

SW
HW
n.
Pg8-02.

Optimaal schermgebruik in kassen

Evaluatie regelstrategieën

IMAG-DLO:
N.J. van de Braak
J.J.G. Breuer
F.L.K. Kempkes
G.L.A.M. Swinkels

PBG:
C.M.J. Bloemhard



MEER UIT ENERGIE



BIBLIOTHEEK
PPO sector Glastuinbouw
Postbus 8
2670 AA Naaldwijk
0174 636700

imag-dlo



ISBN = 172 8960

Optimaal schermgebruik in kassen

Evaluatie regelstrategieën

IMAG-DLO:

N.J. van de Braak

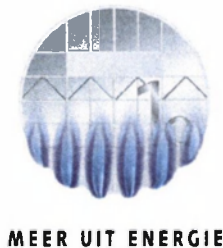
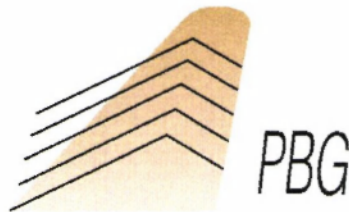
J.J.G. Breuer

F.L.K. Kempkes

G.L.A.M. Swinkels

PBG:

C.M.J. Bloemhard



Nota P98-02

Mei 1998

DLO Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO)

Mansholtlaan 10-12

Postbus 43, 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317 - 476300

Telefax 0317 - 425670



© Niets uit deze publicatie mag elders worden vermeld, of worden vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG-DLO.

Bronvermelding zonder weergave van de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, jaartal, titel, instituut en notanummer.

© All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form of by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording of otherwise, without the prior written permission of IMAG-DLO.

2245049

Samenvatting

IMAG-DLO heeft in samenwerking met het PBG een project uitgevoerd om een bijdrage te leveren aan een doelmatiger gebruik van energie in de glastuinbouw door vergroting van de kennis over de relatie tussen schermgebruik, kasklimaat (met name vochtigheid) en gewasontwikkeling. Dit project heeft uit twee delen bestaan. Het eerste deel bestond uit onderzoek waarin alle processen zijn geanalyseerd en beschreven, die een rol spelen bij het energie- en vochttransport rond schermen. Daarbij zijn onder andere beschikbaar gekomen een goede beschrijving van de luchtuitwisseling door kieren in schermen en door schermmaterialen onder invloed van temperatuurverschillen en drukfluctuaties. Tevens is er een beschrijving ontwikkeld die het verband aangeeft tussen windsnelheid en drukfluctuaties.

Het in dit rapport beschreven tweede deel van het project bouwt hier op voort.

In dit tweede deel is de modelmatige schermbeschrijving die is ontwikkeld in het eerste deel, opgenomen in het IMAG-DLO kasklimaatmodel KASPRO. Om de betrouwbaarheid ervan te toetsen, is de versie van KASPRO met daarin de nieuwe schermmodule gevalideerd. Daarbij is gebruik gemaakt van meetgegevens verkregen uit proeven uitgevoerd in kassen van het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroenten (PBG) in Naaldwijk. De resultaten laten zien dat de berekeningsuitkomsten verkregen met KASPRO met daarin opgenomen de nieuwe schermmodule, goed overeenstemmen met de gemeten waarden voor kasluchttemperatuur en vochtigheid. Met behulp van de aangevulde versie van KASPRO is voor een groot aantal verschillende schermregelstrategieën tijdens de nachtelijke periode het jaarlijkse energieverbruik en de vochtigheid berekend van een tomatenteelt. Schermen tijdens de dagperiode is in dit onderzoek niet beschouwd. Dat gebeurt namelijk gedurende een relatief korte tijd en het daarbij optredende lichtverlies met als gevolg productieverlies wordt al snel niet meer gecompenseerd door de energiebesparing. Vergelijking van de simulatieuitkomsten laat zien dat de vochtigheid in het deel van de kas waar de planten staan afneemt naarmate het scherm verder wordt geopend. Dit verband is gevonden bij schermopeningen tussen 0% en 4%. Openen van het scherm verder dan 4% heeft vrijwel geen invloed op het aantal uren dat de luchtvochtigheid bij de planten boven het setpoint komt. Met andere woorden: de vochtigheid in een kas met een schermkier van 4% komt niet vaker boven het RV setpoint dan in een kas zonder scherm. Het meest belangwekkende resultaat is wel dat toepassing van een scherm met een goede schermkierregeling energie kan worden bespaard zonder dat de vochtigheid bij de planten noemenswaardig vaker boven het setpoint komt dan in een kas zonder schermen.

Op basis van de simulatieuitkomsten zijn vier verschillende schermstrategieën getoetst in kassen bij het PBG te Naaldwijk. De waarnemingen bij deze toetsing bevestigen de bevindingen van de simulaties. Bovendien blijkt uit de toetsing dat de gewasontwikkeling en productie van de verschillende schermstrategieën geen nadelige gevolgen ondervindt; er zijn geen significante verschillen in productie en kwaliteit geconstateerd in vergelijking met kasafdelingen waarin niet geschermd werd.

Het gebruik van een scherm met een klassieke regeling (open bij hoog blijvende vochtigheid) bespaart op jaarbasis ongeveer 20% energie ten opzichte van een ongeschermd kas. Wordt een schermkierregeling toegepast dan kan er ca. 6% extra worden bespaard.

Tenslotte zijn er een aantal praktisch bruikbare richtlijnen afgeleid uit de resultaten en conclusies van dit onderzoek:

- het scherm 's nachts sluiten bij buitentemperaturen onder 10°C,
- relatieve vochtigheid regelen met een schermkier tot maximaal 4% in stappen van 0,33% met een wachttijd van 5 minuten en aanvullende raamkier,
- alleen onder zeer kritieke omstandigheden scherm geheel openen en RV op raam regelen.

Het hier beschreven onderzoek is mede mogelijk gemaakt door financiële steun van de Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv, Novem.

Inhoud

Samenvatting.....	2
1 Inleiding	4
2 Schermmodule in KASPRO.....	5
3 Validatie model	8
3.1 Opzet en metingen.....	8
3.1.1 Opzet.....	8
3.1.2 Metingen.....	8
3.2 Validatie	9
3.2.1 Periode januari – april 1996	9
3.2.2 Periode oktober – november 1996.....	9
3.2.3 Periode december 1996 – mei 1997	10
3.2.4 Periode september – oktober 1997	10
3.2.5 Overzicht resultaten validatie	10
3.2.6 Gevoeligheidsanalyse	11
3.3 Conclusies.....	11
4 Simulatie schermstrategieën	12
4.1. Beschrijving gesimuleerde schermstrategieën	12
4.1.1 Kasconfiguratie.....	12
4.1.2 Gewas en teeltinstellingen	12
4.1.3 Buitenklimaat.....	13
4.1.4 Regelstrategieën	13
4.2 Gasverbruiken.....	14
4.3 Relatieve vochtigheid kaslucht.....	16
4.3.1 Optreden bepaalde RV.....	16
4.3.2 Overzicht overschrijding RV-setpoints	18
4.3.3 Invloeden op overschrijding RV-setpoint.....	18
5 Toetsing schermstrategieën	19
5.1 Keuze strategie en implementatie.....	19
5.2 Waarnemingen.....	19
5.3 Resultaten	20
5.3.1 Schermduur.....	20
5.3.2 Energiegebruik	20
5.3.3 Luchtvochtigheid	21
5.3.4 Productie	22
5.4 Conclusies.....	23
6 Slotopmerkingen en aanbevelingen	24
Literatuur.....	25
Bijlagen	26
Bijlage 1 Eigenschappen scherm	26
Bijlage 2 Kasspecifieke parameters	26
Bijlage 3 Samenstelling inputfiles	27
Bijlage 4 Tuning model voor ongeschermdde kas 209	28
Bijlage 5 Vergelijking metingen en simulaties	30
Bijlage 6 Inslinger-effect bij dichtlopen scherm	32
Bijlage 7 Gevoeligheidsanalyse parameters schermmodule.....	33

1 Inleiding

Energieschermen vormen een interessante optie om energie te besparen in de glastuinbouw (Bakker en Van Holsteijn, 1995). Mede door subsidies werden tijdens de energiecrisis op veel bedrijven scherminstallaties aangebracht. De penetratiegraad van beweegbare schermen was in 1994 60% voor de gehele sector en 40% voor groenten (Van der Velden *et al.*, 1997). Bij tuinders bestaat vrees voor nadelige effecten zoals lichtverlies door de schermconstructie en daardoor productieverlies, en voor te hoge luchtvochtigheid en daardoor kwaliteits- of productieverlies. Tal van tuinders (vooral groentetelers) gebruiken de schermen daarom relatief weinig uren. In "Bedrijfsvergelijkend onderzoek naar het gebruik van energieschermen bij het gewas tomaat" van het DLO-Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO) en het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (PBG) is informatie verzameld over het huidige schermgebruik en het gerelateerde energieverbruik (Van der Sluis *et al.*, 1995). Hieruit komt naar voren dat er tussen tuinders onderling grote verschillen zijn in het aantal uren dat de schermen gebruikt worden (tussen 500 en 2500 uur per jaar).

IMAG-DLO heeft in samenwerking met het PBG een project geformuleerd dat zou moeten leiden tot een doelmatiger gebruik van energie in de glastuinbouw door vergroting van de kennis omtrent de relatie tussen schermgebruik, kasklimaat (met name vochtigheid) en gewasontwikkeling. In dit project zijn twee delen te onderscheiden.

Het eerste deel, waarin de basiskennis is ontwikkeld op het technische vlak door IMAG-DLO (gerapporteerd door Van de Braak en Miguel, 1996) en op het teeltkundige vlak door het PBG, is met medefinanciering door Novem bv en het Landbouwschap uitgevoerd. Door IMAG-DLO is daarin het energie- en vochttransport rond schermen geanalyseerd en zijn alle processen beschreven die daarbij een rol spelen. Deze aanpak heeft onder andere geleid tot een goede beschrijving van de luchtuitwisseling door kieren in schermen en door schermmaterialen onder invloed van temperatuurverschillen en drukfluctuaties. Tevens is er een beschrijving ontwikkeld die het verband aangeeft tussen windsnelheid en drukfluctuaties (Van de Braak en Miguel, 1996 en Miguel, 1998^b). Uit resultaten van onderzoek uitgevoerd door het PBG gericht op minimale transpiratie (Bakker, 1993) en toepassing van twee schermen op één dradenbed in samenwerking met de firma Ludwig Svenson (Plaisier, 1992) en het gewaskundige onderzoek bij schermen (Van Holsteijn, 1992, 1993) blijkt dat een hoge luchtvochtigheid geen nadelige invloed hoeft te hebben op productie of kwaliteit en dat bij een goed gebruik van het scherm de nadelige effecten van het lichtverlies beperkt kunnen blijven.

Het tweede deel van het project is met medefinanciering van de Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv (Novem) uitgevoerd. Dit rapport beschrijft de werkwijze en resultaten van dit tweede deel waarin de ontwikkelde kennis over de transportverschijnselen rond schermen (energie- en vochtuitwisseling) is geïntegreerd met de kennis die bij het PBG verkregen is omtrent de gewasontwikkeling onder schermen, om te komen tot een verbeterde energiezuinige regelstrategie voor schermen.

In hoofdstuk 2 is beschreven op welke wijze de modelbeschrijving van een scherm is opgenomen in het IMAG-DLO kasklimaatmodel KASPRO (De Zwart, 1996). De schermmodule in KASPRO is gevalideerd aan de hand van gegevens van metingen in kascomplex 209 van het PBG. Hoofdstuk 3 gaat in op de werkwijze en de resultaten van de validatie. In hoofdstuk 4 wordt behandeld hoe het effect van verschillende schermstrategieën op het energiegebruik en de vochtigheid in een kas met behulp van KASPRO zijn bepaald. Uit de doorgerekende strategieën zijn vier strategieën gekozen; deze zijn geïmplementeerd in het klimaatregelsysteem van kas 209 van het PBG. In het meetseizoen 1996-1997 zijn deze strategieën vergeleken met een regeling zonder schermen. De resultaten van deze vergelijking zijn beschreven in hoofdstuk 5.

2 Schermmodule in KASPRO

In het eerste deel van het project is een relatie afgeleid tussen de luchtstroom door een scherm (eventueel met kier) en het temperatuurverschil of drukverschil over het scherm (Miguel *et al*, 1997^{a,b,c,d,e} en Miguel, 1998^{a,b}). In deze relatie zijn de fysische eigenschappen als parameters opgenomen. In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke wijze dit verband is ingebouwd in het kasklimaatmodel KASPRO.

De relatie heeft de volgende vorm:

$$(\mu K_p^{-1} + Y \rho A_{ef}^{-1} K_p^{-1/2} |\phi|) \phi + 0,5 \varepsilon^{-2} \rho A_{ef}^{-1} (HC_c^2)^{-1} \phi^2 = A_{ef} H^{-1} \Delta p \quad (1)$$

Hierin is μ de viscositeit [Pa s] en ρ de dichtheid van lucht [kg m^{-3}], K_p de permeabiliteit van het schermmateriaal [m^2], A_{ef} het effectieve oppervlak [m^2], ϕ de luchtstroom [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], ε de porositeit [-] van het beschouwde oppervlak, H de dikte van het scherm [m], C_c een contractiecoëfficiënt [-] en Δp het drukverschil [Pa] over het scherm.

Deze vergelijking is voor een aantal verschillende condities te vereenvoudigen. Eerst beschouwen we de conditie dat de ramen van de kas gesloten zijn zodat er alleen luchtuitwisseling door het scherm onder invloed van temperatuurverschil is. In dat geval hebben we te maken met twee luchtuitwisselingen. De eerste is door het schermmateriaal en de tweede door een eventuele kier die in het scherm aanwezig is.

Voor de stroming door de kier geldt:

$$\varepsilon = 1 \quad K_p = \infty \quad A_{ef} = 0,5 A_{kier} \quad \Delta p = g l \Delta \rho$$

zodat de vergelijking met g voor de zwaartekrachtsversnelling en l_{kier} voor de karakteristieke afmeting van de kier reduceert tot:

$$\phi^2 = 0,5 A_{kier}^2 C_c^2 g l_{kier} \Delta T / T \quad (2)$$

ofwel

$$\boxed{\phi_{kier, \Delta T} = 0,5 A_{kier} C_c (g l_{kier} \Delta T / T_{gem})^{0,5}} \quad (3)$$

met

$$C_c = \left[2,7 - 0,042 \exp \left\{ 3,7 (A_{kier} / A)^{0,5} \right\} \right]^{-0,5} \quad (4)$$

Waarin A het totale oppervlak is.

