toenemende poothoogte. In tabel 4.7 staan de resultaten van deze variant.

Tabel 4.7 *Energiebesparing (%) in 2010 van alle gespecialiseerde bedrijven bij de variant 'verandering geveloppervlak/eenheid kasoppervlak'*

	Verbetering 0%	Basisvariant (10%)	Verbetering 20%
Energiebesparing gespecialiseerde bedrijven	13,8	14,6	15,5

Een verbetering van de verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak met 20% in plaats van 10% levert een extra energiebesparing op van 0,9%. Indien deze verhouding ten opzichte van 1995 niet is veranderd geeft dit een 0,8% lagere energiebesparing in de sector. De berekeningen tonen aan dat zelfs bij een forse range in verbetering van de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak (0 tot 20%) het effect op de energiebesparing in 2010 relatief klein is.

#### 4.2.6 Variant 'versnelde technische ontwikkeling'

Deze variant is een gelijktijdige combinatie van de 'optimistische' varianten beschreven in paragraaf 4.2.2 tot en met 4.2.5. Dit betekent dus in 2010 een ventilatievoud van 0,25, 100% schermgebruik in alle gewasgroepen, een verbetering van de lichtdoorlatendheid met 0,4% per jaar, en een verbetering van de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak met 20%. Het resultaat van deze variant geeft dan ook de theoretisch maximaal haalbare besparing weer, die bereikt zou kunnen worden indien het gehele in 2010 aanwezige kassenbestand economisch 'modern' is (dat wil zeggen geen kas is ouder dan 15 jaar), en bovendien alle optimistische technische inschattingen uit de voorgaande varianten werkelijkheid worden. Deze combinatie van varianten levert een maximaal haalbare besparing op van 22,5% in 2010 (tabel 4.8). Nogmaals wordt er op gewezen dat dit een theoretisch besparingspercentage is, dat een indicatie geeft van het grote besparingspotentieel in de glastuinbouw dat door technische ontwikkelingen gerealiseerd zou kunnen worden. Er moet echter wel rekening worden gehouden met de intensiveringsontwikkelingen in de glastuinbouw. Deze ontwikkelingen, die bijvoorbeeld tot uiting komen in een intensiever toepassing van teelt- en klimaatmaatregelen, kunnen gepaard gaan met een hoger energiegebruik.

In de praktijk komt het erop neer dat de werkelijke energiebesparing in 2010 door een verbeterde kasconstructie zal liggen tussen de extremen 10,8% en de 22,5%. Deze 10,8% staat voor de situatie waarin alle in 1995 aanwezige kassen op het technisch niveau van 1995 worden gebracht waarna er tot 2010 geen technische ontwikkelingen meer plaatsvinden, en de 22,5% kan haalbaar zijn bij de versnelde ontwikkeling van enkele belangrijke technische verbeteringen. Er wordt hierbij nadrukkelijk vermeld dat in deze uitkomsten geen rekening is gehouden met de extra mogelijkheden voor energiebesparing door de diverse energiebesparende opties en door aanpassing van het gedrag. Verder is ook het mogelijke extra energiegebruik door de intensivering van de glastuinbouw niet meegenomen.

Tabel 4.8 *Verwachte energiebesparing per invloedsfactor en voor alle gespecialiseerde bedrijven in 2010 bij de variant 'versnelde ontwikkeling technische verbeteringen' en in de basisvariant (%)*

Invloedsfactor	Besparingspercentage	Idem, basisvariant
U-waarde	3,9	3,9
Lichtdoorlatendheid	2,0	1,8
Dichtheid	12,4	6,8
Verhouding geveloppervlak/kasoppervlak	2,0	1,0
Schermen	4,7	2,0
Totale besparing gespecialiseerde bedrijven	22,5 a)	4,6 a)

a) De totale besparing is niet gelijk aan de som van de afzonderlijke besparingspercentages.

## 5. Discussie, conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Discussie

De in dit onderzoek gevonden resultaten geven een indruk van de energiebesparingsmogelijkheden van een vernieuwd kassenbestand in 2010. De genoemde energiebesparingspercentages hangen alleen samen met de verwachte veranderingen in kasconstructie en het geschermd areaal; om een compleet beeld te krijgen van het verwachte primaire brandstofverbruik en de totaal mogelijke besparing in 2010 moet echter nog een aantal andere factoren in beschouwing worden genomen. Deze factoren, te weten toename penetratiegraden energiebesparende opties en gebruikswijze (gedrag), clustering, warmte van derden/CO<sub>2</sub> van derden en intensivering zullen hieronder kort behandeld worden.

In de glastuinbouw is er een groot aantal opties waarmee primair brandstof bespaard kan worden. Enkele belangrijke zijn warmte van derden, rookgascondensor, warmtebuffer en klimaatcomputer. In het algemeen nemen de penetratiegraden van deze opties elk jaar toe (Van der Velden et al., 1998). Naar verwachting zal de toepassing van een aantal belangrijke energiebesparende opties ook in de toekomst stijgen, ook al doordat tuinders door het Convenant Glastuinbouw en Milieu geprikkeld zullen worden om (meer) energie te besparen. Verder is voor toekenning van een Groen-Labelcertificaat aan een kas naast een aantal eisen aan de kasconstructie ook de toepassing van een groot aantal energiebesparende opties op het bedrijf noodzakelijk. De Groen-Labelregeling voor kassen stimuleert dus de toepassing van energiebesparende opties. Naast een toename in de penetratiegraden van energiebesparende opties zullen ook de technische prestaties van de opties in veel gevallen verbeterd kunnen worden. Voorbeelden zijn verbeteringen van ketel- en condensorrelementen, betere inpassing van de warmtebuffer in het verwarmings- en kasklimaatbeheersingssysteem, vergroting van de regelmogelijkheden van de klimaatcomputer. Op het gebied van schermen kunnen lichte schermdoeken vervangen worden door zwaardere, die meer energie besparen. Een andere belangrijke factor die van grote invloed is op het energiegebruik in kassen is het gedrag van de teler. Het gaat hierbij om de manier waarop een teler omgaat met de kasklimaatinstelling en het gebruik van energiebesparende opties (wat bijvoorbeeld tot uiting komt in het aantal schermuren). Op het ogenblik wordt door het LEI en PBG een onderzoek uitgevoerd naar de bedrijfs- en milieu-effecten van de AmvB Glastuinbouw. Hierin worden zowel investeringen in energiebesparende opties als het telersgedrag ten aanzien van deze opties meegenomen.

Een belangrijke optie voor het besparen van primair brandstofgebruik is warmte (en CO<sub>2</sub>) van derden. Toename van het gebruik van warmte van derden kan op twee manieren plaatsvinden: via het vergroten van het aantal bedrijven met warmte van derden, en door het realiseren van een hogere dekkingsgraad op bedrijven met warmte van derden. Een mogelijke toename van het aantal bedrijven met warmte van derden in de toekomst hangt af van de bedrijfseconomische mogelijkheden die de energiedistributiebedrijven zien voor uitbreiding van het aantal w/k-installaties en grote restwarmteprojecten. Daarnaast kan de

liberalisering van de gasmarkt en de invoering van het CDS-systeem grote gevolgen hebben voor een rendabele toepassing van warmte van derden (Van der Velden et al., 1999).

Door clustering (alle vormen van samenwerking van 2 of meer glastuinders) op het gebied van energie is het mogelijk om primair brandstof te besparen. Er is een groot aantal mogelijke clusteringsvormen denkbaar, die allemaal hun voor- en nadelen knelpunten hebben. Een onderzoek naar mogelijkheden, knelpunten en oplossingsrichtingen voor energieclustering is in voorbereiding.

Naast bovengenoemde mogelijkheden voor energiebesparing zijn er ontwikkelingen waardoor het energiegebruik zal toenemen. Het gaat hier om het steeds intensiever worden van teelten onder glas, wat zich onder andere uit in verschuiving naar gewassen met een hoger energiegebruik per m<sup>2</sup>. Daarnaast worden teelt- en klimaatmaatregelen zoals CO<sub>2</sub>-dosering en assimilatiebelichting op meer bedrijven en/of een hoger niveau toegepast. In de jaren 1990-1995 heeft dit geleid tot een stijging van de gemiddelde brandstofintensiteit van totaal 3,7% in de gehele sector. De intensivering in de glastuinbouw is een continue ontwikkeling die naar verwachting ook in de toekomst zal doorgaan. Het is echter onbekend welk effect dit zal hebben op de gemiddelde brandstofintensiteit in de sector. Indien de gevonden ontwikkeling uit de periode 1990-1995 lineair wordt doorgetrokken naar 2010 betekent dit dat in 2010 de gemiddelde brandstofintensiteit met 11,1% toeneemt. De energiebesparing van een vernieuwd kassenbestand (14,6%) wordt dan grotendeels tenietgedaan door de toegenomen intensivering. Er wordt hierbij opgemerkt dat de inschatting van de intensivering in 2010 zeer globaal is.

