

Isolerende werking van spouwschermen

Feije de Zwart en Bram van Breugel



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Referaat

De groep tuinders met kleinere kassen en een extensieve teelt zonder WKK kijken aan tegen snel oplopende kosten voor de verwarming van de kas. Tegelijkertijd hebben deze tuinders een beperkte investeringsruimte waardoor grondige renovaties van de kas om op energie te besparen niet haalbaar zijn. De vervanging van een enkele scherminstallatie door een spouwscherm zou hier een oplossing kunnen zijn. Er is natuurlijk extra schermdoek nodig en wellicht extra steundraden, maar geen extra aandrijf-motoren en stuur-uitgangen op de klimaatcomputer.

Er zijn een paar voorbeelden in de praktijk waar een spouwscherm toegepast is, maar hieruit kunnen niet zomaar conclusies worden getrokken ten aanzien van de behaalde energiebesparing omdat het verbruik niet kan worden vergeleken met een referentie.

Daarom is in dit project gebruik gemaakt van het kasklimaat simulatiemodel KASPRO, dat gevoed is met de isolatie-eigenschappen van enkele, dubbele en spouwschermen. De isolatie-eigenschappen zijn op een speciaal daartoe ontwikkeld meetapparaat bepaald, en de metingen op dit meet-instrument zijn vergeleken met de model-simulaties daarvan.

Dit project is gefinancierd door Kas Als Energiebron, het onderzoeksprogramma dat wordt ondersteund door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en LTO-Glaskracht Nederland.

Abstract

Growers with smaller greenhouses and extensive cultivation without CHP are facing rapidly rising heating costs. At the same time, these growers have limited possibilities for investments, making extensive refurbishing of their greenhouse to save energy unfeasible. Replacing a single screen system with a cavity screen could then be a solution. There are a few practical examples where a cavity screen has been used, but these do not allow for straightforward conclusions regarding the energy savings achieved because in general there were more factors changed compared to the reference than only the screen. Therefore, this project used the greenhouse climate simulation model KASPRO, which uses as input the insulation properties of single, double, and cavity screens. The insulation properties were determined using a specially developed measuring device.

The project is funded by Kas Als Energiebron, a research program supported by the Ministry of Agriculture Fisheries, Food security and Nature, Glastuinbouw Nederland and Foundation Kijk.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1521

Projectnummer: 3742363300

DOI: <https://doi.org/10.18174/706304>



Kijk | Kennis in je Kas
VOOR EEN DUURZAME VOEDSELPROEF



KAS ALS
ENERGIEBRON



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Disclaimer

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research

Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 56 06

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Rapportages over spouwschermen	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Korte samenvatting van publicaties m.b.t. spouwschermen	8
2.3 Conclusie	9
3 De TransHumid Box	10
3.1 Inleiding en meetprincipe	10
3.2 TransHumid metingen bij verschillende spouw configuraties	14
4 Uitgangspunten voor jaarrond prestaties	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Energiebesparing door een spouwscherm in drie teelten	18
4.2.1 Selectie van een representatief jaar	18
4.2.2 Beschrijving van de drie teelten	19
5 Energiebesparing door dubbele doeken	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Verdubbeling van doeken in één schermstelsel	25
5.3 Een extra doek, samen met een extra schermstelsel	26
6 Conclusies	28

Samenvatting

In deze studie is onderzocht hoe spouwschermen kunnen bijdragen aan een betere isolatie van kassen. Een spouwscherm bestaat uit twee schermdoeken die binnen één schermstelsel op enige afstand van elkaar zijn geplaatst, waardoor een isolerende luchtlaag ontstaat. De belangrijkste conclusie is dat wanneer een tweede doek op een duidelijke afstand (bijvoorbeeld circa 4 cm) van het eerste doek wordt aangebracht, de isolatie-waarde van dit spouwscherm vergelijkbaar is met die van een volledige extra scherminstallatie.

Het gebruik van de term 'vergelijkbaar' is bewust gekozen, omdat het meten van warmtedoorgang door schermdoeken technisch lastig blijkt. Ondanks uitgebreide metingen met verschillende combinaties van doeken, spouwafstanden en meetcondities blijft er een aanzienlijke onzekerheidsmarge bestaan. Wel konden duidelijke trends en significante verschillen worden vastgesteld. Zo bleek dat twee doeken die plat op elkaar liggen al een betere isolatie geven dan één enkel doek. Het aanbrengen van een spouw tussen deze doeken gaf een duidelijke verhoging van de isolerende werking.