Voor de stroming door het schermmateriaal geldt:

$$C_c \rightarrow \infty \quad A_{ef} = 0,5 A_{scherm} \quad \Delta p = \xi^{-1} V \Delta \rho$$

en het tweede deel van de eerste term uit vergelijking (1) is klein zodat de vergelijking reduceert tot:

$$\mu K_p^{-1} \phi = -A_{ef} H^{-1} \xi^{-1} V \Delta \rho \quad (5)$$

met in experimenten voor schermen vastgesteld:

$$\boxed{(\xi^{-1} A)^{-1} = 1,2 * 10^{-4}} \quad (6)$$

zodat

$$\phi_{scr,\Delta T} = 0,5 A_{scr} \mu^{-1} K_p (1,2 * 10^{-4}) \rho \Delta T / T_{gem} \quad (7)$$

Nu beschouwen we het geval dat de ramen open staan en dat daardoor een drukverschil ontstaat over het scherm. We maken weer een splitsing tussen de stroming door een kier en het schermmateriaal.

Voor de stroming door de kier geldt weer:

$$\varepsilon = 1 \quad K_p = \infty \quad A_{ef} = 0,5 A_{kier}$$

zodat de vergelijking reduceert tot:

$$\phi^2 = 0,5 A_{kier}^2 C_c^2 \Delta p / \rho \quad (8)$$

met

$$\Delta p = \beta p_0 f_w^{-1} \{ V_b^{-1} \phi_w - (V_b^{-1} + V_o^{-1}) \phi_{s,\Delta p} \} \quad (9)$$

β is de expansie coëfficiënt en p_0 de luchtdruk in rust V_b en V_o de luchtvolumina boven en onder het scherm ϕ_w het ventilatiedebiet en f_w de frequentie om de drukfluctuatie in een effectief drukverschil om te rekenen.

$$\beta p_0 = 1,42 * 10^5$$

zodat

$$\phi_{kier,\Delta p} = A_{kier} C_c [0,5 (1,42 * 10^5 f_w^{-1} \{ V_b^{-1} \phi_w - (V_b^{-1} + V_o^{-1}) \phi_{s,\Delta p} \} / \rho)]^{0,5} \quad (10)$$

Voor de stroming door het schermmateriaal geldt ook in dit geval:

$$C_c \rightarrow \infty \quad A_{ef} = 0,5 A_{scherm}$$

Nu mag het tweede deel van de eerste term van vergelijking (1) niet verwaarloosd worden, zodat de oorspronkelijke vergelijking in dit geval reduceert tot:

$$\mu K_p^{-1} \phi_{scherm,\Delta p} + 2Y \rho A_{scherm}^{-1} K_p^{-0,5} \phi_{scherm,\Delta p}^2 = -2 A_{scherm} H^{-1} \Delta p \quad (11)$$

deze heeft de vorm

$$a \phi_{scherm,\Delta p}^2 + b \phi_{scherm,\Delta p} + c = 0 \quad (12)$$

een vierkantsvergelijking waarvan de oplossing $\phi_{scherm,\Delta p}$ geeft. Vervolgens geldt:

$$\phi_{s,\Delta p} = \phi_{kier,\Delta p} + \phi_{scherm,\Delta p} \quad (13)$$

Na herberekening van Δp met vergelijking (9) kan door iteratie via de vergelijkingen (10) en (12) de oplossing van de beide stromen onder invloed van drukverschil gevonden worden.

Tenslotte geeft de som van de vergelijkingen (3), (7) en (13) de totale luchtuitwisseling tussen de ruimtes onder en boven het scherm.

De vergelijkingen (3), (7), (9), (10) en (13) zijn gebruikt in een subroutine (schermmodule) die bij elke rekenstap van het kasklimaatmodel KASPRO de luchtuitwisseling tussen de ruimte onder en boven het scherm berekent.

Deze subroutine gebruikt als invoergegevens de eigenschappen van het scherm (permeabiliteit en porositeit), almede gegevens die in andere subroutines van KASPRO worden berekend zoals schermstand, temperaturen en ventilatie door het raam.

Het effectieve drukverschil over het scherm (vgl. 9) dat via een iteratief proces wordt berekend wordt bij grote schermopeningen (meer dan 10%) te klein om nog te kunnen berekenen. Omdat in die

situatie door de grote opening de luchtuitwisseling erg groot is, kan zonder gevolgen voor de rekenresultaten het scherm voor de luchtuitwisseling als volledig geopend worden beschouwd. Overigens wordt er in dat geval nog steeds rekening gehouden met de stralingsonderschepping van het scherm.

3 Validatie model

De formules uit hoofdstuk 2 die modelmatig het scherm beschrijven, zijn ingebouwd in het simulatiemodel KASPRO. Dit simulatiemodel is gevalideerd met behulp van metingen, verzameld bij tomatenteelt in een kas bij het PBG te Naaldwijk.

3.1 OPZET EN METINGEN

3.1.1 OPZET

Doorgaans wordt een kasklimaatmodel gebruikt voor het doorrekenen van effecten van bepaalde maatregelen op het energieverbruik en het kasklimaat. Als invoer worden dan weergegevens van een referentiejaar gebruikt. De ingebouwde klimaatregelaar zal zoveel mogelijk trachten de ingestelde setpoints voor relatieve luchtvochtigheid, temperatuur en CO₂-concentratie te realiseren door middel van het regelen van verwarmingskleppen en luchtingsramen, schermstand en CO₂-dosering. Ten behoeve van de validatie zijn in de vier afdelingen van kas 209 van het PBG gedurende twee teeltseizoenen (1995/96 en 1996/97) metingen uitgevoerd. Deze meetgegevens, waaronder buitenklimaat, buistemperaturen en raam- en schermstanden, worden door het model als randvoorwaarden beschouwd. De uitvoer in de vorm van kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid is vergeleken met de gemeten waarden voor deze toestandsvariabelen.

Door direct de buistemperatuur als randvoorwaarde op te leggen, kunnen de klimaatregelaar en andere elementen van de bedrijfsuitrusting buiten beschouwing worden gelaten. Zo hebben ketelvermogen, buffervolume en ketelrendement geen invloed op de simulatie. Wel zijn de kasspecifieke parameters zoals afmetingen, aantal luchtramen, aantal en soort verwarmingsbuizen enz. aangepast aan de kas waarin de metingen zijn verricht. Na het aanpassen van de kasspecifieke parameters en het inbouwen van de op te drukken variabelen, is een eerste evaluatie van het model uitgevoerd aan de hand van een ongeschermd situatie. Hiervoor zijn meetgegevens gebruikt uit de ongeschermd kasafdelingen in seizoen 1995/96.

3.1.2 Metingen

De metingen zijn uitgevoerd in kas 209 van het PBG te Naaldwijk. Deze kas van het Venlo-type bestaat uit vier relatief kleine afdelingen, waarbij voor elke afdeling het kasklimaat afzonderlijk kan worden geregeld. Elke afdeling heeft 6 kappen van 3,20 m breed, een gevellengte van 23,6 m, een oppervlak van 453 m², een goothoogte van 4 m en een padoppervlak van 97 m². De tussengevels zijn uitgevoerd in dubbel glas en de buitengevels in enkel glas met de onderste 1,68 m Hortiplus met de coating aan de buitenzijde. In deze kas is de luchttingscapaciteit zeer groot; elk vak heeft aan elke kant van de nok een luchtraam van 3,00 m bij 0,80 m. Het te openen raamoppervlak is ten opzichte van een gangbare kas daardoor twee maal zo groot.

In alle afdelingen bevindt zich een energiescherm waarbij in afdeling 2 en 3 gedurende de periode december 1995 t/m mei 1996 niet geschermd werd. Er is een sandwich van twee los op elkaar liggende schermdoeken gebruikt; Ludwig Svenson SLS10 onder en SLS10-Ultra boven. De schermen liggen op één dradenbed. De schermdoeken bestaan uit naast elkaar liggende 4 mm brede foliestroken, bij SLS-10 polyetheen en bij SLS-10-Ultra polyester, die door dunne polyesterdraden bij elkaar worden gehouden. Voor de optische en fysische eigenschappen zie bijlage 1.

Een overzicht van de kasspecifieke parameters van kas 209, zoals die zijn ingevoerd in het simulatiemodel, is weergegeven in bijlage 2.

Met behulp van geventileerde meetboxen zijn de droge en natte-bol temperatuur gemeten op 0,4 en 1,5 m hoogte en in de nok (boven het scherm). Daarnaast is voor de klimaatwaarnemingen gebruik gemaakt van de voor de klimaatregeling noodzakelijke sensoren en gegevens, zoals setpointtemperaturen, raam- en schermstanden, CO₂-niveaus en buistemperaturen. Alle meetwaarden zijn als gemiddelden van aanvankelijk 15 en later 5 minuten opgeslagen.

Voor de validatie zijn metingen uit de volgende periodes gebruikt:
Uit het teeltseizoen 1995/1996 waarin in twee afdelingen niet geschermd werd:

- januari – april 1996,
- oktober – november 1996

en uit het teeltseizoen 1996/1997 waarin de nieuwe schermregeling werd gebruikt:

- december 1996 – april 1997,
- september– oktober 1997.

De in Naaldwijk verzamelde datasets, inclusief weergegevens, kunnen niet direct ingelezen worden door het simulatiemodel. Ook hebben veel grootheden niet de juiste eenheid. Bovendien bevonden zich soms foutwaarden in de vorm van niet-numerieke tekens tussen de gegevens.

Om de data geschikt te maken voor het model zijn storingsgegevens uit de datasets verwijderd, incidenteel over korte perioden ontbrekende waarden lineair geïnterpoleerd en de grootheden uit de verschillende bestanden samengevoegd in de juiste eenheden. Voor de samenstelling van een voor het model gegenereerd invoerbestand zie bijlage 3.

3.2 VALIDATIE

Het simulatie model is eerst geëvalueerd met behulp van de metingen van afdelingen 3 en 4 in seizoen '95/96; de ongeschermd situatie. Dit heeft onder andere geleid tot een nadere aanpassing van het model in verband met de effecten van de gevelverwarming. Ook de groeimodule die de LAI berekent, werd aangepast om de gerealiseerde gewasgroei (die van invloed is op de verdamping) beter in het model te krijgen (zie bijlage 4). Tenslotte bleken er onjuistheden in de meetwaarden van de diffuse zoninstraling te zijn, waarvoor een correctie moest worden aangebracht. In bijlage 4 is een uitgebreide beschrijving van deze evaluatie gegeven. Na de aanpassingen stemden berekeningen en metingen voldoende overeen (temperatuur binnen 1°C en absolute vochtigheid binnen 1 g/kg). Met het aangepaste en geëvalueerde model is de validatie uitgevoerd voor de geschermd situatie. In de volgende paragrafen worden voor verschillende perioden de bevindingen beschreven.

3.2.1 Periode januari – april 1996

De modelwaarden voor temperatuur en vochtigheid bij het gesloten scherm (of kleine kier) komen in de maand januari 1996 redelijk tot goed overeen met de gemeten waarden (zie bijlage 5 fig. B5.1). Figuur B5.2 (bijlage 5) laat het effect zien van de nog niet uitgevoerde correctie op de zoninstraling. Gedurende de maanden februari en maart liggen de modeltemperaturen dan systematisch hoger, evenals in de maand april.

Wanneer zeer kleine tijdsperioden beschouwd worden, in de orde van enkele uren, is steeds bij het sluiten van het scherm een schommeling van de modeltemperatuur boven het scherm waarneembaar. Deze zakt in het model te snel wanneer het scherm gesloten wordt, om bij een schermstand van ca. 70% dicht weer sterk op te lopen en vervolgens bij een schermstand van ca. 90% weer te zakken tot de gemeten temperatuur. Na zorgvuldige analyse is gebleken dat de piek die hier optreedt het gevolg is van de warmteflux van het onder- naar het bovencompartiment die bij een schermstand van 90% sterk piekt van 0 naar ca. 30-50 W/m², waarna deze naar een niveau van ca. 3 W/m² terugzakt bij een gesloten scherm. De sterke toename van de warmteflux van het onder- naar het bovencompartiment is een gevolg van inslingerverschijnselen van het model bij het in werking treden van de module die luchtuitwisseling berekent (zie bijlage 6). Dit heeft door de korte duur van het verschijnsel, dat boven het bijna gesloten scherm optreedt, overigens geen gevolgen voor berekende energiegebruiken. (Het effect komt overeen met versneld sluiten van het scherm over de laatste 30% waarbij het temperatuurverschil over het scherm gemiddeld over die periode goed berekend wordt).

3.2.2 Periode oktober – november 1996

In de herfst zal de gemiddelde luchtvochtigheid in de kas en buiten hoger zijn dan in de winter. Dit heeft als gevolg dat vaker een schermkier aangehouden wordt om het setpoint voor de relatieve luchtvochtigheid te kunnen realiseren. Het is belangrijk dat het schermmodel goed functioneert in situaties met een hoge luchtvochtigheid. Over de periode oktober - november 1996 blijken de modelwaarden en gemeten waarden bijzonder goed overeen te komen (de afwijking van de dagtemperatuur is minder dan 0,5 °C en van de vochtigheid minder dan 1 g/kg, bijlage 5, fig. B5.3).

3.2.3 Periode december 1996 – mei 1997

Over de periode december 1996 t/m mei 1997 zijn datasets beschikbaar met kleinere sample-intervallen. Tot 17 januari is het sample-interval 15 minuten, hierna 5 minuten. Omdat de stralingsgegevens uit deze datasets geen fouten bevatten is de correctiefactor voor de globale en diffuse straling verwijderd. De temperatuur en luchtvochtigheid in de maanden blijken december en begin januari dicht tot zeer dicht bij de gemeten waarden te liggen (bijlage 5, fig. B5.4). De gewasverdamping speelt nu een minder belangrijke rol door de relatief lage LAI in deze periode. Later in de meetperiode wordt de afwijking tussen de model en gemeten waarden incidenteel groter dan 1,5°C.

Bij een lage buitentemperatuur (< 0°C) is de luchttemperatuur boven het scherm ook relatief laag. Wanneer het scherm 's morgens opengaat, zakt de gemeten temperatuur onder het scherm verder terug dan in het model het geval is. Dit verschijnsel wordt minder naarmate de buitentemperatuur hoger wordt. Wellicht wordt de convectie door het scherm ten gevolge van verschil in dichtheid (verschil in temperatuur) in het schermmodel onderschat. Echter door een eventuele aanpassing van de convectie in het model zou het algehele beeld verslechteren. Ook hier geldt dat er geen invloed op het berekende energiegebruik is omdat deze verschijnselen van korte duur zijn en de temperatuur bovenin de kas, die het warmteverlies bepaalt, goed wordt berekend.