De volgende tabel geeft een samenvattend overzicht van de verschillende aspecten die van belang zijn voor het energiegebruik en -besparing in 2010.

Tabel 5.1 *Verwacht effect (kwalitatief) van diverse ontwikkelingen op het primair energiegebruik in 2010 a)*

Ontwikkelingen in	Invloed op primair brandstofgebruik in 2010
Kasconstructie	-
Penetratie energiebesparende opties	-
Gedrag met betrekking tot energiebesparende opties	-
Warmte/CO <sub>2</sub> van derden	-
Clustering op energiegebied	-
Intensivering	+

a) '+' = verhoogt het primair energiegebruik; '-' = verlaagt het primair energiegebruik.

Een ander mogelijk discussiepunt is de levensduur van kassen die wordt aangehouden. In dit onderzoek wordt deze leeftijd op 15 jaar gesteld, omdat in de praktijk blijkt dat kassen na 12-18 jaar vervangen worden. Indien niet van 15 jaar, maar van 20 jaar wordt uitgegaan zullen de resultaten niet wezenlijk veranderen. Bij een levensduur van 20 jaar zullen in 2010 de kassen die in de periode 1990-1995 gebouwd nog aanwezig zijn. Doordat er in de periode na 1991 relatief weinig gebouwd is als gevolg van de slechte rentabiliteit

in de sector, en doordat de kassen uit deze periode (in vergelijking met die gebouwd begin jaren tachtig) technisch al veel beter waren, zal het uiteindelijke effect niet al te groot zijn.

Tot slot wordt nog opgemerkt dat het Bedrijven-Informatienet van het LEI representatief is voor de gespecialiseerde bedrijven op sectorniveau, en op subsectorniveau (groenten, snijbloemen en potplanten). Dit betekent dat de Informatienet-bedrijven dusdanig worden gekozen en gewogen dat het totaal representatief is voor de sector of subsectorniveau. Hierdoor kan het voorkomen dat bij de indeling in gewasgroepen zoals in onderliggend onderzoek sommige gewasgroepen niet geheel representatief is voor de situatie op sectorniveau. Dit zal geen al te grote gevolgen hebben voor de gevonden resultaten, omdat de bedrijven in de diverse gewasgroepen in de uitgangssituatie niet zo erg verschillen ten aanzien van de invloedsfactoren uitgezonderd het areaal met scherm.

## 5.2 Conclusies en aanbevelingen

### *Conclusies*

Als gevolg van de snelle ontwikkelingen in de kassenbouw in de afgelopen 10 jaar zijn kassen met betrekking tot lichtdoorlatendheid, U-waarde en dichtheid sterk verbeterd. De huidige kas kan op een aantal punten nog wat verbeterd worden, maar wordt al als behoorlijk optimaal gezien. Deskundigen verwachten daarom niet dat in de (nabije) toekomst de ontwikkelingen uit de afgelopen 10 jaar zich op dezelfde schaal zullen voortzetten. De nadruk zal liggen op optimalisatie van de lichtdoorlatendheid en U-waarde van kassen middels kleine verbeteringen aan de kasconstructie en -inrichting.

Nieuwe kasconcepten (met ingrijpende veranderingen ten opzichte van de venlokas op het gebied van kasvorm en -constructiematerialen) worden in de praktijk niet of nauwelijks toegepast. Ook in 2010 zullen volgens deskundigen nieuwe kasconcepten (nog) niet op grote schaal worden toegepast. Het is daarom aannemelijk dat ook in 2010 de venlokas met enkel glas in het dek het standaardkastype zal zijn.

Indien in 2010 het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand op gespecialiseerde glastuinbouwbedrijven is vervangen kan dit 14,6% energiebesparing opleveren. Deze 14,6% kan worden gerealiseerd als gevolg van verbeteringen in kasconstructie en -inrichting. Het grootste deel van deze besparing komt voor rekening van het verminderen van lekverliezen in het kasdek. Verbeteringen in U-waarde, areaal met scherm, lichtdoorlatendheid en verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak leveren kleinere besparingspercentages op. Indien het gehele in 1995 aanwezige kassenbestand op het technische niveau van 1995 wordt gebracht kan er ongeveer 10,8% energie bespaard worden. De verwachte technische ontwikkelingen in de periode 1995-2010 op het gebied van kasconstructie leveren met 3,8% (14,6-10,8) een kleinere bijdrage aan de totaal haalbare energiebesparing in 2010. Een grote winst in energiebesparing is dus te behalen door het vervangen van alle in 1995 aanwezige verouderde kassen.

De te behalen gemiddelde energiebesparingspercentages zijn in de 3 subsectoren glasgroenten, snijbloemen en potplanten ongeveer even groot. Tussen de gewasgroepen binnen subsectoren zijn de verschillen groter en liggen de besparingspercentages tussen de 11,6 (chrysant) en 19,6% (roos belicht). Deze verschillen worden grotendeels bepaald door

verschillen in verwachte groei van het areaal met een beweegbaar scherm in de diverse gewasgroepen.

Indien technische ontwikkelingen op het gebied van lichtdoorlatendheid, dichtheid, geveleppervlak per eenheid kasoppervlak en schermgebruik sneller zullen verlopen dan verwacht dan is het mogelijk om een besparing van 22,5% in 2010 te behalen.

### *Aanbevelingen*

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat technische ontwikkelingen in kasconstructie grote invloed hebben op de mogelijke energiebesparing in kassen. Het is daarom van belang dat het omvangrijke areaal met verouderde kassen snel vervangen wordt en het kassenbestand in 2010 weer economisch modern is. De herstructurering in de glastuinbouwsector is een belangrijk middel om dit te bevorderen.

In onderliggend onderzoek is gekeken naar de mogelijkheden voor energiebesparing door technische verbeteringen in kasconstructie en door extra schermen. Om een totaalbeeld te krijgen van het verwachte energiegebruik in 2010 in de sector is inzicht benodigd in de toekomstige ontwikkeling van:

- de intensivering van de teelt onder glas, bijvoorbeeld op het gebied van CO<sub>2</sub>-dosering en assimilatiebelichting;
- het gebruik van warmte van derden (restwarmte en warmte uit w/k-installaties van het nutsbedrijf) in de glastuinbouw. De liberalisering van de aardgasmarkt en de invoering van het CDS-systeem kunnen grote gevolgen hebben voor het gebruik van warmte van derden;
- de samenwerking van glastuinders op het gebied van energie (clustering);
- het gebruik van de verschillende energiebesparende opties (gedrag teler).

Aanbevolen wordt om onderzoek op deze deelgebieden uit te voeren om uiteindelijk het totaalbeeld compleet te krijgen. Daarnaast is de verdere ontwikkeling van energiezuinige kasluchtontvochtigingstechnieken gewenst. Bij toepassing van kasluchtontvochtiging kunnen de kassen lekdichter geconstrueerd worden dan nu gebeurt, en hoeven de luchtra- men niet of minder vaak geopend te worden om overtollig vocht kwijt te raken. Dit is van grote invloed op de energiebesparing in de kas.

Een groot aantal kleinere technische aspecten is van invloed op bijvoorbeeld de U-waarde, de lichtdoorlatendheid of de dichtheid van een kas en daardoor op het energiegebruik in die kas. Vaak is van deze technische aspecten niet bekend welk kwantitatief effect ze hebben op het energiegebruik. Aanbevolen wordt om op dit terrein onderzoek te verrichten zodat bij investering in nieuwbouw objectieve informatie beschikbaar is over het energie-effect die het toegepaste materiaal en de kasconstructie met zich meebrengen.