Verskillende spouwafstanden (2, 4 en 6 cm) zijn met elkaar vergeleken. Hoewel het verschil in gemeten warmtedoorgang bij deze verschillende afstanden niet statistisch significant was, liet de trend zien dat een spouw van 4 cm beter isoleert dan 2 cm. Een verdere vergroting naar 6 cm leverde nauwelijks extra isolatie op. Daarom wordt geconcludeerd dat een extra doek uitgevoerd als spouwscherm qua isolatiewaarde gelijkgesteld kan worden aan een extra scherminstallatie.

Het belangrijkste verschil tussen een extra doek als spouwscherm en een extra doek in een afzonderlijk schermstelsel zit niet in de isolatie, maar in de kosten en de regelmogelijkheden. Bij aparte schermssystemen kunnen doeken met verschillende eigenschappen worden toegepast, zoals transparantie, verduistering of vochtdoorlatendheid. Ook kunnen de doeken onafhankelijk van elkaar worden aangestuurd. Wanneer beide doeken gesloten zijn, is de isolerende werking echter gelijk aan die van een spouwscherm. Voor kassen met slechts één schermstelsel betekent de toepassing van een spouwscherm dat de kas zich thermisch gedraagt als een kas met een dubbele scherminstallatie waarbij de schermen altijd tegelijk aangestuurd worden.

In een belichte tomatenkas leidt dit tot een verlaging van de warmtevraag met circa 9% (2,5 m³ gas per m² per jaar). In een onbelichte paprikateelt resulteert een transparant spouwscherm in een besparing van ongeveer 5% (1,2 m³ per m² per jaar). Hierbij is rekening gehouden met het vaker openen van het scherm overdag om lichtverlies te compenseren. In de gerberateelt levert een verduisteringsscherm als spouwscherm eveneens een besparing van circa 5% op (1,1 m³ per m² per jaar). Wanneer het extra doek niet als spouwscherm wordt uitgevoerd, maar plat op het bestaande doek wordt gelegd, zijn de energiebesparingen kleiner. Voor tomaat, paprika en gerbera bedragen deze respectievelijk 0,3, 0,5 en -0,9 m³ per m² per jaar. De negatieve besparing bij de paprikateelt komt, doordat de verminderde lichtdoorlatendheid van het dubbele (transparante) schermdoek betekent dat het scherm overdag eerder geopend moet worden om over het voorjaar op een vergelijkbare lichtsom uit te komen.

Hoewel spouwschermen dus een duidelijke verbetering bieden, is de energiebesparing duidelijk groter wanneer het extra doek in een apart schermstelsel wordt geplaatst. Het is dan feitelijk geen spouwscherm meer, maar een extra scherm. Doordat het een extra scherm is met een extra besturing wordt de keuzevrijheid in doektypen vergroot en kunnen de doeken selectiever worden ingezet. Berekeningen geven aan dat dit resulteert in besparingen op de warmtevraag van 15% in tomaten- en gerberateelt en circa 9% in de paprikateelt. In alle berekeningen meegenomen dat door trendmatige stijging van de buitentemperaturen de absolute warmtevraag in de toekomst lager wordt. De genoemde besparingspercentages zijn in absolute zin dus een beetje minder dan wanneer uitgegaan zou worden van de gemiddelde warmtevraag van de afgelopen jaren.

1 Inleiding

Kleinere tuinders met een onbelichte teelt zonder WKK kijken aan tegen snel oplopende kosten voor de verwarming van de kas. De geleidelijke afbouw van de fiscale vrijstelling voor energiebelasting betekent dat rond 2030 de energiekosten voor kleine tuinders ongeveer verdubbelen. Ook tuinders met een WKK krijgen te maken met fors hogere energiekosten.

Naast de kosten speelt de warmtevraag van kassen ook een rol in de beeldvorming. Daar waar overal verbetering van de isolatie wordt gepropageerd kan de tuinbouw niet achterblijven. Verlaging van de warmtevraag is dus hoe dan ook in toenemende mate belangrijk.

In het kader van de verlaging van die warmtevraag, of liever gezegd, de verlaging van het gasverbruik van kassen, zijn er tal van opties. Met grote investeringen, zoals de installatie van ontvochtiging en warmtepompen kan het energieverbruik flink worden verlaagd, maar er zijn ook stappen te nemen die kleinere investeringen vergen. Deze zullen in de regel in absolute zin minder opleveren maar zijn vanwege de kleinere financiële lasten voor tuinders in het segment 'kleine bedrijven zonder WKK' eerder behapbaar. En zolang ook deze kleinere investeringen renderen zijn ook deze maatregelen kansrijk.