3.2.4 Periode september – oktober 1997

Tijdens deze periode werd nog beperkt geschermd. Voor de gehele periode geldt een redelijke tot goede overeenkomst met de metingen (temperatuurafwijking gemiddeld minder dan 0,5 °C).

3.2.5 Overzicht resultaten validatie

Tabel 3.2.1 geeft een overzicht van de verschillen tussen gemeten en berekende gemiddelde temperatuur en dampspanning. De waarden zijn verkregen door middeling over die perioden waarbij het scherm tenminste 92% gesloten is, met uitzondering van de afdelingen waarin niet geschermd is. De verschillen tussen de berekeningen en metingen zijn voor een complex simulatiemodel als KASPRO dat meestal in vergelijkende berekeningen wordt gebruikt verwaarloosbaar klein.

Tabel 3.2.1 Verschillen tussen gemiddelde modelwaarden en gemeten waarden (model minus meting) van temperatuur (dT) en dampdruk (dVP) onder (o) en boven (b) het scherm bij schermstanden groter dan 92%

afdeling	periode	dT _o [°C]	dT _b [°C]	dVP _o [%]	DVP _b [%]
1	jan-feb '96	1,7	2,1	10,6	-3,6
2 ²⁾		0,8	0,2	-3,4	-4,2
3 ²⁾		1,2	0,4	-1,7	-1,9
4		1,5	1,7	6,9	-6,1
1	okt-nov '96	-0,5	1,5	-3	8,5
2 ²⁾		-0,3	-0,4	-2,9	4,8
3 ²⁾		-0,2	-0,4	-1,6	6,6
4		-0,6	1,3	-2,9	8,2
1	dec '96-feb '97	0,9	1,6	6,2	-6,4
2		0,5	1,4	3,8	-7,4
3		1,2	1,8	6,7	-6,3
4		0,8	1,3	5,1	-7,8
1	feb-mei '97	0,6	-0,8	0,2	-10
3		1,3	1,2	4,6	-4,2
4		0,9	-0,5	2,1	-9,4
1		sep-okt '97 ¹⁾	0,5	-0,4	7,7
2	0		0,5	1,2	-5,1
3	0,5		0,8	3,3	-3,2
4	0,3		-0,8	7,3	-9,2

¹⁾ de verschillen in deze periode worden kleiner naarmate meer metingen meegenomen worden in de berekeningen. Het aantal metingen waarbij het scherm meer dan 92% gesloten is, is in deze periode zeer beperkt.

²⁾ niet geschermd

3.2.6 Gevoeligheidsanalyse

Voor veel schermmaterialen zijn de specifieke parameters (optisch en fysisch) niet of niet exact bekend. Ook is niet bekend in welke mate variaties van een parameterwaarde doorwerken op de modeltemperatuur en -vochtigheid onder het scherm. Om een beeld te krijgen van de onnauwkeurigheid van de validatie als gevolg van onnauwkeurigheden in deze specifieke parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd uitgaande van de parameters voor de schermcombinatie SLS10 en SLS10-Ultra zoals aanwezig in de kasafdelingen in Naaldwijk.

Deze analyse wijst uit dat de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor variatie in de optische en fysische eigenschappen van het scherm (bijvoorbeeld als gevolg van meetfouten bij de bepaling van materiaaleigenschappen) en de karakteristieke frequentie voor de berekening van effectieve drukverschillen over het scherm (hoofdstuk 2 vgl. 9) gering is. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in detail beschreven in bijlage 7.

3.3 CONCLUSIES

De afstemming van het model op de proefkas 209 vooral bij grotere raamstanden, en stralingsfluxen is lastig. Veel (soms aanzienlijke) verschillen tussen het model en de metingen op 'willekeurige' momenten, worden hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door incidentele gebeurtenissen in de kas (zoals bijvoorbeeld een slecht functionerende mengklep) of door een afwijkende LAI (bijvoorbeeld door bladplukken).

In het algemeen voldoet het schermmodel redelijk tot goed voor de beschouwde datasets. Wel zijn er situaties te vinden waarbij:

- de berekende vochtuitwisseling door het schermmateriaal wat te klein is.
- de berekende luchtuitwisseling door de schermkier tot een opening van 5% wat te klein is (de luchtuitwisseling bij grotere kieren is steeds correct),
- de luchtuitwisseling ten gevolge van dichtheidsverschillen in de berekening wordt onderschat en
- het model te snel reageert bij langzaam openen van het scherm.

Indien hiervoor aanpassingen in het model worden ingevoerd zijn er echter telkens veel meer omstandigheden te vinden waarbij juist een verslechtering van de berekende temperaturen en -vochtigheden ten opzichte van de metingen optreedt.

Uit een gevoeligheidsanalyse voor diverse parameters blijkt dat de modeluitkomsten niet erg gevoelig zijn voor de gebruikelijke meetfouten van eigenschappen van schermmaterialen zoals de emissiefactor, de transmissie voor warmtestraling, permeabiliteit en porositeit.

4 Simulatie schermstrategieën

Met behulp van het simulatiemodel voor het kasklimaat KASPRO zoals beschreven door De Zwart (1996), en uitgebreid met de vergelijkingen uit hoofdstuk 2 die het vocht en warmtetransport door schermen beschrijven, zijn een groot aantal simulaties uitgevoerd om het kasklimaat en het energiegebruik te bepalen voor verschillende schermstrategieën.

In dit hoofdstuk wordt eerst een beschrijving gegeven van de gehanteerde randvoorwaarden en setpoints (paragraaf 4.1), gevolgd door een overzicht van de resultaten (paragrafen 4.2 en 4.3) en de conclusies die daaruit zijn getrokken (paragraaf 4.4).

4.1. BESCHRIJVING GESIMULEERDE SCHERMSTRATEGIEËN

4.1.1 Kasconfiguratie

De in de simulaties gehanteerde kasconfiguratie is die van een moderne Venlo-kas. Dit is een kas met een enkelglas dek en een hoge lichtdoorlatendheid (79% voor diffuus licht). De goothoogte is op 4 m gesteld. Ten behoeve van de ventilatie is de kas uitgerust met aan elke zijde van het dek op iedere acht ruiten een half tweeruits luchtraam in de nok. Hierdoor heeft de kas zowel aan de lei- als aan de loefzijde 0,0625 m² luchtraamoppervlak per m² grond. De dakhelling bedraagt 24°.

Van het licht dat door het kasdek binnenkomt wordt door constructie en installaties (pijpen, tralies, poten enz.) van de standaardkas nog eens 10% onderschept. De totale doorlatendheid voor diffuus licht komt daarmee op 71%.

De kas bestaat uit 60 kappen van 3,20 m breed en beslaat met een gootlengte van 100 m een oppervlak van 1,92 ha. De verhouding geveloppervlak staat tot kasoppervlak is hiermee 0,12.

De kas is uitgerust met twee verwarmingsnetten, te weten een buisrailnet, bestaande uit vier 51-ers per kap en een bovennet van twee 28 mm pijpen per kap. Het bovennet fungeert als secundair net, wat wil zeggen dat het alleen bij extreem hoge warmtevraag wordt gebruikt. Het maximale vermogen dat in de kas kan worden gebracht is 250 Wm⁻².

Het energiescherm hangt direct onder de goot. Het gemodelleerde schermdoek is van het type SLS 10, een vochtdoorlatend schermtype. Dit betekent dat vocht dat aan de onderzijde van het scherm condenseert aan de bovenzijde weer kan verdampen.

4.1.2 Gewas en teeltinstellingen

In de simulaties is uitgegaan van het gewas tomaat. De gehanteerde teeltinstellingen zijn gebaseerd op de gegevens uit Kwantitatieve Informatie voor de glastuinbouw (KWIN, 1996)

De teelt loopt van 15 december (plantdatum) tot 31 november (einde oogst). Tabel 4.1.1 toont een overzicht van de gebruikte setpointtemperaturen voor kaslucht en minimumbuis.

De stooklijn waarop het kasklimaat wordt geregeld wordt bepaald uit het dag-, nacht- en setpoint voor de nanacht (zie tabel 4.1.1), waarbij de helling bij de overgangen tussen deze setpoints op 1 °C per uur gesteld is. De stijging naar het dagsetpoint wordt op een zodanig moment ingezet dat de dagwaarde bij zonsopkomst bereikt is. De verlaging wordt ingezet bij zonsondergang. De nanacht begint 3 uur voor zonsopgang. Een lichtafhankelijke setpointverhoging wordt gehanteerd door het kasluchttemperatuur-setpoint met 2 °C te verhogen over het zonstralingstraject van 100 tot 300 Wm⁻² (buiten de kas gemeten). Over hetzelfde stralingstraject wordt een eventuele minimumbuis temperatuur van de ingestelde waarde afgebouwd naar het actuele kasluchttemperatuur-setpoint.

De ventilatielijn staat 1 tot 2 graden boven de stooklijn (zie tabel 4.1.1). Bij het afbouwen van de stooklijn bij het invallen van de avond loopt de ventilatielijn daarbij ook nog een half uur achter op de stooklijn. De ramen worden voor iedere graad overschrijding van de ventilatielijn 10% geopend. Indien de lijzijdige luchting meer dan 60% geopend is (dus bij een kasluchttemperatuur van 6 °C boven de ventilatielijn), gaan de loefzijdige ramen meelopen.

Behalve op temperatuur worden de ramen ook nog geregeld op vocht. Bij overschrijding van de ingestelde maximale RV overdag worden de lijzijdige ramen 2% per procent overschrijding geopend. CO₂-dosering vindt plaats door verbrandingsgas via kunststof darmen in de kas te verdelen. De maximale doseringscapaciteit is hierbij gesteld op 70 kg CO₂ per ha per uur (overeenkomend met de verbranding van 40 m³/uur aardgas per ha).

Tabel 4.1.1 Setpointtemperaturen tomaat ten behoeve van simulatie

periode	kasluchttemperatuur [°C]			offset ventilatie [°C]			minimumbuis temperatuur indien gebruikt [°C]		
	dag	nacht	nanacht	dag	nacht	nanacht	dag	nacht	nanacht
15 dec. tot 1 jan	20,0	20,0	20,0	2,0	2,0	1,5	40	30	30
1 jan. tot 1 febr.	19,0	19,0	18,5	2,0	2,0	1,5	40	30	30
1 febr. tot 1 mrt.	19,0	17,0	16,5	1,5	1,5	1,0	40	30	30
1 mrt. tot 30 nov.	19,5	16,5	16,0	1,0	1,0	0,5	40	30	30

Bij de berekeningen is het setpoint voor de relatieve vochtigheid van de kaslucht als parameter gebruikt. Daarbij is er naar aanleiding van de bevindingen in Naaldwijk van uitgegaan dat het RV-setpoint tijdens de nachtperiode wat hoger (95%) kan worden ingesteld. De parameterwaarden zijn weergegeven in tabel 4.1.2.

Tabel 4.1.2 Gebruikte parameterwaarden voor de RV-setpoints

	dag	nacht	nanacht
RV setpoint in %	80 en 85	95	80; 85 en 90

De buitentemperatuur waaronder het scherm 's nachts gesloten wordt is steeds ingesteld op 10 °C.

4.1.3 Buitenklimaat

Het simulatiemodel wordt gevoed met een typisch Nederlands buitenklimaat. Hiervoor is gebruik gemaakt van het SEL-jaar, een acroniem voor een set van geSElecteerde weergegevens. Het SEL-jaar is opgebouwd uit twaalf maandbestanden met gemiddelde uurwaarden voor de belangrijkste weergegevens. De maandbestanden zijn geselecteerd uit weergegevens van het KNMI voor De Bilt over de periode 1971 t/m 1980. Zo is de januari-maand van 1971 in het SEL-bestand opgenomen als typisch Nederlands weer in de maand januari. De maand februari in het SEL-jaar is afkomstig uit de meteorologische gegevens van februari 1973, etc. (Breuer, Van Weele en Van Paassen, 1991). Het gebruik van het SEL-jaar heeft het voordeel boven het gebruik van gemiddelde weergegevens dat de dynamiek in het weer ook in het weerbestand is terug te vinden.

4.1.4 Regelstrategieën

De strategieën die zijn onderzocht met betrekking tot de regeling van het scherm in combinatie met het raam om de vochtigheid van de kaslucht te beheersen zijn te verdelen in 8 hoofdgroepen zoals aangegeven in tabel 4.1.3.

Tabel 4.1.3 Schermstrategieën

hoofdgroep	volgorde openen raam/scherm	minimum buis	soort regeling
1	eerst raam dan scherm	geen	PI op schermkier *)
2	eerst scherm dan raam	geen	PI op schermkier *)
3	eerst raam dan scherm	wel	PI op schermkier *)
4	eerst scherm dan raam	wel	PI op schermkier *)
5	eerst raam dan scherm	geen	stappen op schermkier
6	eerst scherm dan raam	geen	stappen op schermkier
7	geen scherm	geen	
8	geen scherm	wel	

*) dit is een PI regeling met een minimale verstelling van het scherm van 0,5%.

De PI-regeling op de schermkier is uitgevoerd met een minimale verstelling van het scherm van 0,5% (bij een vakmaat van 4 m is dat een verandering in de kier van 2 cm), zodat afhankelijk van de RV-afwijking van het setpoint een bepaalde tijd verstrijkt voordat het scherm versteld wordt. Deze regeling wordt in het vervolg van dit rapport "aangepaste PI-regeling" of "PI-stap" genoemd. Omdat deze

regeling niet eenvoudig in de praktijk (klimaatcomputer te Naaldwijk) te implementeren was, is in een later stadium gekeken naar een stappenregeling die eenvoudiger in te bouwen is. Bij de stappenregeling wordt het scherm steeds 0,34% veresteld, gevolgd door een wachttijd van 5 minuten. Behalve op RV wordt de schermkier ook op temperatuur geregeld. Bij overschrijding van het setpoint voor de kasluchttemperatuur wordt het scherm op een kier van 2% gezet. Andere kierstanden worden voor temperatuurregeling niet gebruikt.

Bij elk van de eerste 6 hiervoor genoemde hoofdgroepen zijn er 72 berekeningen uitgevoerd waarbij het setpoint voor de RV van de kaslucht gedurende de nacht steeds 95% is geweest. De setpoints voor RV gedurende de dag en nanacht, de maximale schermkier ten behoeve van de vochtregeling en de maximale raamkier ten behoeve van de vochtregeling zijn als parameter gevarieerd (tabel 4.1.4).