## Literatuur

Alleblas, J.T.W. en M. Mulder, *Kansen voor kassen; Naar een economische hoofdstructuur glastuinbouw*. LEI-DLO, Den Haag, 1997.

Aarsen, L.J.G., 'Grote lichtverschillen, ook tussen kassen met enkel glas'. In: *Energiebesparing in de glastuinbouw*. Landbouwschap, Den Haag, 1982.

Bakker, J.C., G.P.A. Bot, H. Challa en N.J. van de Braak, *Greenhouse climate control; An integrated approach*. Wageningen Pers, Wageningen, 1995.

Bakker, J.C. (red.), *Kas van de toekomst*. Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO), Wageningen, 1998.

Bakker, R., N.J.A. van der Velden en A.P. Verhaegh, *Leeftijd bedrijven en energiebesparende opties*. LEI, Den Haag, 1999.

Bot, G.A., *Vanuit behoud naar beweging*. Inaugurale rede 2 juni 1994.

Bouwman, G.M., J.A.M. van Bergen en D. van der Eerden, *Gezonde tuinbouw, schoon milieu: milieuwinst door herstructurering van de glastuinbouw*. Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM), Utrecht, 1996.

Disco, A., 'Schermen hoort bij milieubewuste teelt'. In: *Groenten en Fruit/Glasgroenten* 29 januari 1999, pp. 22-23.

Duffhues, W.F.S. et al., *Een duurzame glastuinbouw met groenlabel*, 1997.

Goossens, H.C.E.M., et al., *Energiebesparing door optimaal gebruik van de bedrijfsuitrusting*. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, 1997.

Helderman, M.P., *Ecoteckas '93 Eindrapportage*. Kassenbouwbedrijf P. Bom, Naaldwijk, 1994.

Helderman, M.P., Lezing *Toepassing van licht- en energieberekeningen in de praktijk*. t.g.v. seminar *Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen*. TNO-bouw, Delft, 1998.

Helderman, mondelinge mededeling.

Kool, H.D.M., H. 't Hart en I.J.J. van Straalen, *Vier energie-indicatoren voor tuinbouwkassen*. TNO-bouw, Delft, 1998.



Koop, mondelinge mededeling.

KWIN, *Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, 1998-1999*. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (PBG), Naaldwijk, 1998.

Out, P.G., 'Betere isolatie en toch veel licht'. In: *Groenten en Fruit/Glasgroenten* no. 2 1993, pp. 26-27.

Out, P.G. en J.J.G. Breuer, *Effect van gecoat glas op de lichttransmissie en het energiegebruik van tuinbouwkassen*. Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO), Wageningen, 1995.

Rijsdijk, A. mondelinge mededeling.

Rijssel, E. van, J. Vogelesang en G. van Leeuwen, *Belichten onder gesloten bovenscherm : effect schermtoepassing op kasklimaat, productie, kwaliteit en bedrijfsresultaat bij roos*. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Aalsmeer, 1995.

Rijssel, E. van, *Meer warmte uit condensors door aansluiting op een net met lage watertemperatuur*. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Aalsmeer, 1996.

Sluis, B.J. van der, et al., *Het gebruik van energieschermen bij tomaat*. LEI-DLO, Den Haag, 1995.

Tuinhof, mondelinge mededeling.

Velden, N.J.A van der, *Potentiële penetratiegraden energiebesparende opties in de glastuinbouw; Een proeve van toepassing van het energiemodel*. LEI-DLO, Den Haag, 1996.

Velden, N.J.A van der, R. Bakker en A.P. Verhaegh, *Energie in de glastuinbouw van Nederland; Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven tot en met 1997*. LEI-DLO, Den Haag, 1998.

Velden, N.J.A van der, A.P. Verhaegh, R. Bakker en A. van der Knijff, *Liberalisering aardgasmarkt; Verkenning glastuinbouw (concept)*. LEI, Den Haag, 1999.

Verveer, J.B. en C.D. Becqué (red.), *Handboek verwarming glastuinbouw*. Nutsbedrijf Westland, 1995.

Zwart, H.F. de, *Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model*; Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen, Wageningen, 1996.

Zwart, H.F., mondelinge mededeling.



# Bijlage 1    Overzicht energiebesparingsmogelijkheden van nieuwe kassen

## Inleiding

Bij de bouw van een nieuwe kas(afdeling) c.q. een geheel nieuw bedrijf zijn er vele mogelijkheden om energie te besparen. Alle energiebesparingsmogelijkheden hebben betrekking op één van de volgende vier aspecten:

- 1) bedrijfsaspecten (bijvoorbeeld bedrijfsgrootte, lengte-breedteverhouding, ligging, regio);
- 2) technische aspecten van de kasconstructie en de kasinrichting (bijvoorbeeld type kas, toegepaste materialen);
- 3) toegepaste energiebesparende opties in de kas (bijvoorbeeld schermen);
- 4) aspecten ten aanzien van de energievoorziening en -distributie en energiebesparende opties buiten de kas (bijvoorbeeld ketelisolatie, gebruik w/k-installatie, toepassing condensor of buffer, enzovoort).

Het project 'Effect van kasconstructie op het toekomstig energiegebruik in de glastuinbouw' is hoofdzakelijk gericht op de aspecten van groep 2; deze groep wordt hieronder dus verder uitgewerkt, met een uitstapje naar groep 3 bij de behandeling van schermen. Voor groep 2 wordt een opsomming gegeven van de energiebesparingsmogelijkheden in nieuwe kassen die in deze groep thuishoren. Per mogelijkheid wordt kort aangegeven hoe het energieverbruik beïnvloed wordt (kwalitatief, en indien informatie beschikbaar is ook kwantitatief).

### **1)    Technische aspecten van de kasconstructie**

Onder technische aspecten van de kasconstructie wordt verstaan alle kenmerken van de kas die van invloed zijn op het energieverbruik. Er kan hierbij gedacht worden aan type kas en de gebruikte bouwmaterialen en profielen, en de dichtheid (bepaalt de natuurlijke ventilatie) van de kas. Kortom, het samenstel van onderdelen dat tezamen de (kale) kas vormt, dus exclusief verwarmingsnet en andere voorzieningen/energiebesparende opties in de kas. Het gaat hierbij om een groot aantal verschillende onderdelen en materialen, die elk voor zich vaak maar een beperkte invloed hebben op het energieverbruik van de kas. In de praktijk blijkt echter dat nieuwe kassen vaak op een groot aantal kleine punten verbeterd zijn ten opzichte van bestaande kassen, waardoor de totale energiebesparing van een nieuwe kas ten opzichte van een oude kas toch aanzienlijk kan zijn.

Hieronder volgt een opsomming van de technische aspecten van de kasconstructie die van invloed zijn op het energieverbruik. Sommige aspecten hebben betrekking op de lichttransmissie van een kas, terwijl andere aspecten van invloed zijn op de U-waarde

(warmtedoorgangscoefficient, vroeger k-waarde) van een kas, dus de mate waarin warmte door het glas en de constructiematerialen naar buiten verdwijnt. Verder is ook de dichtheid van de kas een erg belangrijke factor. De dichtheid bepaalt namelijk de natuurlijke ventilatie in een kas, en dus de mate waarin de (warme) kaslucht naar buiten verdwijnt.

#### A) Lichtdoorlatendheid van een kas

In het algemeen geldt dat nieuwe kassen veel meer licht doorlaten dan kassen die bijvoorbeeld 20 jaar geleden zijn gebouwd. Dit komt door een andere kasconstructie, met ander, lichter constructiemateriaal, toepassing van breder glas, enzovoort. Bij lichttransmissie moet er een onderscheid gemaakt worden tussen doorlating van diffuse straling en van directe straling. Directe straling is rechtstreeks afkomstig van de schijnende zon, terwijl diffuse straling licht is dat van alle kanten komt en verstrooid is in de atmosfeer en door de wolken (Out et al. 1995). De hoeveelheid directe straling in een kas is afhankelijk van een groot aantal factoren zoals geografische breedte en positionering van de kas, tijd van het jaar, enzovoort. Voor een vergelijking van de lichtdoorlatende eigenschappen van verschillende kassen moet daarom de hoeveelheden diffuse straling in de kastypen met elkaar vergeleken worden. Uit onderzoek van Out et al. (1995) blijkt dat de diffuse transmissie een goede maat is voor de hoeveelheid licht die in de kas terechtkomt.