Tabel 4.1.4 Gebruikte parameterwaarden voor de RV-setpoints, maximale schermkier en maximale raamkier in %

RV setpoint dag/nanacht	80/80; 80/85; 80/90; 85/80; 85/85 en 85/90
maximale schermkier	2; 4; 6 en 8
maximale raamkier	1; 2,5 en 5

Bij de hoofdgroepen 7 en 8 wordt niet geschermd zodat de variatie in de maximale schermkier vervalt en er 18 berekeningen overblijven.

4.2 GASVERBRUIKEN

In deze paragraaf wordt ingegaan op de berekende gasverbruiken en de verschillen daarin voor de verschillende onderzochte regelstrategieën.

Voor de weergave van de resultaten zijn de berekende strategieën als volgt genummerd:

1 t/m 12 zijn de gevallen waarvoor het RV-setpoint dag/nanacht 80/80% is, waarbij begonnen wordt met de kleinste maximale schermkier (2%) en drie maximale raamkieren in oplopende volgorde (1; 2,5 en 5%) vervolgens wordt dit herhaald voor de volgende maximale schermkieren (4; 6 en 8%). Deze serie van 12 wordt dan nog 5 keer herhaald voor de andere RV-setpointcombinaties.

De strategienummers zijn cursief weergegeven in tabel 4.2.1.

Tabel 4.2.1 Overzicht van de 72 strategienummers (cursief) behorend bij de verschillende setpoints

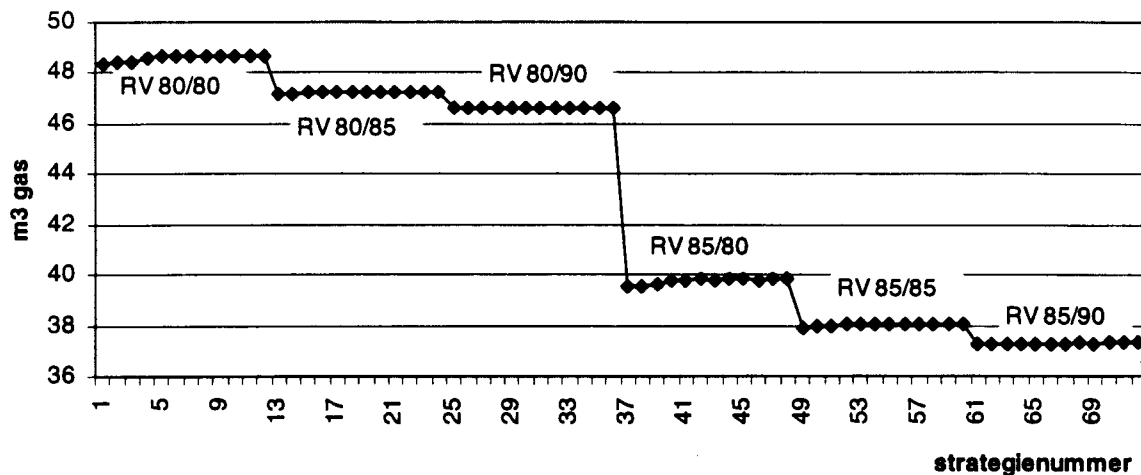
schermkier [%]	raamkier [%]	R.V. dag/nanacht in %					
		80/80	80/85	80/90	85/80	85/85	85/90
2	1	<i>1</i>	<i>13</i>	<i>25</i>	<i>37</i>	<i>49</i>	<i>65</i>
2	2,5	<i>2</i>	<i>14</i>	<i>26</i>	<i>38</i>	<i>50</i>	<i>62</i>
2	5	<i>3</i>	<i>15</i>	<i>27</i>	<i>39</i>	<i>51</i>	<i>63</i>
4	1	<i>4</i>	<i>16</i>	<i>28</i>	<i>40</i>	<i>52</i>	<i>64</i>
4	2,5	<i>5</i>	<i>17</i>	<i>29</i>	<i>41</i>	<i>53</i>	<i>65</i>
4	5	<i>6</i>	<i>18</i>	<i>30</i>	<i>42</i>	<i>54</i>	<i>66</i>
6	1	<i>7</i>	<i>19</i>	<i>31</i>	<i>43</i>	<i>55</i>	<i>67</i>
6	2,5	<i>8</i>	<i>20</i>	<i>32</i>	<i>44</i>	<i>56</i>	<i>68</i>
6	5	<i>9</i>	<i>21</i>	<i>33</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>65</i>
8	1	<i>10</i>	<i>22</i>	<i>34</i>	<i>46</i>	<i>58</i>	<i>70</i>
8	2,5	<i>11</i>	<i>23</i>	<i>35</i>	<i>47</i>	<i>59</i>	<i>71</i>
8	5	<i>12</i>	<i>24</i>	<i>36</i>	<i>48</i>	<i>60</i>	<i>72</i>

We beschouwen nu eerst de "aangepaste PI-regeling" zonder minimumbuis.

In figuur 4.2.1 is te zien dat er een aanmerkelijk niveauverschil in gasverbruik is tussen de berekende gevallen 1 t/m 36 en 37 t/m 72, dat wil zeggen dat het setpoint voor de relatieve vochtigheid overdag van grote invloed is op het energiegebruik. Het verschil tussen het RV-setpoint op een niveau van 80% respectievelijk 85% is per jaar en per m² ruim 9 m³. De invloed van het setpoint van de relatieve vochtigheid in de nanacht is minder sterk. De verschillen belopen hier per jaar en per m² 1,3 respectievelijk 2,0 m³ voor de instellingen 80/85 en 80/90 ten opzichte van 80/80 en 1,7 respectievelijk 2,5 m³ voor de instellingen 85/85 en 85/90 ten opzichte van 85/80. De verschillen in energiegebruik bij

de verschillende maximale schermkieren en raamkieren zijn erg klein; maximaal $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ voor de laagste RV-setpoints. Dit betekent dat bij een vochtregeling met behulp van een schermkier er een zeer beperkt energie-effect is van de maximaal te gebruiken schermkier tot ca. 8%.

De verschillen in energiegebruik tussen de keuze eerst scherm of eerst raam regelen zijn per m^2 en per jaar steeds kleiner dan $0,16 \text{ m}^3$. Omdat dit verschil bij alle strategieën klein is gebleken, wordt dit effect in de verdere rapportage over het energiegebruik buiten beschouwing gelaten.



Figuur 4.2.1 Jaarlijks gasverbruik per m^2 voor verschillende regelstrategieën bij een RV-setpoint 's nachts van 95% en 6 RV-setpointcombinaties voor de dag/nanacht, zonder gebruik van minimumbuis, en met "aangepaste PI-regeling" op de schermkier, waarbij eerst het scherm wordt geregeld en dan het raam.

In tabel 4.2.2 zijn de gemiddelde gasverbruiken weergegeven voor de groepen van 12 berekeningen met dezelfde RV-setpoints voor verschillende strategieën

Tabel 4.2.2 Gasverbruiken voor verschillende RV-setpointcombinaties en verschillende strategieën in $\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$

strategie	RV 80/80	RV 80/85	RV 80/90	RV 85/80	RV 85/85	RV 85/90
PI-stap geen min. buis	48,6	47,3	46,6	39,8	38,0	37,3
PI-stap met min. buis	49,3	47,8	47,4	40,5	38,7	38,1
Stappen geen min. buis	46,3	45,3	44,7	37,7	36,6	36,1
Zonder scherm	62,1	61,5	61,1	53,8	53,1	52,8

We zullen nu achtereenvolgens een aantal invloeden nader beschouwen.

Invloed minimum buis

Als de minimum buis wordt gebruikt, ontstaat ook een aanmerkelijk niveauverschil in gasverbruik tussen de berekende gevallen 1 t/m 36 en 37 t/m 72, dat wil zeggen dat het setpoint van de relatieve vochtigheid overdag van grote invloed blijft op het energiegebruik. Het verschil tussen het RV-setpoint op een niveau van 80% respectievelijk 85% is hier ook meer dan $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar.

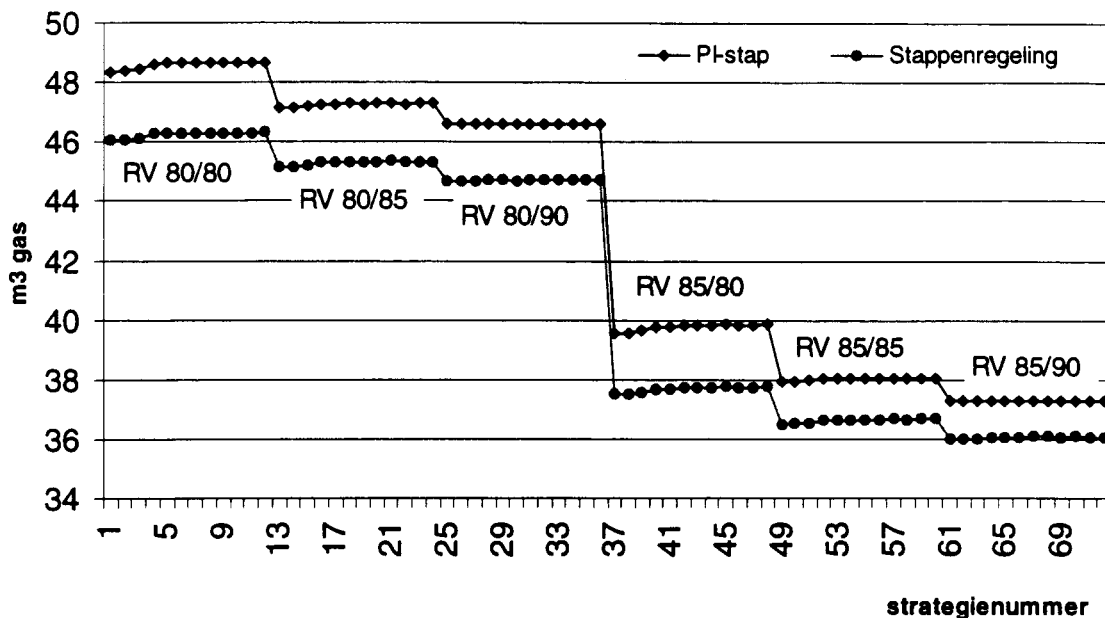
Dat het toepassen van minimumbuis energie kost ligt voor de hand. De meerverbruiken blijven echter bij de door ons gehanteerde lage buistemperaturen gering, n.l. $0,5$ tot $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar.

De effecten van het toepassen van de minimumbuis zijn in alle overige simulaties van regelstrategieën van gelijke orde gebleken, zodat hierop bij de verdere behandeling van de energiegebruiken niet meer wordt ingegaan en steeds de situatie zonder minimum buis wordt beschouwd.

Invloed stappenregeling

Ook bij toepassen van de stappenregeling is er een aanmerkelijk niveauverschil in gasverbruik tussen de berekende gevallen 1 t/m 36 en 37 t/m 72. Het verschil tussen het RV-setpoint op een niveau van 80% respectievelijk 85% is bijna $9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ per jaar.

In figuur 4.2.2 zijn de absolute gasverbruiken van de regelstrategieën met de aangepaste PI-regeling (PI-stap) met de minimale verstelling van 0,5% respectievelijk de stappenregeling met een stap van 0,34% en een wachttijd van 5 min. op de schermkier weergegeven.



Figuur 4.2.2 Gasverbruik voor verschillende regelstrategieën bij een RV-setpoint 's nachts van 95% en 6 dag/nacht combinaties, zonder minimumbuis, voor de "aangepaste PI-regeling" (PI-stap) respectievelijk de Stappenregeling

Er is duidelijk te zien dat de stappenregeling minder energie kost. Dat was in zekere zin te verwachten omdat de minimale verstelling bij de "aangepaste PI-regeling" groter is dan de stapgrootte bij de stappenregeling.

Het gemiddelde gasverbruik per m² en per jaar over alle 72 gevallen is voor de aangepaste PI-regeling 42,9 m³ en voor de stappenregeling 41,1 m³. Het verschil tussen de aangepaste PI-regeling en de stappenregeling bedraagt per jaar en per m² dus 1,8 m³.

Invloed niet schermen

Tabel 4.2.2 laat in de laatste rij duidelijk zien dat de gasverbruiken in het geval dat er geen scherm aanwezig is flink hoger uitvallen dan in de gevallen dat er wel een scherm wordt gebruikt.

4.3 RELATIEVE VOCHTIGHEID KASLUCHT

Overschrijding van het RV-setpoint wordt met name in de nanacht ongewenst geacht. In dat geval wordt namelijk de kans vergroot dat er condensatie in het gewas optreedt gedurende het opstoken naar dagniveau en het openen van het energiescherm.

In deze sectie wordt daarom ingegaan op het aantal uren in de nanacht dat een bepaalde RV of de ingestelde setpointwaarde van de RV wordt overschreden.

4.3.1 Optreden bepaalde RV

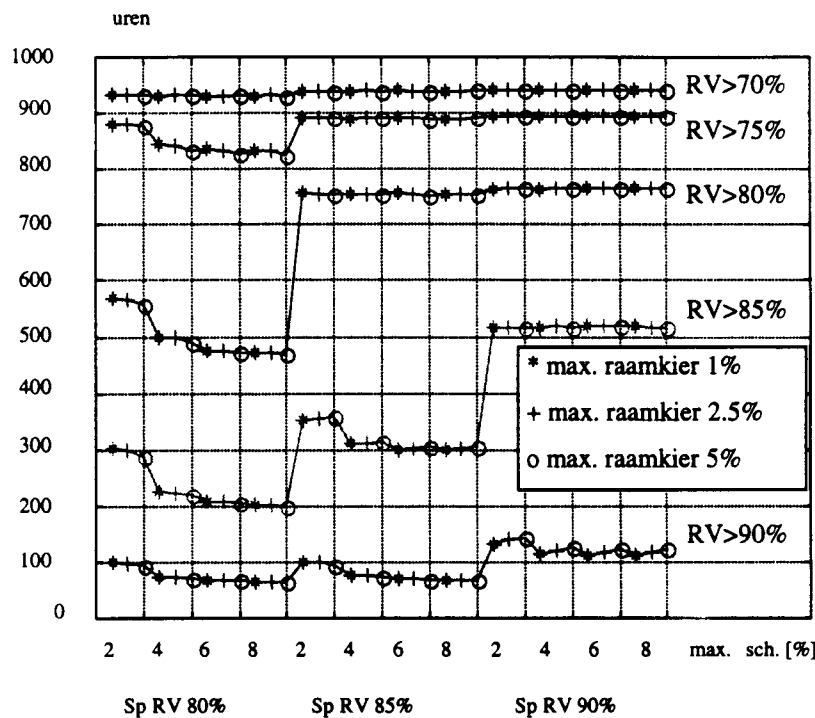
De nanacht beslaat 3 uren per etmaal. Voor de jaarrond simulatieperiode van 350 dagen bedraagt het maximaal aantal uren in de nanacht dus 1050.