Naast de directe invloed van meer licht op de fysieke productie (volgens de vuistregel in groentegewassen: 1% meer licht geeft 1% meer opbrengst), heeft een grotere lichtdoorlatendheid van het dek ook invloed op het energiegebruik in een kas. Een lichtere kas immers benut de aanwezige straling van de zon beter ('broeikas-effect'), waardoor er minder gestookt hoeft te worden om een bepaalde temperatuur te bereiken. De relatie tussen instraling en energiegebruik is moeilijk te bepalen, omdat het hier om een complexe relatie gaat. Bakker et al. (1998) komen, rekening houdend met het warmtevraagpatroon door het jaar, tot de regel 1% extra licht door het dek geeft maximaal een 0,4% lagere energiebehoefte. Deze verhouding is waarschijnlijk nog aan de hoge kant, aangezien meer licht in de kas absoluut gezien het grootste effect zal hebben in perioden met een hoge lichtintensiteit buiten, dus in de zomer. In de zomer is er echter een groot deel van de dag geen of nauwelijks warmtevraag, zodat extra licht in de kas geen bijdrage levert aan het op temperatuur houden van de kas. Een verhouding 1% meer licht in de kas geeft een 0,2% lagere energiebehoefte lijkt dan ook realistischer.

In Bakker et al. (1995) wordt de conclusie getrokken dat de lichtdoorlatendheid in venlokassen is gestegen van 65 tot 72% als gevolg van breder glas, smallere goten, en een grotere vakmaat. Verdere verbeteringen aan de vorm van constructiedelen en het wegwerken van het scherm in de kasconstructie kan de lichtdoorlatendheid verder vergroten tot 75%.

Door Kool et al. (1998) wordt uitgegaan van een traditionele venlokaas uit 1980 die 69,1% licht doorlaat.

De volgende aspecten hebben betrekking op de lichttransmissie van een kas:

- 1) materiaal in het dek (enkel/dubbel glas, met/zonder coating, kunststof);
- 2) glasmaat;
- 3) vorm, dikte en kleur van de gebruikte constructieprofielen;
- 4) kapbreedte;

- 5) type luchting (3-ruits of 2-ruits, of zelfs 1-ruits);
- 6) aanwezigheid scherm;
- 7) nok.

B) U-waarde van de kas

De hoeveelheid energie die benodigd is om een kas op temperatuur te houden wordt bepaald door het warmteverlies van die kas. Dit warmteverlies wordt veroorzaakt door warmtegeleiding en straling van het dek en de gevels, en door natuurlijke ventilatie (lekverliezen) en geforceerde ventilatie (luchtramen open). De warmteverliezen van een kas kunnen met de volgende formule worden berekend (Verveer, J.B. et al. 1995). Er wordt daarbij altijd uitgegaan van een kas met gesloten luchtramen.

$$Q_{kas} = Q_{dek} + Q_{gevel} + Q_{vent} \quad (1)$$

waarin:

- $Q_{kas}$  = som van de totale warmteverliezen van de kas
- $Q_{dek}$  = warmteverlies door het dek
- $Q_{gevel}$  = warmteverlies door de gevel
- $Q_{vent}$  = warmteverlies ten gevolge van luchtlekverliezen

Het warmteverlies door het dek wordt met de volgende formule berekend:

$$Q_{dek} = k_{dek} * A_{dek} * \Delta T \quad (2)$$

waarin:

- $k_{dek}$  = warmtedoorgangscoefficient van het dek (W/(m<sup>2</sup>K))
- $A_{dek}$  = oppervlakte van het dek (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  = temperatuurverschil tussen binnen en buiten (K)

Op dezelfde manier wordt het warmteverlies door de gevel berekend:

$$Q_{gevel} = k_{gevel} * A_{gevel} * \Delta T \quad (3)$$

De k-waarde heet tegenwoordig U-waarde; in tabel B.1.1 worden de U-waardes van enkele constructies weergegeven.

De U-waarde wordt in principe berekend voor een complete constructie; de hoogte ervan wordt bepaald door het aantal lagen waaruit een constructie is opgebouwd, de dikte van de lagen, en de materialen waarvan de lagen zijn gemaakt. Elke laag heeft zijn eigen warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$ ; via de warmtegeleidingscoëfficiënt hebben de toegepaste materialen dus invloed op de U-waarde van een constructie. De  $\lambda$  voor glas is ongeveer 1,0 (Out et al. 1995).

In het algemeen geldt dat staal en aluminium een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt hebben dan glas. Dit betekent dat de stalen en aluminium profielen in de gevel en het dek relatief gezien als koudebruggen zullen fungeren. Per eenheid oppervlakte zal er meer warmte door geleiding via de profielen naar buiten verdwijnen dan door het glas. Vermindering van het aantal profielen (door toepassing van breder glas), of verandering van de

vorm en dikte van de profielen zal dan ook direct invloed hebben op de U-waarde van de gevel of het dek (dus het warmteverlies van een kas).

Tabel B.1.1 U-waarden van enkele constructies

Constructie	U-waarde (W/(m <sup>2</sup> .K))
Enkel glas (4 mm)	5,8
Dubbel glas (spouw 6 mm dik)	3,4
Houten of kunststof raam enkel glas	5,7
Houten of kunststof raam, dubbel glas	3,3
Metalen raam enkel glas	5,7
Metalen raam dubbel glas	3,7

Bron: Out et al., 1995.

De volgende aspecten werken door in de U-waarde van een kas:

- 8) type goot (materiaal: staal/aluminium ,vorm: medium, smal, kokervorm, isolatie);
- 9) materiaal dek (enkel glas, dubbel glas, gecoat glas, kunststof platen);
- 10) soort roeden;
- 11) glasmaat;
- 12) soort roeden;
- 13) isolatie kasvoet;
- 14) isolatie gevel.

#### C) Dichtheid van de kas

De derde factor uit formule (1) die van invloed is op de warmteverliezen van een kas zijn de luchtlekverliezen. De luchtlekverliezen (als gevolg van ventilatie bij gesloten luchtramen door lekken in de kasconstructie) bepalen de dichtheid van de kas. De dichtheid van een kas is een maat voor de luchtuitwisseling met de buitenlucht; hiervoor wordt het ventilatievoud gebruikt. Het ventilatievoud van een kas is het aantal luchtwisselingen per uur, dat wil zeggen het aantal keer per uur dat de volledige kasinhoud ververst wordt (bij gesloten luchtramen). Bij de uitwisseling van kaslucht met buitenlucht verdwijnt er warmte naar buiten, zowel voelbare warmte als latente warmte (in de vorm van waterdamp). Deze warmteverliezen zijn recht evenredig met het ventilatievoud (Bakker et al. 1995). De dichtheid van de kas is daarom van grote invloed op het energiegebruik.

Voor oude kassen met een poothoogte van 2 m geven Verveer et al. (1995) een ventilatievoud van 2 op. Voor een moderne kas wordt in het algemeen van een ventilatievoud van 0,3-0,5 uitgegaan (Rijsdijk, mondeling, De Zwart, mondeling, Tuinhof, mondeling). In Bakker et al. (1995) wordt een onderzoek uit 1984 aangehaald waarin wordt uitgegaan van een ventilatievoud van 0,75-1,5. In het algemeen geldt dat oude kassen meer lekken dan nieuwe, 'dichter' geconstrueerde kassen. In oude kassen zal dan ook meer warmte naar buiten weglekken dan in nieuwe kassen. Daarnaast zullen oude, lage kassen een groter ventilatievoud hebben dan kassen die hoger, maar voor de rest technisch hetzelfde zijn. Dit

aangezien de kasinhoud (in  $m^3$  per  $m^2$  kasdek) in een lage kas kleiner zal zijn dan in een hogere kas. De totale inhoud van een lage kas zal dan ook sneller ververst zijn, dus het ventilatievoud is hoger. Voor een zuivere vergelijking van de ventilatievouden van kassen met verschillende bouwjaren (en verschillende poothoogtes) moet het ventilatievoud daarom worden gecorrigeerd voor poothoogte.

De volgende aspecten hebben betrekking op het ventilatievoud van een kas:

- 15) glasoplegging;
- 16) aansluiting voet met gevel;
- 17) aansluiting gevel met dek;
- 18) aantal luchtramen en aansluiting luchtramen met dek;
- 19) afgestripte roeden.

## 2) Uitwerking van de lichttransmissie, U-waarde en dichtheid

Hieronder volgt voor elk van de 3 groepen per aspect een korte beschrijving, met indien mogelijk een inschatting van het effect van enkele alternatieven op de lichttransmissie, de U-waarde en de dichtheid.

groep A (lichttransmissie)

### 1) *materiaal in dek*

Het type materiaal dat in het kasdek wordt toegepast heeft invloed op de hoeveelheid licht die de kas binnentreedt (tabel B1.2). Glas zonder coating laat (onder normale omstandigheden) 83% van het opvallend diffuse licht door (Out et al., 1995). De glassoort Hortiplus (met een speciale coating die de warmte-uitstraling van het glas vermindert) laat minder licht door dan gewoon glas, maar bespaart daarentegen wel fors op het energiegebruik. Toepassing van een dubbele coating bij Hortiplus verhoogt de transmissie tot een waarde die dicht in de buurt van enkel glas ligt (tabel B.1.2). Dit kan wellicht interessant worden in de toekomst, indien de gasprijs stijgt of als de meerkosten van het gecoate glas dalen. Een probleem is echter nog de duurzaamheid van de tweede coating. Ook dubbel glas en kunststofplaten laten in vergelijking met enkel glas minder licht door. Daarnaast verouderen sommige kunststofsoorten erg snel waarbij de lichtdoorlatendheid minder wordt en zijn ze soms erg brandbaar. Het lichtverlies ten opzichte van enkel glas van alternatieve kasdekken heeft direct een negatief effect op het productieniveau in de kas. Omdat de fysieke productieniveaus in de glastuinbouw elk jaar stijgen, zal de absolute vermindering van de fysieke productie bij elk procent lichtverlies steeds groter worden. Het effect van alternatieve kasdekken op de absolute hoogte van de fysieke productie wordt dus steeds groter, hetgeen nadelig is voor brede toepassing van andere kasdekmaterialen dan enkel glas.

Van der Velden (1996) komt dan ook tot de conclusie dat alternatieve kasdekopties (zoals gecoat glas, dubbel glas, stegdoppelplaat) vooralsnog niet economisch rendabel toe te passen zijn. In de praktijk worden er op korte termijn geen grote veranderingen met betrekking tot het gebruikte materiaal in het kasdek verwacht (Helderman, mondeling). Dit kan veranderen als er kunststoffen beschikbaar komen die meer licht doorlaten en goedko-

per zijn dan de huidige. Ook gehard glas en gelijmd glas hebben nog teveel (technische) nadelen voor toepassing in het kasdek.

Tabel B.1.2 Diffuse transmissie van enkele glassoorten

Glassoort	Diffuse transmissie (%)
Blank enkel glas	0,83
Dubbel glas	0,71
Hortiplus, 300 nm SNO <sub>2</sub>	0,74
Hortiplus met SnO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> -coating	0,81

Bron: Out et al. (1995).

## 2) Glasmaat

De glasmaat (de breedte van het glas op het dek) is van invloed op de lichttransmissie, aangezien bij bredere ruiten er minder roeden benodigd zijn. De lichtonderschepping door de roeden is dus ook minder. Berekend is dat verandering van de glasbreedte van 1,125 m. naar 1,5 m. een lichtwinst van 0,1% geeft (Kool et al., 1998). De glasbreedte van 1,125 cm is op het moment standaard, met een voorzichtige tendens naar 1,5 m. breed glas (Helderman, mondeling). De glasmaat kan niet onbepaald verbreed worden, omdat dit problemen geeft met de sterkte van het glas. Verder zullen vanaf een bepaalde breedte zwaardere roeden toegepast moeten worden, waardoor de lichtwinst weer ten dele teniet wordt gedaan.

## 3) Vorm, dikte en kleur van de gebruikte constructieprofielen

Het gaat hierbij om de kasconstructiedelen poten, traliespanten, goot. Er blijkt dat vooral het type goot, het aantal kappen en de kleur van de materialen van invloed zijn op de lichtdoorlatendheid. De volgende tabel geeft een indruk van de verschillen in lichttransmissie die ontstaan door toepassing van verschillende materialen. De referentiekas is een 2\*4 meter tralieligger, met een medium aluminium goot en een verzinkte onderbouw.

## 4) Kapbreedte

De kapbreedte heeft, via de benodigde ondersteunende constructiedelen, invloed op de lichtdoorlatendheid van de kas. Een grotere kapbreedte (bij venlowarenhuizen) betekent in het algemeen een grotere lichtdoorlatendheid, doordat het aantal goten per ha verminderd wordt. Breedkapkassen hebben in vergelijking met venlokassen een lagere lichtdoorlatendheid, omdat breedkappers een zwaardere onderbouw hebben die relatief veel licht wegvangt. In de onderstaande tabel wordt de lichtdoorlatendheid van diverse kapbreedtes weergegeven.



Tabel B.1.3 Invloed van enkele technische aspecten op de lichtdoorlatendheid van een kas

Variabele		Lichtdoorlatendheid (%)	
Referentiekas	2*4,0 m, medium alu goot, verzinkte onderbouw	75,2	lichtdoorlating (referentie)
Aantal kappen	1*4,0 m	75,6	
	3*4,0 m	74,9	
	4*4,0 m	74,0	
Type goot	aluminium small	76,3	
	staal verzinkt medium	74,5	
	staal verzinkt small	75,8	
	staal wit medium	74,7	
	staal wit small	76,1	
Onderbouw	wit	75,8	
Nok	scharnierend	75,1	

Bron: Kool et al. (1998).

Tabel B.1.4 Lichtdoorlatendheid (%) bij diverse kapbreedtes

Variabele		Lichtdoorlatendheid (%)	
Referentiekas	2*4,0 m venlo , medium alu goot, verzinkte onderbouw	75,2	lichtdoorlating (referentie)
Venlo	'classic (bouwjaar 1980)	69,1	
	2*3,20 m	74,2	
	2*4,80 m	76,2	
Breedkapper	6,40 m	71,5	
	12,80 m	72,0	

Bron: Kool et al. (1998).

### 5) Type luchting

Het aantal ruiten per luchtraam (en de breedte van het raam) zijn van invloed op de lichtdoorlatendheid van een kas, aangezien een kleiner aantal, bredere ruiten resulteren in minder roedeprofielen en luchtraamprofielen geven die licht onderscheppen. In de praktijk komen 2-ruits en 3-ruits luchtramen voor; een kassenbouwer werkt aan de realisatie van een 1-ruits-luchtraam, dat met breder glas en een grotere openingshoek voor een gelijke ventilatiecapaciteit zou moeten zorgen. Dit levert lichtwinst op.

Berekend is dat een kas met 3-ruitsluchting 0,6% minder licht doorlaat dan een kas met 2-ruitsluchting (Kool et al., 1998). Een kas met 1-ruitsluchtramen zou 0,9% meer licht doorlaten dan een kas met 2-ruitsluchtramen.

## Aanwezigheid scherm

In veel kassen is om diverse redenen (energiebesparing, verbetering kasklimaat) een scherm aanwezig. Het scherm is boven in de kas geïnstalleerd; in geopende toestand houden het opgevouwen schermpakket, de stangen en de motor(en) een zekere hoeveelheid licht tegen. Deze hoeveelheid is afhankelijk van het toegepaste schermdoek en de gebruikte installatie voor het openen en sluiten van het scherm. Uit onderzoek op 29 tomatenbedrijven met scherm in de seizoenen 92/93 en 93/94 is naar voren gekomen dat het berekende lichtverlies door het schermpakket gemiddeld 5% was (met een minimum van 2,2 en een maximum van 8,3% (Van der Sluis et al., 1995). Het rekenmodel van Kool et al. (1998) gaat ervan uit dat een schermpakket 1,9% licht tegenhoudt. Volgens Helderma (mondeling) is 2% lichtverlies haalbaar bij een scherminstallatie volgens het rondloopdraadsysteem, ook indien het scherm al enkele jaren in gebruik is.

In het algemeen geldt dat bovenstaande factoren er samen voor gezorgd hebben dat de lichttransmissie in kassen in de afgelopen 15 jaar sterk is verbeterd. Voor venlokkassen gebouwd in 1980 was een lichttransmissie van 67-68% gebruikelijk (Aarsen, 1982), Kool et al., 1998: 69,1% in 1980), terwijl huidig gangbare kassen maximaal ruim 76% kunnen halen (Kool et al., 1998).