In figuur 4.3.1 is voor drie RV-setpoints voor de nanacht en de verschillende waarden voor de maximale scherm- en raamkier bij een "aangepaste PI-regeling" op het scherm en een strategie

waarbij eerst het raam wordt geregeld aangegeven hoeveel uur de RV boven een bepaalde waarde ligt gedurende de nacht.

We zien in de grafiek dat:

- het aantal uren, met een RV groter dan 70% (>70%) ongeacht het RV-setpoint op iets meer dan 900 ligt,
- het aantal uren, met een RV>80% varieert voor een RV-setpoint van 80% afhankelijk van de scherm- en raamkier tussen 460 en 580; voor een RV-setpoint van 85% en 90% iets boven de 750 uur. enz.



Figuur 4.3.1 Uren overschrijding in de nacht boven bepaalde RV als functie van RV-setpoint in de nacht, schermopening en raamopening, bij een RV-waarde overdag van 80%.

Voor een gegeven RV-setpoint wordt het aantal uren dat een bepaalde RV overschreden wordt het meest beïnvloed (verlaagd) door vergroting van de maximale schermkier van 2 naar 4% (vergroting naar 8% heeft nog maar weinig invloed). De invloed van de maximale raamkier is veel kleiner.

4.3.2 Overzicht overschrijding RV-setpoints

De andere regelstrategieën en kierregelingen vertonen grafieken die qua vorm weinig afwijken van figuur 4.3.1.

In tabel 4.3.1 zijn het aantal overschrijdingsuren (afgerond op 5) van de RV-setpoints in de nacht voor alle berekende gevallen met een maximale schermkier van 4% weergegeven.

Tabel 4.3.1 Gemiddeld aantal overschrijdingsuren van RV-setpoint voor verschillende regelingen bij een RV overdag van 80% of 85%¹⁾ en bij een maximale schermkier van 4%

Strategie	setpoint RV in de nacht [%]				
	min. buis	eerst	80	85	90
aangepaste PI-regeling	nee	raam	495	315	120
aangepaste PI-regeling	nee	scherm	500	305	105
aangepaste PI-regeling	ja	raam	510	270	50
aangepaste PI-regeling	ja	scherm	505	265	40
stappenregeling	nee	raam	510	335	150
stappenregeling	nee	scherm	505	330	135
geen scherm	nee	n.v.t.	220	130	60
geen scherm	ja	n.v.t.	220	105	15

¹⁾ Er is maximaal 5 uren afwijking bij een ingesteld RV-setpoint overdag van 85% ten opzichte van 80%.

4.3.3 Invloeden op overschrijding RV-setpoint

Volgorde regeling scherm of raam

Het aantal uren dat een bepaalde RV wordt overschreden wanneer eerst het scherm in plaats van het raam wordt geregeld, wijkt niet wezenlijk af van de waarden in de grafiek zoals onder paragraaf 4.3.1 is besproken. De RV-setpoints in de nacht van 85% en 90% worden wat minder overschreden als eerst het scherm wordt geregeld (zie ook tabel 4.3.1).

Invloed minimumbuis

Als er minimumbuis wordt gebruikt wijkt het aantal uren dat een bepaalde RV wordt overschreden niet wezenlijk af van de waarden in de grafiek zoals onder paragraaf 4.3.1 is besproken. Het toepassen van minimumbuis leidt bij hogere RV-setpoints in de nacht tot een lager aantal uren overschrijding. De verklaring zou kunnen zijn dat de kasluchttemperatuur dan iets hoger is, hetgeen bij eenzelfde absolute vochtigheid leidt tot een minder hoge RV.

Invloed stappenregeling

Als we de "stappenregeling" vergelijken met de "aangepaste PI-regeling" dan worden de ingestelde RV-setpoints bij de stappenregeling steeds wat meer overschreden dan bij de aangepaste PI-regeling (zie ook tabel 4.3.1)

Invloed niet schermen

Bij een strategie zonder scherm ten opzichte van die met een scherm met "aangepaste PI-regeling" is er sprake van een vermindering van het aantal uren dat het RV-setpoint wordt overschreden. Deze vermindering varieert van 60 tot 280 uur afhankelijk van het RV-setpoint in de nacht als er geen minimumbuis wordt gebruikt. Indien er wel minimumbuis wordt toegepast is het verschil bij een setpoint van 90% RV nog maar 25 uur.

5 Toetsing schermstrategieën

5.1 KEUZE STRATEGIE EN IMPLEMENTATIE

De simulaties van de verschillende schermstrategieën laten zien dat het regelen van een schermkier met een grotere maximale waarde dan 4% weinig effect heeft op de luchtvochtigheid (paragraaf 4.3.1). Of dit in de praktijk ook zo uitpakt is in de toetsing op het PBG te Naaldwijk nagegaan door in twee gevallen een kier van maximaal 3% te kiezen en in twee gevallen een maximale kier van 8%. Om te zien of er daadwerkelijk weinig verschil optreedt tussen eerst scherm of eerst raam regelen, zoals uit de simulaties blijkt (paragraaf 4.3.2), is in één geval gekozen voor een strategie waarbij eerst het raam wordt geregeld. Omdat de simulaties laten zien dat de strategie "eerst raam" voor wat betreft de energie licht in het nadeel is, is in de andere drie gevallen gekozen voor eerst scherm. In het kader van het onderzoek aan de gewasreacties is tevens gekozen voor twee gevallen met een hoog RV-setpoint en twee gevallen met een laag RV-setpoint gedurende de nacht. Hierbij is de nacht verdeeld in een voornacht (een half uur voor zon-onder tot 3 uur voor zon-op), en een nanacht, (3 uur voor zon-op tot een half uur na zon-op). In de nanacht is het RV-setpoint verlaagd, om voldoende vochtafvoer te krijgen.

In de toetsing is uitgegaan van 4 behandelingen. In tabel 5.1.1 is een overzicht gegeven van de toegepaste instellingen. Het schermmateriaal bestond uit een dubbeldoek van SLS10 en SLS10-Ultra, die op elkaar op hetzelfde dradenbed liggen. Het scherm werd 's nachts gesloten bij een buitentemperatuur beneden 10 °C. De luchttingscapaciteit van de afdelingen is zeer groot (in elk vak twee ramen van 3x0,8 m), daarom is gebruik gemaakt van een beperkte maximale raamkier (4%).

Tabel 5.1.1 Volgorde van de stappen in schermkier en raamkier voor het regelen op RV.

behandeling	RV-nacht	RV-nanacht	max. schermkier in stappen van 0,34%	max. raamkier in stappen van 1%
1 eerst scherm	85 %	80 %	8 %	4 %
2 eerst scherm	95 %	85 %	8 %	4 %
3 eerst raam	95 %	85 %	3 %	3 %
4 eerst scherm	85 %	80 %	3 %	4 %

Bijvoorbeeld: behandeling 1 heeft een RV setpoint van 85% in de voornacht. Bij overschrijding van de RV wordt eerst een schermkier van 0,34% (is 1,4 cm) getrokken. Na vijf minuten wordt de RV opnieuw vergeleken met het setpoint. Zolang de RV nog te hoog is, wordt de schermkier in stappen vergroot tot maximaal 8% (32 cm). Wanneer de RV dan nog te hoog is, wordt er een raamkier ingezet. De grootte hiervan is afhankelijk van de vochtoverschrijding, maar is in deze behandeling (1) maximaal 4%. Alleen bij behandeling 3 wordt bij RV-overschrijding als éérste een raamkier gezet tot maximaal 3%. Hierna wordt er eventueel nog stapsgewijs een schermkier getrokken.

5.2 WAARNEMINGEN

Bij de toetsing van de schermstrategieën in Naaldwijk zijn voor wat betreft het kasklimaat dezelfde metingen uitgevoerd als voor de evaluatie van het simulatiemodel. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.2.1.

Tijdens het stookseizoen is bij de planten in de proefvelden om de twee weken de lengte en de bloeisnelheid bepaald, daarna zijn deze metingen éénmaal in de vier weken gedaan.

Tijdens de teelt is in de proefrijen de productie bijgehouden. Hierbij zijn in alle afdelingen de gegevens van elke rij afzonderlijk verzameld. Bij de opbrengstcijfers is onderscheid gemaakt in exportkwaliteit (klasse 1), binnenland (klasse 2) en neusrot.

5.3 RESULTATEN

5.3.1 Schermduur

In tabel 5.3.1 is het aantal uren weergegeven dat er geschermd is in de vier afdelingen waarin de toetsing van de schermstrategieën heeft plaatsgevonden.

Tabel 5.3.1 Schermduur in de periode dec '96-okt '97 in uren

afdeling	scherm dicht	schermkier	totaal
1	1023	837	1860
2	1531	327	1858
3	1539	336	1875
4	1058	802	1860

In alle gevallen wordt er bijna 1900 uur van het scherm gebruik gemaakt. Dat ligt in de buurt van wat in een praktijkonderzoek als maximum bij tomaat is waargenomen (Van der Sluis, 1995), en aanmerkelijk langer dan de ca. 900 uur die in dat onderzoek als gemiddelde werd gevonden. In de afdelingen (2 en 3) met de hoogste RV-setpoints in de nacht en nanacht (95%) is het aantal uren met het scherm geheel gesloten het grootst. Bij een RV setpoint van 85% in de nacht en nanacht worden het scherm en raam vaker op een kier gezet dan bij een RV setpoint van 95%. In de periode 15 december '96 tot oktober '97 is op een totaal van ca. 1860 schermuren bij de lage RV-setpoints gemiddeld ca. 800 uur een schermkier getrokken. Bij de hoge RV-setpoints was dit ca. 330 uur.

5.3.2 Energiegebruik

In Naaldwijk zijn geen energiegebruiken gemeten. Om daarover een indicatie te krijgen is uit de buis- en kasluchttemperaturen het energiegebruik bepaald voor de periode december 1996 t/m mei 1997. In tabel 5.3.2 zijn deze waarden op 0,1 m³/m² afgerond weergegeven.

Tabel 5.3.2 Gasgebruik van de vier afdelingen voor de periode december '96 t/m mei '97

afdeling	gasgebruik [m ³ per m ²]
1	36,9
2	36,4
3	36,4
4	36,0

Wanneer deze energiegebruiken worden vergeleken met de uitkomsten van de simulaties (figuur 4.2.2 Stappenregeling) dan is de trend van een hoger energiegebruik bij een grotere maximale schermkier (afdeling 4 versus afdeling 1) terug te vinden. Ook het hogere energiegebruik bij een lager RV-setpoint is te zien (afdeling 1 versus afdeling 2). De verschillen in energieverbruik tussen de regeling met schermkier als eerste ten opzichte van de regeling met de raamkier als eerste (afdeling 2 versus afdeling 3) zijn klein. Hoewel de energiegebruiken in de simulaties en toetsing niet goed direct te vergelijken zijn (de RV-setpoints in het eerste deel van de nacht zijn immers niet gelijk) stemmen de waargenomen trends met elkaar overeen.

Om een indruk te krijgen van het effect van de in 1997 getoetste schermstrategieën ten opzichte van de oude schermregeling, toegepast in seizoen '95/'96, is het energiegebruik over de maanden december tot en met mei afgeleid uit de buistemperaturen en gecorrigeerd voor de buitentemperatuur (tabel 5.3.3). Bij de oude schermregeling wordt in de nanacht een vaste kier ingezet. Deze kiergrootte is afhankelijk van de buitentemperatuur. Na deze actie wordt het scherm niet meer dicht gestuurd, ook als de RV lager dan het setpoint is. Is de RV na een half uur niet onder het setpoint gedaald, dan wordt het scherm helemaal geopend en blijft de verdere nacht geheel open.

Vergeleken met niet schermen gebruikte de oude schermregeling in de periode december tot en met mei 28% minder energie en de verbeterde schermregeling 37% minder. Doordat er bij de toetsing geen minimum buis is toegepast en alleen de periode dec. t/m mei wordt beschouwd vallen deze besparingen relatief hoog uit.

Tabel 5.3.3 Totaal energiegebruik in % gemiddeld over vergelijkbare afdelingen voor de periode december t/m mei

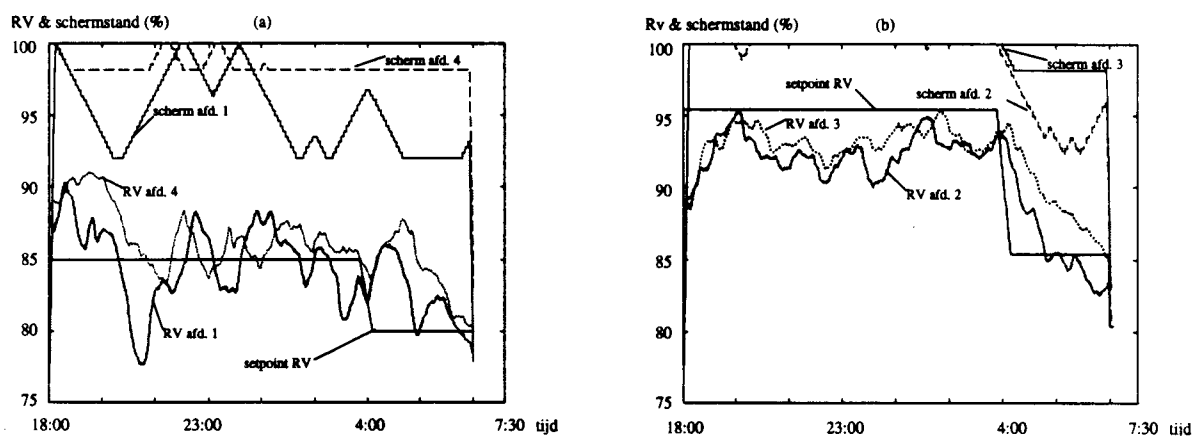
	niet geschermd (‘95/96)	oude regeling (‘95/96)	verbeterde regeling (‘96/97)
energiegebruik ¹⁾	100	72	63

¹⁾ gecorrigeerd voor buitentemperatuur

De verbeterde regeling bespaart ongeveer 9% meer dan de klassieke regeling over de beschouwde periode. Over een heel jaar zal dat naar schatting 6% zijn. In de simulaties is de besparing op jaarbasis van de verbeterde regeling ten opzichte van ongeschermd ca. 26% zonder minimum buis en ca. 22% met minimum buis (tabel 4.2.2).