## Groep B (U-waarde)

### 7) *Type goot (materiaal: open goot van staal of aluminium kokergoot; vorm: medium, smal, geïsoleerde goot)*

Het type goot waarmee een kas is uitgerust is via de vorm en het gebruikte materiaal van invloed op de U-waarde van het kasdek. De afmeting van de goot is van invloed zijn op U-waarde: een bredere goot zal meer warmteverlies opleveren. Daarnaast is het materiaal van de goot van invloed op de U-waarde: een open stalen goot levert meer warmteverlies op dan een aluminium kokergoot. Volgens KWIN (1998) levert een geïsoleerde goot 3-4% energiebesparing op. Dit is wellicht aan de hoge kant. In de onderstaande tabel worden verschillen in U-waarde van verschillende goten ten opzichte van de referentiekas weergegeven. De referentiekas is een 2\*4 meter tralieligger, met een medium aluminium goot en een verzinkte onderbouw.

Tabel B.1.5 U-waarden van 2 kastypen en enkele variaties in type goot

Variabele	U-waarde grondoppervlak	
Referentiekas	2*4,0 m, medium alu goot, verzinkte onderbouw	7,95 W/m <sup>2</sup> .K
Venlokas	'classic' (bouwjaar 1980)	8,27
Type goot	aluminium small	7,94
	staal verzinkt medium	8,11
	staal verzinkt small	8,09

Bron: Kool et al., 1998.

#### 8) *Materiaal kasdek*

Het materiaal waarvan het kasdek of de gevel is gemaakt heeft grote invloed op de energieverliezen door het kasdek. Bij gecoat glas bijvoorbeeld wordt de uitstraling van warmte naar de lucht verminderd (Bakker et al., 1995). Hierdoor gaat er minder warmte via straling verloren (de U-waarde (en dus het warmteverlies via geleiding) blijft echter ongeveer gelijk). Uit proeven is bekend dat gecoat glas (zoals bijvoorbeeld Hortiplus) ongeveer 15% energie kan besparen (Out et al., 1995). Een probleem bij de toepassing van gecoat glas is de verminderde lichtdoorlating, wat effect heeft op het productieniveau.

Dubbel glas of kunstofplaten zijn van invloed op de U-waarde van de constructie, en dus op het warmteverlies via geleiding. Ze zouden ongeveer 27% energie moeten kunnen besparen (Duffhues et al., 1997). Een andere bron spreekt van 35% energiebesparing bij dubbel glas (Out, 1993).

#### 9) *Glasmaat*

De glasmaat (breedte van het glas) is van invloed op de hoeveelheid roeden die worden toegepast: hoe breder het glas (binnen bepaalde grenzen), hoe minder roeden benodigd zijn. Omdat de roeden als koudebrug fungeren zal breder glas een gunstig effect hebben op de U-waarde van een kasdek. Berekend is dat een glasmaat van 1,5 m (in plaats van 1,125 m) een 0,2% lagere U-waarde geeft (Kool et al., 1998).

#### 10) *Afgestripte roeden*

Bij afstripping van de roeden (het vastzetten van een rubberstrip die de roeden bedekt) zal er minder warmte uit de kas via de profielen naar buiten verdwijnen. Dit heeft een geringe invloed op de U-waarde, het belang ligt meer bij verminderen van lekverliezen door afstripping (Helderman, mondeling).

#### 11) *Isolatie van de kasvoet*

Isolatie van de betonnen kasvoet vermindert het warmteverlies door de kasvoet. Dit is één van de verplichte eisen die aan Groen-Labelfinanciering van kassen wordt gesteld. Omdat de oppervlakte van kasvoet zeer klein is in vergelijking met het gevel- en dekoppervlak heeft isolatie slechts marginale invloed op het energiegebruik in de kas (Helderman, mondeling). Volgens Duffhues et al. (1997) moet met kasvoetisolatie 1-5% energie kunnen worden bespaard.

#### 12) *Isolatie van de gevel*

Isolatie van de kasgevel (door dubbel glas, folie, kunststof, coating of een beweegbaar scherm) is een belangrijke energiebesparende optie. Het energiebesparingspercentage ligt in de orde van grootte van 1-5% (Duffhues et al., 1997). Volgens Koop (mondeling) is de kasgevel verantwoordelijk voor ongeveer 12-14% van het energiegebruik.

Naast de gevelisolatie is ook de verhouding geveloppervlak per eenheid kasoppervlak van belang voor het energiegebruik in een kas. Naarmate het aandeel buitengevels (op de totale kasoppervlak) groter is, zal er meer energie via de gevels verdwijnen. Kleine bedrijven, en smalle, langwerpige bedrijven hebben de grootste verhouding geveloppervlak/kasoppervlak. Dit is dus vanuit energetisch oogpunt ongunstig. Moderne, vierkante bedrijven hebben, afhankelijk van de omvang, een gunstige geveloppervlak/kasoppervlak. Een bedrijf met een poothoogte van 4,5 m, een lengte-breedteverhouding van 1:1 en een omvang van 1 ha heeft een geveloppervlak van 18,5 m<sup>2</sup> per 100 m<sup>2</sup> kasoppervlak. Voor hetzelfde bedrijf, maar dan met een bedrijfsoppervlak van 2 en 4 ha is deze verhouding respectievelijk 13,3 en 9,4.

In de praktijk kunnen deze verhoudingen overigens lager liggen omdat een deel van de kas vaak aan de schuur is vastgebouwd, of soms ook aan een ander glastuinbouwbedrijf. De poothoogte heeft veel invloed op de verhouding geveloppervlak/kasoppervlak. Moderne kassen die in vergelijking met 15 à 20 jaar geleden een stuk hoger zijn hebben hierdoor een groter geveloppervlak, en, bij een gelijkblijvende bedrijfsgrootte, een groter geveloppervlak per eenheid kasoppervlak.

De U-waarde van het kasdek voor een venlokas is in de periode 1980-1995 verbeterd met ongeveer 4%. Voor een kas uit 1980 is een U-waarde van 8,27 W/m<sup>2</sup>.K reëel, en voor een in 1995 gebouwde kas is 7,95 haalbaar. (Kool et al., 1998). Bouwman et al. (1996) gaan uit van een 1:1-relatie tussen de U-waarde en de energiebesparing: een 1% lagere U-waarde geeft 1% energiebesparing.

Groep C) (ventilatievoud van een kas)

### 13) *Glasoplegging*

Door vierzijdige oplegging van het glas zijn kassen de laatste jaren veel dichter geworden dan vroeger.

### 14) *Aansluiting voet met gevel*

Huidige kassen sluiten goed aan omdat de ruiten in de gevel niet meer zoals vroeger deels over elkaar heen worden gelegd, maar in sponningen worden aangebracht.

### 15) *Aansluiting gevel met dek*

### 16) *Aantal luchtramen (2- of 3-ruitsluchting) en aansluiting luchtramen met dek*

Verbeteringen aan bovenstaande 3 factoren verkleint de lekverliezen door de gevel en het dek. Volgens Duffhues et al. (1997) moet een verbeterde raamafdichting en raamoplegging ongeveer 1,5% energie kunnen besparen.

### 17) *Afgestripte roeden*

Door afstripping van de roeden kunnen de lekverliezen verlaagd worden. Het effect is niet zo heel groot (Helderman, mondeling)

In het algemeen geldt dat in de afgelopen 10-15 jaar de dichtheid van kassen flink is verbeterd.

### 3) **Toegepaste energiebesparende opties in de kas**

Er zijn verschillende technische opties beschikbaar waarmee in de kas energie kan worden bespaard. Het gaat hierbij om opties die aan de kasconstructie zijn bevestigd en die in zekere mate met de kasconstructie samenhangen. Zo zal bijvoorbeeld een scherm niet in een lage kas geïnstalleerd kunnen worden. De belangrijkste opties zijn bovenscherm en gevelscherm. Een kenmerk van deze opties (in tegenstelling tot bijvoorbeeld de technische aspecten van de kasconstructie) is dat de te behalen energiebesparing in veel gevallen afhangt van de manier waarop de teler ermee omgaat. Hieronder volgt een beschrijving en een inschatting van de te behalen energiebesparing voor het bovenscherm en het gevelscherm.

#### a) Bovenscherm

Een bovenscherm wordt op een groot deel van het glastuinbouwareaal toegepast, meestal in de vorm van een beweegbaar scherm, en in mindere mate als vast scherm. Als redenen voor toepassing van een scherm worden genoemd klimaatbeheersing, energiebesparing, verduistering, zonwering, of een combinatie van redenen. Vanwege deze diverse redenen, en het grote aantal verschillende teelten waarin een scherm wordt gebruikt, is het aantal verschillende schermdoeken zeer groot. Elk schermdoek heeft zijn eigen fysische eigenschappen; ook de besparingspercentages lopen uiteen. Onderzoeken op praktijkbedrijven komen tot een besparing van gemiddeld 10% op tomatenbedrijven (Van der Sluis et al., 1995), en gemiddeld 25% op paprikabedrijven (Goossens et al., 1997). Toepassing van een lichtdicht, vochtdoorlatend bovenscherm in roos leidde tot een energiebesparing van 7-8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (Van Rijssel et al., 1995). Een knelpunt is dat in sommige teelten een scherm bedrijfseconomisch niet aantrekkelijk is vanwege productieverlies (tomaat), of vanwege de aanwezigheid van een warmteoverschot (op belichtende rozenbedrijven met een eigen W/k-installatie en CO<sub>2</sub>-dosering met de ketel).

De te behalen besparing van een beweegbaar, enkel scherm wordt (gemiddeld voor alle gewassen) ingeschat op 22% (Duffhues et al., 1997). Voor een vast scherm is 10% energiebesparing een reëel getal (Van der Velden, 1996).

Deskundigen zijn van mening dat er mogelijkheden zijn voor een verdere penetratie van schermen in de glastuinbouw, maar dat dit voor een groot deel wordt bepaald door de hoogte van de gasprijs (Koop en Helderman, mondeling). Daarnaast zal er een oplossing gevonden moeten worden voor de negatieve kasklimaat effecten die schermen in sommige gewassen veroorzaken.

## b) Gevelschem

Een van de mogelijkheden om de kasgevel te isoleren is de toepassing van een beweegbaar gevelschem. Deze optie is, samen met andere mogelijkheden voor gevelisolatie, al bij B) behandeld.

### Overzicht uitgangspunten

Naar aanleiding van de literatuurstudie en gesprekken met deskundigen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

De U-waarde en de dichtheid zijn de belangrijkste kastechnische factoren die van invloed zijn op het energiegebruik in kassen. Als gevolg van snelle ontwikkelingen die zich in de afgelopen 10 jaar in de kassenbouw hebben voorgedaan is de dichtheid van kassen spectaculair verbeterd. Ook de U-waarde is verbeterd, zij het in minder sterke mate. Als gevolg van de dichtere, nieuwe kassen kunnen eerder vochtproblemen ontstaan dan in oude kassen, waardoor de ramen geopend moeten worden en het voordeel van een grotere dichtheid weer deels teniet wordt gedaan (De Zwart, 1996). Verdere verbetering van de dichtheid van kassen in de toekomst is moeilijk haalbaar, niet direct noodzakelijk en wordt dan ook niet verwacht.

De U-waarde zal in de toekomst alleen fors verbeterd kunnen worden indien er alternatieve kasdekken worden toegepast. Het is echter niet de verwachting dat op korte termijn kasdekmaterialen beschikbaar komen die een bedrijfseconomisch verantwoord alternatief vormen voor het enkelglas kasdek. Over de invloed van de hoeveelheid natuurlijk licht op het gasverbruik in kassen (broeikas effect) is weinig bekend. Het effect van licht op de fysieke productie wordt echter wel algemeen zeer belangrijk gevonden; dit is het grootste probleem bij toepassing van isolerende alternatieve kasdekken (die minder licht doorlaten en dus productie kosten). Dit effect wordt (absoluut gezien) groter indien de niveaus van fysieke productie blijven stijgen.

Van de energiebesparende opties in de kas is het scherm de belangrijkste. Toename van de penetratiegraad van schermen wordt wel mogelijk geacht; dit zal onder andere afhangen van het verminderen van het negatieve effect van een scherm op het kasklimaat en de hoeveelheid licht in de kas, en van de hoogte van de gasprijs. Het lichtverlies van het scherm pakket is tot 2% (in rondloopdraadinstallaties) teruggebracht. Als gevolg van de snelle ontwikkelingen in de kassenbouw in de afgelopen 10 jaar zijn kassen met betrekking tot lichtdoorlatendheid, U-waarde en dichtheid sterk verbeterd. De huidige kas kan op een aantal punten nog wat verbeterd worden, maar wordt al als behoorlijk optimaal gezien. Men verwacht daarom niet dat in de (nabije) toekomst de ontwikkelingen uit de afgelopen 10 jaar zich op dezelfde schaal zullen voortzetten. De nadruk zal liggen op optimalisatie van de lichtdoorlatendheid en U-waarde van kassen middels kleine verbeteringen aan de kasconstructie en -inrichting.

Volgens de heer Helder van BOM-kassenbouw zal in 2010 naar alle waarschijnlijkheid de venlokas met enkelglas kasdek nog steeds het standaard kastype zijn.

## Bijlage 2 Berekening besparingsgetal per invloedsfactor

Om per invloedsfactor de verwachte energiebesparing te kunnen berekenen is kwantitatieve informatie nodig over het percentage energie dat bespaard wordt indien de invloedsfactor met één procent (of met één eenheid) verandert. Deze energiebesparing per eenheid verandering wordt het besparingsgetal genoemd. Het besparingsgetal van de lichtdoorlatendheid geeft bijvoorbeeld aan met hoeveel procent de gemiddelde brandstofintensiteit in een kas daalt indien de lichtdoorlatendheid van de kas met 1% wordt verhoogd.

In deze bijlage wordt van elk van de 5 invloedsfactoren een afleiding van het besparingsgetal gegeven. In sommige gevallen is de benadering vrij grof, omdat er weinig kwantitatieve informatie bekend is over de relatie tussen de betreffende invloedsfactor en het energiegebruik.

### Besparingsgetal U-waarde

Bij een lagere U-waarde zal er minder warmte door geleiding en straling via het kasdek en de gevels verdwijnen. Door Kool et al. (1998) wordt uitgegaan van een 1:1-relatie tussen de U-waarde per  $m^2$  kasoppervlak, en het energiegebruik. Ook Bouwman et al. (1996) gaan uit van dezelfde verhouding tussen U-waarde en energiegebruik. In onderliggend onderzoek wordt daarom eveneens verondersteld dat een 1% lagere U-waarde tot 1% energiebesparing leidt.

### Besparingsgetal lichtdoorlatendheid

Een hogere lichtdoorlatendheid van een kas zal in het algemeen tot een lager energiegebruik leiden, omdat de straling van de zon beter benut wordt (het 'broeikaseffect'). Het gaat hierbij om een complexe relatie, waar nog weinig kwantitatieve informatie van beschikbaar is. Bot (1994) gaat er vanuit dat op jaarbasis in een kas ongeveer evenveel warmte via de zon als via het verwarmingssysteem wordt toegevoerd. Het effect van een hogere lichtdoorlatendheid in een nieuwe kas is naar verwachting niet zo groot, aangezien de extra hoeveelheid licht (absoluut gezien) in de nieuwe kas vooral 's zomers gerealiseerd wordt. In de zomer is echter de warmtevraag in de kas relatief laag, waardoor de extra zonnewarmte in veel gevallen niet nuttig gebruikt zal worden. In Bakker et al. (1998) worden 2 getallen genoemd met betrekking tot de relatie tussen lichtdoorlating en energiegebruik: 1% extra licht geeft 0,75% energiebesparing, en 1% extra licht geeft een hoogstens 0,4% lagere energiebehoefte. Deze cijfers lijken, gezien het feit dat het extra licht voor het grootste deel in de zomer wordt toegevoerd (zie hierboven), aan de hoge kant. In onderliggend onderzoek wordt dan ook uitgegaan van de relatie: een 1% hogere lichtdoorlatendheid geeft 0,2% energiebesparing.