5.3.3 Luchtvochtigheid

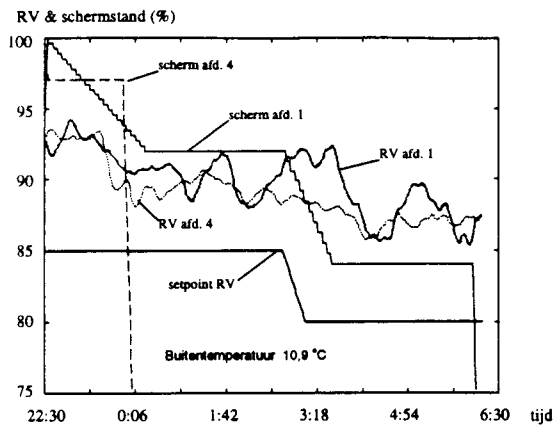
Eenzelfde RV-setpoint kan op verschillende manieren bereikt worden. Bij behandeling 1 en 4 wordt naar dezelfde RV van 85% gestreefd. De maximum raamkier is gelijk. Bij behandeling 4 kan het scherm echter maar tot 3% openlopen tegen 8% in afdeling 1.



Figuur 5.3.1 Gemeten schermstanden en relatieve vochtigheden in de nacht van 5 op 6 maart 1997 voor nacht/nanacht RV-setpoints van 85/80% (a) en 95/85% (b).

In figuur 5.3.1a is het verloop van de gewenste en gerealiseerde RV en de bijbehorende schermstanden weergegeven voor de nacht van 5 op 6 maart 1997 van deze twee behandelingen. Bij beide behandelingen wordt op dat moment de RV overschreden. Bij behandeling 1 kan het scherm verder open lopen met het gevolg dat de RV daling doorschiet tot beneden de 80%. De grotere maximale schermopening van behandeling 1 leidde uiteindelijk tot een onrustig verloop van de RV. Met de kleinere schermopeningen was het verloop rustiger. Het RV-setpoint werd dan ook bereikt, echter op een iets later tijdstip. Dit zelfde beeld was te zien in de nanacht, wanneer het RV-setpoint wordt verlaagd. De gemiddelde raamopening was over die nacht 0,2 % in de afdeling met de grote schermkier, en 2,24% in de afdeling met de kleine schermkier. Bij de regeling op 95% RV zoals die is uitgevoerd in de afdelingen 2 en 3 (figuur 5.3.1b) wordt er minder gebruik gemaakt van kieren, waardoor uiteraard een rustiger RV-verloop te zien is.

Hieruit blijkt dat met de gebruikte schermstrategieën de RV onder of rond het setpoint gehouden kan worden.



Figuur 5.3.2 Gemeten schermstanden en relatieve vochtigheden in de nacht van 4 op 5 mei 1997 voor nacht/nanacht RV-setpoints van 85/80%.

Naar mate de buitentemperatuur hoger wordt, wordt het moeilijker om het RV-setpoint te realiseren. Uit figuur 5.3.2 blijkt dat onder bepaalde omstandigheden RV verlaging door het trekken van een kier soms zelfs helemaal niet meer mogelijk is (afdeling 1). In de nacht van 4 op 5 mei 1997 werd, bij een buitentemperatuur van gemiddeld 10,9 C, vlak voor middernacht bij afdeling 4 het scherm helemaal opengetrokken. De RV in de kas daalde echter nauwelijks. Het wel of niet gebruiken van het scherm maakt op dat moment niets uit voor de gemeten RV. Door het vergroten van de uitstraling bij openen van het scherm maakte het echter wel wat uit voor het energieverbruik. Door het openlopen van het scherm is in die nacht 11% meer gas verbruikt, terwijl de gemiddelde RV in beide behandelingen gelijk bleef namelijk 88%.

5.3.4 Productie

In de tabellen 5.3.4 tot en met 5.3.6 zijn de productiegegevens van het teeltseizoen '95/96 weergegeven. Er zijn geen statistisch significante verschillen in productie tussen de afdelingen zonder scherm (2 en 4) en de afdelingen met scherm (1 en 3).

Tabel 5.3.4: Productiegegevens 1996 klasse 1

afd	stuks klasse 1 [aantal per m ²]			gewicht klasse 1 [kg m ⁻²]			vruchtgewicht klasse 1 [gram]		
	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
1	528,7	501,2	515,0	43,44	40,79	42,11	82	81	82
2	518,7	514,2	516,5	43,10	42,41	42,76	83	82	83
3	505,4	518,5	512,0	40,69	41,77	41,23	81	81	81
4	536,6	543,7	540,1	43,80	44,45	44,13	82	82	82

Tabel 5.3.5 Productiegegevens 1996 klasse 2 en de totale productie

afd	stuks klasse 2 [aantal per m ²]			gewicht klasse 2 [kg m ⁻²]			gewicht klasse 1+2 [kg m ⁻²]			gewicht incl. neusrot ¹⁾ [kg m ⁻²]		
	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.
1	18,8	26,3	22,5	1,00	1,32	1,16	44,44	42,11	43,3	44,71	42,45	43,6
2	28,4	25,5	27,0	1,91	1,48	1,70	45,01	43,89	44,5	45,24	44,20	44,7
3	34,2	35,5	34,9	2,03	2,15	2,09	42,72	43,92	43,3	43,19	44,32	43,8
4	19,7	20,3	20,0	1,15	1,21	1,18	44,95	45,66	45,3	45,22	45,98	45,6

¹⁾ Neusrot valt niet binnen klasse 1 of klasse 2 maar is afval. Het wordt wel in de totale productie meegeteld zodat dan de laatste kolom ontstaat met de som van klasse 1 + klasse 2 + neusrot.

Tabel 5.3.6 Productiegegevens 1996 percentage klasse 2 en neusrot

afd	percentage klasse 2			percentage neusrot		
	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
1	2,2	3,1	2,7	0,6	0,8	0,7
2	4,3	3,3	3,8	0,5	0,7	0,6
3	4,7	4,9	4,8	1,1	0,9	1,0
4	2,5	2,6	2,6	0,6	0,7	0,7

In de tabellen 5.3.7 tot en met 5.3.9 zijn de productiegegevens van het teeltseizoen '96/97 weergegeven. Ook hier zijn er **geen statistisch significante verschillen** in productie tussen de verschillende behandelingen.

Tabel 5.3.7 Productiegegevens 1997 klasse 1

afd	stuks klasse 1 [aantal per m ²]			gewicht klasse 1 [kg per m ²]			vruchtgewicht klasse 1 [gram]		
	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
1	493,4	514,7	504,0	42,01	42,53	42,27	85	83	84
2	509,3	514,9	512,1	43,71	43,87	43,79	86	85	86
3	469,3	486,2	477,8	40,28	41,08	40,68	86	84	85
4	463,7	482,8	473,3	39,53	42,35	40,94	85	88	86

Tabel 5.3.8 Productiegegevens 1997 klasse 2 en de totale productie

afd	stuks klasse 2 [aantal per m ²]			gewicht klasse 2 [kg m ⁻²]			gewicht klasse 1 + 2 [kg m ⁻²]			totaalgewicht incl. neusrot [kg m ⁻²]		
	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.	nok	goot	gem.
1	66,7	65,1	65,9	3,77	3,46	3,62	45,78	45,99	45,9	46,10	46,40	46,3
2	50,0	55,2	52,6	2,86	3,00	2,93	46,57	46,87	46,7	46,90	47,15	47,0
3	48,7	48,7	48,7	2,86	2,70	2,78	43,14	43,78	43,5	44,05	44,44	44,2
4	55,2	53,3	54,2	3,23	3,16	3,20	42,76	45,51	44,1	43,62	46,01	44,8

Tabel 5.3.9 Productiegegevens 1997 percentage klasse 2 en neusrot

afd	percentage klasse 2			percentage neusrot		
	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
1	8,2	7,5	7,8	0,7	0,9	0,8
2	6,1	6,4	6,2	0,7	0,6	0,7
3	6,5	6,1	6,3	2,1	1,5	1,8
4	7,4	6,9	7,1	2,0	1,1	1,5

Een vergelijking van de totale productie uit beide teeltseizoenen laat zien dat er ook **geen significant verschil** in opbrengst en plantontwikkeling is tussen de oude en de verbeterde schermregeling. Uit de productiecijfers blijkt eveneens dat er ondanks het aanhouden van hoge RV-setpoints geen lagere productie ontstaat en in het gewas treedt geen noemenswaardige uitval door Botrytisaantasting op. Ook andere ziekten of plagen zijn niet geconstateerd.

5.4 CONCLUSIES

De toetsing van de schermstrategieën heeft bevestigd wat de simulaties al aangaven:

- De RV is goed te regelen met behulp van een schermkier en een raamkier
- De volgorde van regeling van scherm en raam heeft weinig invloed, maar energetisch gezien heeft eerst scherm een lichte voorkeur
- Een grotere maximale schermkier dan 4% (dit is 16 cm op elke 4 meter) heeft weinig zin omdat hierdoor de RV niet verder verlaagd wordt in de nacht.

Verder blijkt uit de toetsing opnieuw wat ook al uit eerder schermonderzoek door het PBG is gebleken:

- Een hoge RV in de nacht heeft geen nadelige gevolgen voor de gewasontwikkeling noch voor de productie.

6 Slotopmerkingen en aanbevelingen

Dit project kan beschouwd worden als de laatste etappe in het traject om te komen tot een verbeterde strategie voor het gebruik van energieschermen, met als doel zoveel mogelijk energie te besparen zonder dat er nadelige gevolgen voor productie en kwaliteit van het gewas optreden. De beschikbaarheid van een dergelijke strategie zal voor tuinders de drempel verlagen om daadwerkelijk energieschermen te gebruiken.

De laatste fase van het onderzoek naar optimaal schermgebruik heeft geleid tot de volgende conclusies:

- de ontwikkelde schermmodule voor het simulatiemodel KASPRO geeft het gedrag van temperaturen en luchtvochtigheden onder en boven een scherm in een praktijkkas goed weer mits de invoerparameters zijn aangepast aan de betreffende kas.
- volgens simulaties is de luchtvochtigheid in kassen goed te regelen door een combinatie van een kierregeling op het scherm en een kierregeling op de luchtingsramen bij buitentemperaturen van 10 °C en lager.
- de verschillen in energiegebruik tussen de keuze eerst scherm of eerst raam regelen zijn per m² en per jaar steeds kleiner dan 0,16 m³.
- bij een te hoge RV onder het scherm heeft het vergroten van de maximale schermkier boven 4% weinig effect op het RV-verloop omdat de luchtuitwisseling dan nog maar weinig toeneemt.
- ook bij hoge RV-setpoints (90% in de nacht en 85% in de nanacht) treden er geen problemen op met het gewas voor wat betreft productie en kwaliteit.
- er treden geen significante verschillen in opbrengst op tussen de behandelingen met hoge en lage RV in de nacht en nanacht.
- het energiegebruik is in de eerste plaats sterk afhankelijk van de gekozen RV-setpoints; hoe lager het RV-setpoint hoe hoger het energiegebruik.
- tijdens de toetsingsexperimenten te Naaldwijk werd in de periode december t/m mei door gebruik van schermen volgens de klassieke regeling ca. 28% op warmte bespaard en met de geoptimaliseerde regeling 37% ten opzichte van de situatie zonder scherm.
- op jaarbasis zal naar schatting door het gebruik van een energiescherm gedurende de nacht volgens de klassieke regeling ca. 20% worden bespaard en deze besparing kan met ca. 6% vergroot worden door schermkierregeling op RV toe te passen.

Voor de praktische toepassing van energieschermen in kassen kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Sluit het scherm 's nachts bij buitentemperaturen onder 10 °C.
- Zet schermkier bij te hoge kasluchttemperatuur op 2% (8 cm op elke 4 meter).
- Regel schermkier bij te hoge RV in stappen van ca. 0,33% met een wachttijd van 5 minuten open tot maximaal 4%.
- Blijft de RV te hoog regel dan nog met raam tot 4% maar open het scherm niet verder.
- Indien de RV dan in de nanacht nog te hoog blijft kan deze alleen nog verlaagd worden door meer ventilatie via de ramen. Om daarbij schade aan het scherm door wind te voorkomen, is het verstandig dan het scherm geheel te openen.

Literatuur

- Bakker**, J.C. (editor), 1993, 71pp. Luchtvochtigheid. Brochure Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, 104
- Bakker** J.C. en van Holsteijn, G.P.A., 1995. Screens. In: Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H. en van de Braak, N.J. (editors). Greenhouse Climate control: an integrated approach. Wageningen Pers, Wageningen, pp185-194.
- Balemans**, L., 1989. Assessment of criteria for energetic effectiveness of greenhouse screens. Rijksuniversiteit Gent, 157 pp.
- Breuer**, J.J.G., Van Weele A.M., Van Paassen A.H.C., 1991. Referentiejaar voor de Nederlandse glastuinbouw. *Klimaatbeheersing* 20(4), p, 110-113
- De Zwart**, H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.
- KWIN**, 1996, Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, 1995-1996, groenten, snijbloemen, potplanten. Informatie en Kennis Centrum, Afdeling Glasgroenten en bloemisterij, Aalsmeer/Naaldwijk
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak, Ana M. Silva and G. P. A. Bot, 1997^a. Analysis of airflow characteristics of greenhouse screens. *Journal Agr. Engng. Research* (in press).
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak, Ana M. Silva and G. P. A. Bot, 1997^b Physical modelling of natural ventilation through screens and windows in greenhouses. *Journal Agr. Engng. Research* (in press).
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak, Ana M. Silva and G. P. A. Bot, 1997^c. Forced fluid motion through openings and pores. accepted to be published in *Building and Environment*.
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak, Ana M. Silva, and G. P. A. Bot, 1997^d. Analysis of air exchange and internal pressure in enclosures induced by fluctuating outside pressures. accepted to be published in *Building and Environment*.
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak and G. P. A. Bot, 1997^e Modelling of transport phenomena near greenhouse screens, *Acta Horticulturae*, ISHS 97, Wageningen (The Netherlands, August of 1997).
- Miguel**, A.F., N. J. van de Braak, Ana M. Silva, and G. P. A. Bot, 1998^a Free convection heat transfer in screened greenhouses. *Journal Agr. Engng. Research* 69 p 133-139.
- Miguel**, A.F., 1998^b Transport phenomena through porous screens and openings; from theory to greenhouse practice. PhD Thesis Landbouw Universiteit Wageningen ISBN 90 5485 8435
- Plaisier**, H.F., 1992. Energy saving and climate improvement with thermal screens. *Acta Hort.*, 305: 63-64.
- Van de Braak**, N.J., Miguel, A.F., 1996. Optimaal schermgebruik in kassen; Fase 1 modelvorming processen, IMAG-DLO Nota P96-71, Wageningen.
- Van der Sluis**, B.J., Rijdsijk, A.A., Van Holsteijn, G.P.A. en Van der Velden, N.J.A., 1995. Het gebruik van energieschermen bij tomaat. LEI-DLO publicatie 4.138.
- Van der Velden**, N.J.A., B.J. Van der Sluis, en A.P. Verhaegh A.P., 1997. Energie in de glastuinbouw van Nederland; Ontwikkelingen in de sector en op bedrijven t/m 1996. LEI-DLO, Den Haag, Periodieke Rapportage 39-95.
- Van Holsteijn**, G.P.A., 1990. Schermen,: keuzefactoren, ervaringen en eigenschappen nader bekeken. *Vakblad voor de Bloemisterij*, 40:
- Van Holsteijn**, G.P.A., 1993. Luchtvochtigheid: Scherm kan helpen bij vochtregeling. In: *Luchtvochtigheid, Brochure PTG no. 104: 18-19.*

Bijlagen

BIJLAGE 1 EIGENSCHAPPEN SCHERM

	SLS10	SLS10 Ultra	in combinatie
optische eigenschappen			
ε (abs langg. str)	0,39	0,15	
reflektie	0,25	0,19	
transmissie	0,36	0,68	0,24 ¹⁾
fysische eigenschappen (Van de Braak en Miguel, 1996)			
permeabiliteit [m ²]	4,49 10 ⁻¹¹	0,06	1,60 10 ⁻¹¹ 1)
porositeit	2,48 10 ⁻¹¹	0,04	0,024 2)

1) berekend door vermenigvuldiging

2) berekend volgens sommeren van parallelle weerstanden ($1/R_{\text{tot}} = 1/R_1 + 1/R_2$)

BIJLAGE 2 KASSPECIFIEKE PARAMETERS

variabele	standaard waarde	beschrijving
Gewas:	tomaat	Soort gewas
A_Window:	2,49	Raamoppervlak van één raam [m ²]
fr_Window:	0,13	Aantal ramen per m ² [-]
leakage:	1.25 10 ⁻⁰⁴	Ventilatieterm bij gesloten ramen [m ³ /m ² /s]
Roofslope:	20	Dakhelling met horizontaal [graden]
GH_orient:	17,5	Hoek goot met zuiden [graden]
fr_SunAir:	0,1	Lichtonderscheppingsfactor constructie [-]
eps_ScrUp:	0,15	Langgolvlige emissiecoëff. bovenkant scherm [-]
eps_ScrDo:	0,39	Langgolvlige emissiecoëff. onderkant scherm [-]
tau_Scrlr:	0,24	Transmissie langgolvlige straling
perm_Scr:	5,20 10 ⁻¹²	Doorlatendheid scherm
a_cov:	0,05	a kasdek
tr_diff:	0,79	diffuse transmissie
glastype:	1	Glastype (1=enkel, 2=dubbel)
h_gutter:	4	Goothoogte [m]
A_vloer:	453	Vloeroppervlakte [m ²]
l_gevel:	23,8	Gevallengte [m]
A_pad:	96,5	Oppervlak pad [m ²]
d_nat:	0,047/0,025	Natte diameter pijp (ondernet/bovennet) [m]
d_pijp:	0,051/0,028	Droge diameter pijp (ondernet/bovennet) [m]
Pijp_Omtrek:	0,16/0,088	Omtrek pijp (ondernet/bovennet) [m]
N_strang:	12/6	Aantal strangen (ondernet/bovennet)
L_strang:	41/40	Stranglengte (ondernet/bovennet) [m][

BIJLAGE 3 SAMENSTELLING INPUTFILES

kolom	beschrijving	loc/afm	eenheid	naam model-variabele
1 t/m 4	datum en tijd			
5	Tdroog	1,5 m	[°C]	Tairg
6	Tnat	1,5 m	[°C]	-
7	dampspanning	1,5 m	[Pa]	VP_Ing
8	raamstand oost		[%]	Raamog
9	raamstand west		[%]	Raamwg
10	Taanvoer, buis		[°C]	Tb_aanvg
11	Taanvoer, groeibuis		[°C]	Tgb_aanvg
12	Tbuis	51 mm	[°C]	Tb_lusg
13	Tgroeibuis	27 mm	[°C]	Tgb_lusg
14	CO2			CO2g
15	schermstand		[%]	SCg
16	Tdroog boven		[°C]	Tair_bg
17	Tnat boven		[°C]	-
18	dampdruk boven		[Pa]	VP_bg
19	Tdroog laag		[°C]	Tair_og
20	Tnat laag		[°C]	-
21	dampdruk laag		[Pa]	VP_og
22	Tbuiten		[C]	T_Out
23	windsnelheid		[m s ⁻¹]	Windsp
24	globale straling		[W m ⁻²]	I_Glob
25	diffuse straling		[W m ⁻²]	I_Diff
26	dampdruk buiten		[Pa]	VP_Out
27	Themel		[°C]	T_Sky_4
28	Neerslag		[mm h ⁻¹]	Neerslag

BIJLAGE 4 TUNING MODEL VOOR ONGESCHERMDE KAS 209

Eerst zijn simulaties uitgevoerd voor afdeling 3 en 4 voor de eerste twee weken van januari 1996. In deze afdelingen werd gedurende deze periode niet geschermd. In eerste instantie zijn alleen de resultaten van de nachten waarbij de ramen dicht zijn, vergeleken met de metingen. Het resultaat was een vrij constant verschil tussen de gemeten en gesimuleerde temperaturen. Het model berekende een ca. 3°C lagere temperatuur. De meest voor de hand liggende oorzaken zijn een te kleine inkomende, een te grote uitgaande warmteflux in het model. De volgende aanpassingen van het model zijn getoetst:

- Dimensieloos maken van de kas.
- Verlagen van de lekventilatie tot een (irreële) waarde van $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Verminderen van de gewastranspiratie door middel van het aanpassen van het bladoppervlak van het gewas.
- Warmteoverdracht tussen kasdek en buitenlucht verlagen.
- Warmtestraling tussen kasdek en hemel verlagen.

Het dimensieloos maken is gebeurd door de gevellengte op nul te stellen. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het gevelnet zodanig is ontworpen dat het warmteverlies aan de gevel gecompenseerd wordt. Ook wordt een verwarmingsstrang extra gerekend voor zowel de aanvoerbus van het ondernet als het groeinet omdat deze niet langs de gevel lopen maar ongeveer een padbreedte van de gevel verwijderd zijn. Dit resulteert in een betere overeenstemming met de metingen. De overige aanpassingen hebben geen of nauwelijks effect op de temperatuur en vochtigheid en zijn dus niet doorgevoerd.

Vervolgens zijn met het aangepaste model opnieuw simulaties uitgevoerd waarbij nu dag en nacht bekeken werden. De modeltemperatuur bleek overdag $\pm 4^\circ\text{C}$ hoger te liggen dan de gemeten temperatuur. Hieruit blijkt dat de inkomende warmteflux te groot of de uitgaande warmteflux te klein is. Ook bestaat de mogelijkheid van een te geringe gewasverdamping in het model. De volgende aanpassingen zijn getoetst:

- verhogen lichtabsorptie kasdek,
- verhogen lichtonderscheppingsfactor constructie,
- verlagen transmissie diffuse straling,
- verhogen lekventilatie,
- vervroegen plantdatum gewas.

Het verhogen van de lekventilatie resulteerde 's nachts in een aanzienlijke verlaging van de temperatuur terwijl de temperatuur overdag ongewijzigd bleef. Het is echter niet redelijk parameters als deze te veranderen wanneer deze daarmee buiten hun reële bereik komen. Het juist berekenen van de temperatuur door het model bij gesloten ramen komt neer op het vinden van de juiste combinatie van gewastranspiratie en verwarmend oppervlak van het verwarmingsnet.

Het model berekent één temperatuur voor de gehele kasruimte. Deze kan een afwijking hebben van de temperatuur die gemeten is op de hoogte van de meetboxen. Gekeken is naar het verschil tussen de drie op verschillende hoogtes gemeten temperaturen. Dit verschil blijft in de periode zonder luchting onder de 0.3°C . Besloten is daarom deze temperaturen niet te middelen en de vergelijking te maken met de meetbox op 1,5 m hoogte.

De afwijkingen in maart-april 1996 correleren rechtstreeks met de instraling. In de meetgegevens kwamen regelmatig diffuse stralingshoeveelheden van 600 W m^{-2} voor. Uit een beschouwing van het SEL-jaar bleek dit een onmogelijk hoge waarde te zijn. Een aannemelijke verklaring voor het optreden van dergelijke hoge waarden schuilt in het feit dat een diffuse stralingsmeter een schaduwring wekelijks versteld moet worden in verband met de zonnestand. Wanneer dit vergeten wordt zal de diffuse straling gelijk worden aan de globale straling. In de datasets zijn de gemeten waarden voor de diffuse straling boven de 300 W m^{-2} vervangen door 300 W m^{-2} . Omdat in het model de directe straling wordt afgeleid uit de globale en diffuse straling wordt deze door deze aanpassing te hoog. Daarom is hiervoor een correctie toegepast.

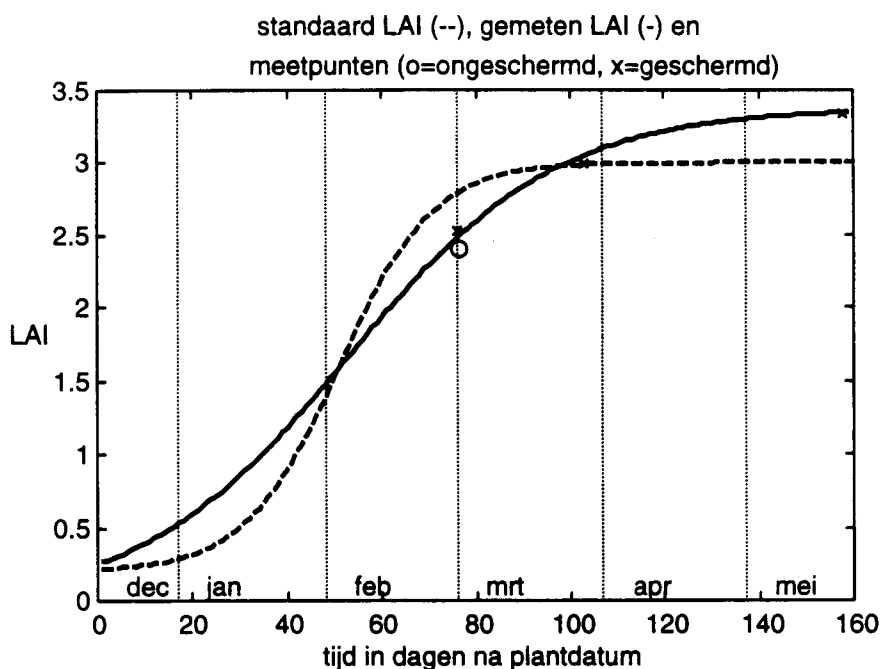
De gemeten en berekende temperaturen almede de relatieve vochtigheden van de ongeschermd afdelingen 2 en 3 kwamen hierna beter overeen. Wel treden momentaan afwijkingen op. Het model reageert bijvoorbeeld sneller op fluctuaties in buistemperaturen dan in werkelijkheid het geval is. Ophogen van de warmtecapaciteiten om dit te verbeteren had alleen tot gevolg dat een ongewenste faseverschuiving ontstond. Bij een daling van de buistemperatuur zakte de berekende RV zeer sterk terug terwijl in realiteit de relatieve luchtvochtigheid redelijk constant bleef.

KASPRO bevat een gewasgroei-module die de leaf area index (LAI) op elk tijdstip berekent. De uitkomsten daarvan bleken niet in overeenstemming te zijn met de gemeten LAI (tabel b4.1).

Tabel B4.1 Gemeten LAI periode 15 december '95 t/m 22 mei '96.

datum	scherm	LAI
15-12-95 (plantdatum)	ja/nee	0,25
1-3-96	nee	2,42
1-3-96	ja	2,52
28-3-96	ja	2,99
22-5-96	ja	3,33

Om deze reden is uit de gemeten LAI een kromme geconstrueerd die in de groeimodule is ingevoerd.

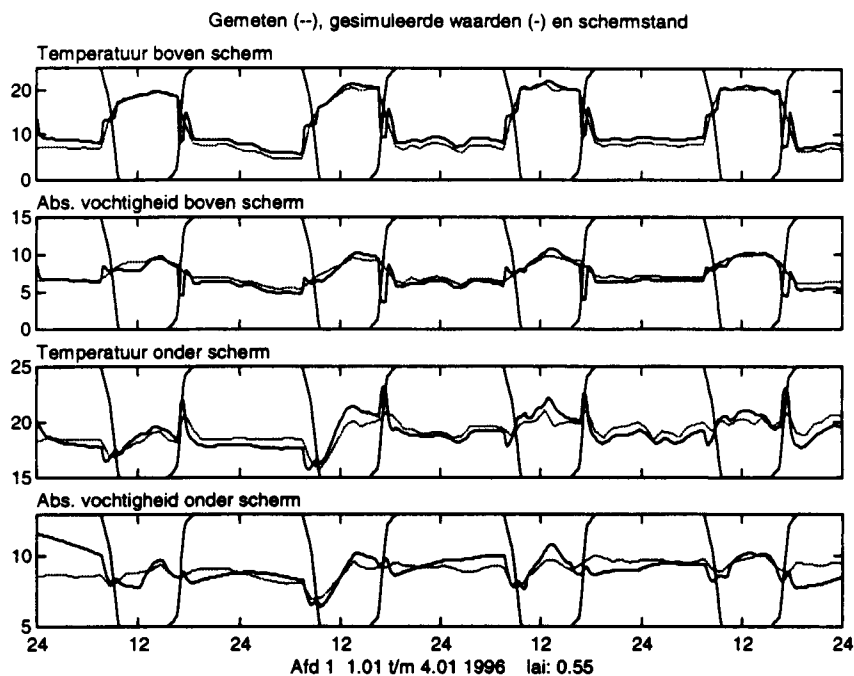


Figuur B4.1 Geconstrueerde LAI uit meetwaarden december 1995 t/m mei 1996

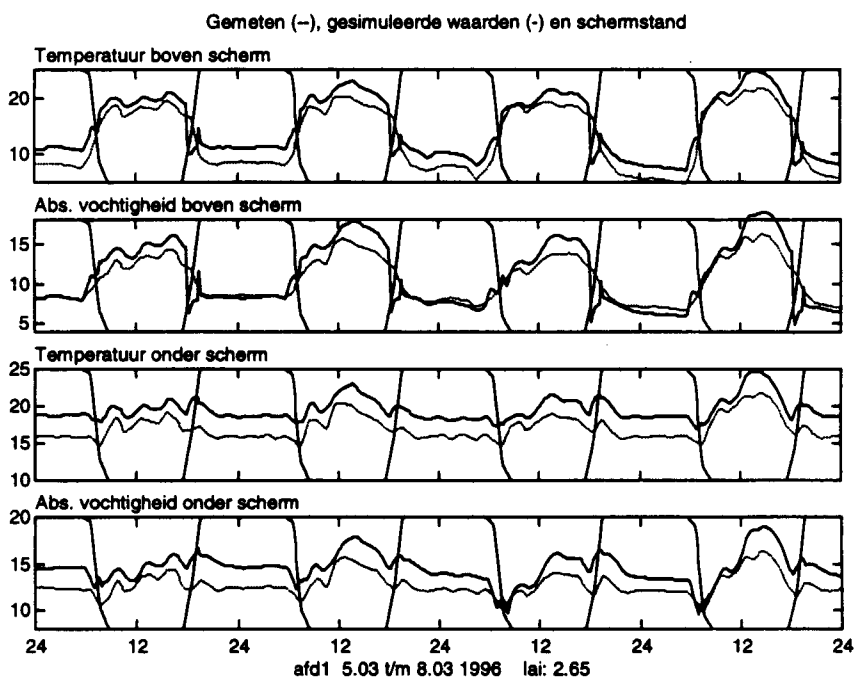
Na implementatie in het model bleek dat de verschillen in de periode februari-maart 1996 wat toenamen terwijl de verschillen in januari en april kleiner werden. Deze ontwikkeling was volgens verwachting.