## Besparingsgetal dichtheid

Uit Verveer et al. (1995) kan worden afgeleid dat het luchtlekverlies door het kasdek recht evenredig is met het ventilatievoud van de kas:

$$q_{\text{vent}} = (I_{\text{kas}} * n_{\text{kas}})/3600 \quad (1)$$

met  $q_{\text{vent}}$  = luchtlekverlies ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $I_{\text{kas}}$  = kasinhoud ( $\text{m}^3$ )  
 $n_{\text{kas}}$  = ventilatievoud (1/h)

Dit betekent dat een 10% hogere ventilatievoud ook 10% meer energieverliezen geeft via het dek (bij gelijkblijvende inhoud van de kas). De energieverliezen via de gevel worden meegenomen bij de invloedsfactor geveloppervlak/kasoppervlak. Voor de berekening van het aandeel van de totale warmtetoevoer in een kas dat via het dek verdwijnt wordt de volgende formule gebruikt (Helderman, 1994):

$$Q = c * q_v * \rho * \Delta T \quad (2)$$

met  $Q$  = warmteverlies (voelbare warmte, in W) door luchtlek, per vak van 4 bij 4,5 m (bij gesloten luchtramen)  
 $c$  = soortelijke warmte lucht = 1,005 kJ/(kg,K)  
 $q_v$  = luchtlekverlies ( $\text{dm}^3/\text{sec}$ ), per vak. Deze wordt op 13,6 ingeschat, conform Helderman (1994). Dit komt overeen met een ventilatievoud van 0,9 bij een poothoogte van 2,9 m.  
 $\rho$  = dichtheid lucht ( $1,22 * 10^{-3} \text{ kg}/\text{dm}^3$  bij  $18^\circ\text{C}$ )  
 $\Delta T$  = temperatuurverschil tussen binnen en buiten (K). Deze wordt hier op  $8,6^\circ\text{C}$  verondersteld:  $18^\circ\text{C}$  (gemiddelde kastemperatuur) -  $9,4^\circ\text{C}$  (langjarig gemiddelde buitentemperatuur)

Het totale luchtlekverlies bedraagt dan:

$$Q = 1,005 * 10^3 * 13,6 * 1,22 * 10^{-3} * (18 - 9,4) = 143 \text{ W}$$

per jaar en per  $\text{m}^2$  wordt het warmteverlies door luchtlek dan:

$$(143/18) * 3600 * 24 * 365 = 251 \text{ MJ}/\text{m}^2$$

In totaal wordt er door het verwarmingssysteem gemiddeld per  $\text{m}^2$  per jaar aan warmte toegevoerd:

$$43 \text{ a.e. } \text{m}^3/\text{m}^2 \text{ (gemiddelde brandstofintensiteit sector)} * 31,65 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ a.e.} =$$

$$1361 \text{ MJ}/\text{m}^2. \text{ Deze warmte wordt grotendeels gebruikt voor verwarming van de kas.}$$

Daarnaast wordt aangenomen dat in een gemiddeld jaar ongeveer  $40 \text{ m}^3 \text{ a.e.}/\text{m}^2$  aan zonnearmte (ongeveer 40% van de totale hoeveelheid straling van de zon) wordt benut voor de verwarming van de kas (Bot, 1994). In totaal wordt er dan ongeveer  $1.361 + (40 * 31,65) = 2.627 \text{ MJ}/\text{m}^2$  warmte toegevoerd voor verwarming van de kas.



Het aandeel warmte dat verdwijnt als gevolg van luchtlekverliezen bedraagt nu:  $(251/2627)*100\% = 10\%$ . Dit komt overeen met de waarde die Helderman (1998) geeft. Hij stelt dat ongeveer de luchtlekverliezen ongeveer 10% van in de totale energiestroom voor hun rekening nemen.

Uit formule (2) is af te leiden dat de energieverliezen door het dek recht evenredig zijn met het ventilatievoud. Er geldt dus: een 1% hoger ventilatievoud geeft 1% hogere energieverliezen. Omdat de hoeveelheid instraling van de zon constant is, zullen de hogere ventilatieverliezen door het verwarmingssysteem gecompenseerd moeten worden. De totale warmteverliezen door het dek (bij een 1% hoger ventilatievoud) nemen toe met:  $1\%*251=2,5$ . De totale bijdrage van het verwarmingssysteem stijgt dan met  $(2,5/1361)*100 = 0,18\%$ .

Er wordt opgemerkt dat in bovenstaande afleiding alleen rekening is gehouden met de voelbare warmteverliezen. De verliezen aan niet-voelbare warmte (latente warmte, in de vorm van waterdamp) zijn niet meegenomen. Deze verliezen zijn moeilijk te kwantificeren, omdat ze onder andere afhangen van de waterdampconcentraties in de kas en buiten de kas, die sterk wisselen over de dag en door het jaar heen. Door nu in de afleiding (bij zowel de aanvoer van warmte als de verliezen van warmte) alleen uit te gaan van de hoeveelheid energie die gerelateerd is aan de verwarming van de kas, kan toch het besparingsgetal voor de dichtheid berekend worden.

#### Besparingsgetal verhouding geveloppervlak/kasoppervlak

Voor de afleiding van dit besparingsgetal is uitgegaan van modelberekeningen van het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (KWIN 1998). In deze berekeningen is het effect van de bedrijfsgrootte op het gasverbruik gekwantificeerd (bij een lengte-breedteverhouding van 1:1).

Tabel B2.1 *Energiegebruik in relatie tot de bedrijfsgrootte en de verhouding geveloppervlak/100 m<sup>2</sup> kasoppervlak a)*

Bedrijfsgrootte (m <sup>2</sup> ) b)	Berekende verhouding geveloppervlak/kasoppervlak (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Gasverbruik (indexcijfers) b)
10.000	16,8	100 (referentie)
5.184	23,3	104,3
7.392	19,5	102
15.000	13,7	97,8
20.160	11,8	96,7
30.100	9,7	95,3
40000	8,4	94,6

a) In de KWIN-berekeningen wordt uitgegaan van de volgende uitgangspunten: Een bedrijf met een poothoogte van 4 meter, dubbele gevels en een enkele condensor op een apart net. De ingestelde temperatuur is 18 °C in de voor- en nacht, en 19 °C voor de dag; b) Bron: KWIN (1998).

Op basis van deze uitkomsten, en met behulp van het berekende geveloppervlak/kasoppervlak (tabel B2.1) bij de verschillende bedrijfsgroottes, is vervolgens een regressie-analyse uitgevoerd. Dit leverde de volgende regressievergelijking op:  
 energiegebruik = 88,9 + 0,66\*(verhouding geveloppervlak/100 m<sup>2</sup> kasoppervlak)

Het energiegebruik stijgt dus met 0,7% als de verhouding geveloppervlak/100 m<sup>2</sup> kasoppervlak met 1 eenheid stijgt. Het besparingsgetal is dan 0,7

### Besparingsgetallen schermen

In tabel B.2.2 worden per gewasgroep een inschatting van het besparingsgetal van het scherm weergegeven. Hiervoor is allereerst per gewasgroep een inschatting gemaakt voor de gemiddelde schermduur per jaar, en de gemiddelde isolatiegraad van het scherm. De gemiddelde schermduur per jaar en de gemiddelde isolatiegraad worden hier ingedeeld in laag, gemiddeld, of hoog. De maximale besparing (per jaar) wordt gemiddeld op 20% verondersteld, de minimale besparing gemiddeld op 10%. Op basis van deze gegevens, en de combinatie van de factoren schermduur en isolatiegraad is vervolgens het besparingsgetal geschat. Dit besparingsgetal geeft (ten opzichte van de situatie zonder scherm) op jaarbasis de geschatte energiebesparing weer van het scherm.

*Tabel B2.2 Energiegebruik in relatie tot de bedrijfsgroote en de verhouding geveloppervlak/100 m<sup>2</sup> kasoppervlak*

Gewasgroep	Schermduur a)	Isolatiegraad a)	Besparingsgetal (%)
Tomaat	l	l	10
Komkommer	l	m	13
Paprika	h	h	20
Ov. glasgroente bi<40	l	l	10
Ov. glasgroente bi>40	m	m	15
Roos belicht	m	h	18
Roos onbelicht	h	h	20
Chrysant	h	l	15
Ov. snijbloemen bi<40	m	l	13
Ov. snijbloemen bi>40	m	m	15
Potplanten bi<40	m	m	15
Potplanten bi>40	h	h	20

a) l=laag; m=gemiddeld; h=hoog.