In dit stadium kon worden vastgesteld dat het model voldoende was aangepast aan kas 209, zodat gestart kon worden met de evaluatie van de geschermdes afdelingen.

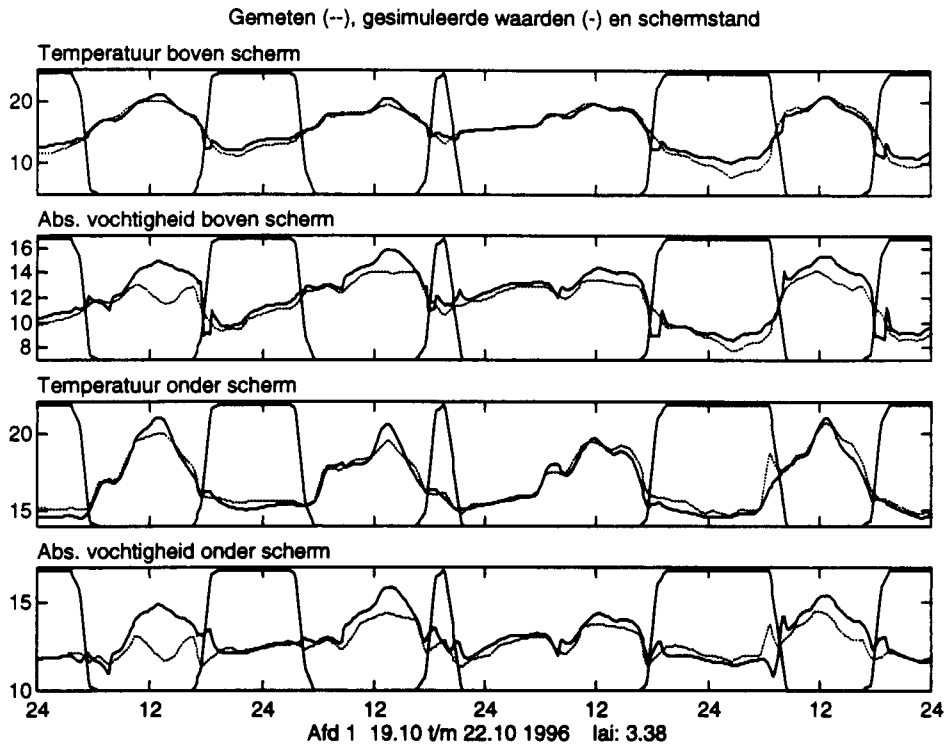
BIJLAGE 5 VERGELIJKING METINGEN EN SIMULATIES



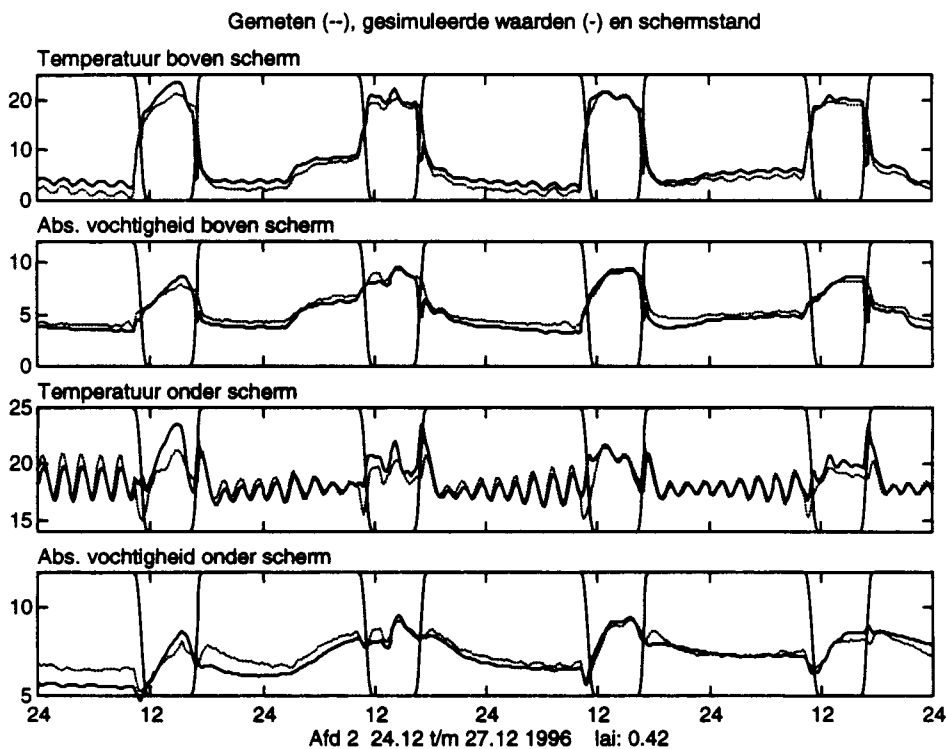
Figuur B5.1 Eerste vergelijking tussen model en metingen waarbij sprake is van schermen, gedurende de eerste 4 dagen van januari '96. De waarden komen goed overeen.



Figuur B5.2 Periode 5 t/m 8 maart '96; door toenemende stralingsfluxen ontstaat een afwijking tussen model en metingen gedurende meerdere weken.



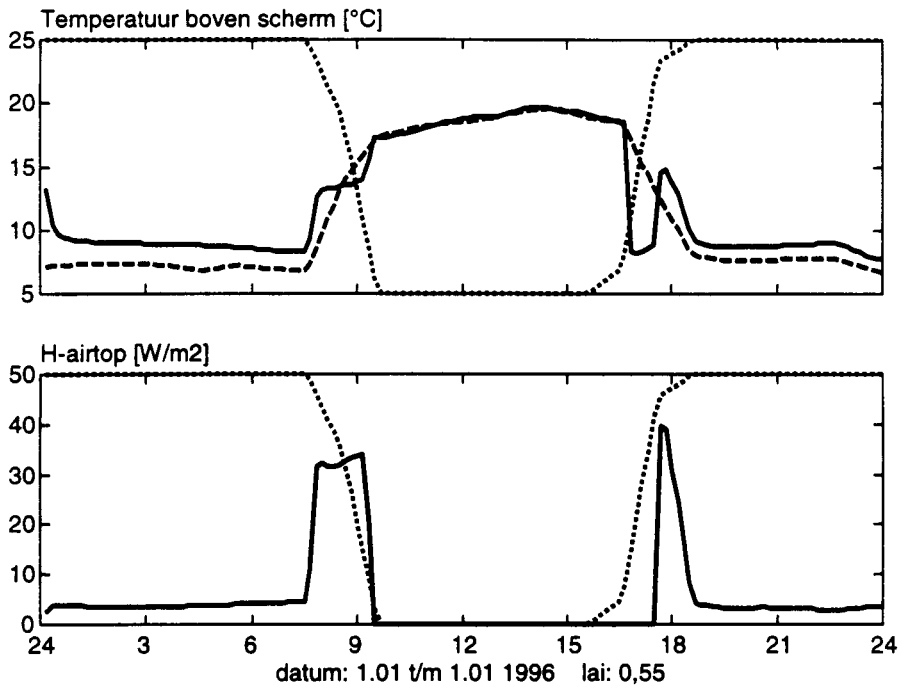
Figuur B5.3 Simulatie over de periode 19 t/m 22 oktober '96. Ook bij hogere relatieve luchtvochtigheid voldoet het schermmodel.



Figuur B5.4 Simulatie eind december '96 waarbij de stralingsfluxen, evenals de LAI zeer beperkt zijn waardoor de model- en meetwaarden zeer goed overeenkomen.

BIJLAGE 6 INSLINGER-EFFECT BIJ DICTLOPEN SCHERM

Gemeten (--), gesimuleerde waarden (-) en schermstand (..)



BIJLAGE 7 GEVOELIGHEIDSANALYSE PARAMETERS SCHERMMODULE

Uitgaande van de parameters voor de schermcombinatie SLS10 en SLS10-Ultra is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De berekeningen zijn gemaakt met de gegevens van afdeling1 uit de periode december 1996 – februari 1997.

De verschillen zijn berekend uit de gemiddelde temperatuur (T) en dampdruk (VP) onder het scherm over de gehele periode waarbij het scherm voor meer dan 92% gesloten is, voor en na variëren van de betreffende parameter.

Absorptie warmtestraling

De absorptie van warmtestraling door het scherm wordt bepaald door de emissiefactor aan beide zijden van het doek in de gevoeligheidsanalyse is eerst de emissiefactor aan boven- en onderzijde apart gevarieerd (tabel B7.1 resp. B7.2) en daarna aan beide zijden tegelijk (tabel B7.3).

Tabel B7.1 Gevoeligheid voor ϵ bovenzijde bij ϵ onderzijde=0,39

Referentie: Emissiefactor bovenzijde=0,15		
variatie	dT [°C]	dVP [%]
+50%	0,13	-0,76
-50%	-0,28	1,12

Tabel B7.2 Gevoeligheid voor ϵ onderzijde bij ϵ bovenzijde=0,15

Referentie: Emissiefactor onderzijde =0,39		
variatie	dT [°C]	dVP [%]
referentie+50%	0,15	0,77
referentie-50%	0,06	0,28

Tabel B7.3 Gevoeligheid voor ϵ onder- en bovenzijde

Referentie: Emissiefactor bovenzijde =0,15 en Emissiefactor onderzijde =0,39		
variatie	dT [°C]	dVP [%]
referentie+100%	-0,15	-1,48
referentie+50%	-0,01	-0,48
referentie-25%	0,21	1,02
referentie-50%	0,28	1,50

De effecten op temperatuur en dampdruk van de aangebrachte variaties zijn klein. Naarmate de absolute waarde dichterbij 1 of dichterbij 0 komt heeft de variatie een groter effect.

Transmissie warmtestraling

De doorlatendheid van warmtestraling door het scherm wordt bepaald door de transmissiefactor van het doek. In de gevoeligheidsanalyse is de transmissiefactor gevarieerd (tabel B7.4)

Tabel B7.4 Gevoeligheid voor transmissie warmtestraling

Referentie: transmissiefactor = 0,24		
variatie	dT [°C]	dVP [%]
referentie+100%	-0,45	-1,56
referentie+50%	-0,18	-0,66
referentie-50%	0,48	1,85

De resulterende verschillen in temperatuur en vochtigheid nemen toe als de transmissie naar nul nadert, de conclusie is overeenkomstig aan die bij de variatie in absorptie

Permeabiliteit

De permeabiliteit van een schermmateriaal is een grootheid die het verband tussen het drukverschil over het scherm en de luchtstroming er doorheen bepaald. Tijdens het eerste gebruik kan de

permeabiliteit van een scherm opgebouwd uit foliebandjes door beschadigingen met een factor 3,5 toenemen (Van de Braak en Miguel, 1996).

Tabel B7.5 Gevoeligheid voor permeabiliteit van het schermmateriaal

Referentie: $K = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$		
variatie	dT [°C].	dVP [%]
referentie *10	-1,33	-22,5
referentie * 5	-0,14	-4,53
referentie *0.1	0,80	12,9

Bij relatief kleine variaties naar boven (tot *5) blijven de resulterende verschillen in temperatuur en vochtigheid beperkt tot onder de 1%. Bij variaties naar beneden is de gevoeligheid groter.

Porositeit

De porositeit van een scherm is de verhouding van het open en dichte oppervlak van het materiaal. Het is dus een maat voor de hoeveelheid open ruimte

Tabel B7.6 Gevoeligheid voor de porositeit van het schermmateriaal

Referentie: Porositeit = 0.024		
variatie	dT [°C].	dVP [%]
referentie *20	0,13	0,43
referentie *10	0,13	0,44
referentie *5	0,13	0,44
referentie *0.1	0,32	3,52

De gevoeligheid voor variaties in de porositeit is klein. Bovendien geeft een aangenomen porositeit die 20 maal zo groot is als de uitgangswaarde, geen groter verschil in de temperatuur en vochtigheid dan een 5 maal grotere waarde.

Karakteristieke frequentie voor berekening effectief drukverschil

In de schermmodule is een parameter ' f_w ' als karakteristieke frequentie voor de berekening van het effectieve drukverschil over het scherm ingevoerd. Hieronder zijn de resultaten weergegeven van het variëren van deze parameter. De berekeningen zijn uitgevoerd met de gegevens van afdeling 1, uit de periode 18 febr tot 30 april 1997.

Tabel B7.7 Gevoeligheid voor de karakteristieke frequentie

Referentie: $f_w = 55 \text{ Hz}$		
variatie	dT [°C].	dVP [%]
referentie*2	0,08	0,19
referentie*4	0,09	0,34
0,5*referentie	numeriek instabiel	

Het effect op de temperatuur en dampspanning is zeer beperkt als de frequentie niet te laag (kleiner dan 50Hz) is.