De vervanging van schermen door een spouwscherm is één van de maatregelen in de categorie 'kleine verbeteringen tegen relatief geringe kosten'. Een spouwscherm kan van een enkelvoudig scherm een dubbel scherm maken zonder dat er een extra aandrijf-motor en stuur-uitgangen op de klimaatcomputer nodig zijn. Ook is het ruimtebeslag van een spouwscherm klein ten opzichte van een dubbele scherminstallatie. Er is natuurlijk wel extra schermdoek nodig en mogelijk extra steundraden.

Spouwschermen zijn niet nieuw en al in een paar onderzoeksrapporten beschreven. Echter, de gepubliceerde resultaten geven nauwelijks energiebesparingsfeiten. Verschillende keren wordt het verschil genoemd ten opzichte van geen scherm, of is de gerealiseerde besparing het gevolg van een combinatie van aanpassingen aan een compleet scherm-systeem. Bovendien leveren de rapporten alleen voorbeelden voor een belichte Chrysantenteelt (Vanthoor, 2018) en een onbelichte komkommerteelt. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de rapportages over ervaringen met een spouwscherm.

Idealiter zou het besparingseffect van een spouwscherm onderzocht moeten worden door twee kasafdelingen te vergelijken waarin alles zoveel mogelijk hetzelfde is, behalve het schermstelsel. Dit is echter duur en tijdrovend en daarom wordt in dit project gebruik gemaakt van het kasklimaat simulatiemodel KASPRO om met beperkte middelen een zo goed mogelijke berekening uit te voeren naar het effect van een spouwscherm onder verschillende omstandigheden. Hiertoe moet het simulatiemodel worden voorzien van betrouwbare data over de isolatiegraad van een spouwscherm, in vergelijking tot een enkelvoudig scherm. Ten behoeve van dit project zijn die isolatie-eigenschappen voor een regulier energiescherm en een regulier verduisteringsscherm gemeten met een speciaal hiervoor ontwikkeld meetinstrument, de TransHumid box. Met dit instrument is de warmte- en vochtdoorgang door een schermstelsel bestaande uit een enkelvoudig scherm en van spouwschermen met verschillende spouwdiktes gemeten. Ook is de warmtedoorgang bij verschillende luchtvochtigheden gemeten omdat deze bij een hoge vochtigheid duidelijk groter is dan in droge kaslucht-omstandigheden.

Hoofdstuk 3 bespreekt het meetinstrument en de daarmee behaalde isolatiewaardes.

De isolatiewaarde zoals bepaald met de TransHumid vereist echter nog een belangrijke vertaalslag om dit te kunnen vertalen naar het jaarrond besparings-effect. Immers, er zijn koude en minder koude periodes in het jaar. Soms kunnen schermen helemaal dicht gehouden worden en realiseren ze de hoogste warmtebesparing, maar soms moeten ze ook op een kier getrokken worden om overtollig vocht of overtollige warmte af te voeren. Tijdens warmere periodes en tijdens momenten dat het scherm moet kieren is het besparingseffect uiteraard minder. Besparing door schermen zullen groter zijn als het koud is dan als het warm is. In hoofdstuk 4 wordt daarom ingegaan op de trendmatige toename van de buitentemperatuur, waardoor het absolute energieverbruik van kassen sowieso afneemt, ook als er geen maatregelen worden genomen. In hoofdstuk 5 wordt het buitenklimaat gecombineerd met teelteisen en scherm-configuraties om tot jaarrond energieverbruikscijfers voor de verschillende schermssystemen te komen. Hierbij worden drie teelten als voorbeeld gebruikt, te weten een belichte tomatenteelt, een belichte gerberateelt en een onbelichte paprikateelt.

Hoofdstuk 6 beschrijft de conclusies.

2 Rapportages over spouwschermen

2.1 Inleiding

Onder een spouwscherm wordt een schermstelsel verstaan waarin twee doeken aan één meeneem-profiel zijn bevestigd die daardoor altijd tegelijk open of dicht lopen. Om de schermdoeken een stukje uit elkaar te houden (2-4 cm) zijn er extra steundraden gemonteerd.

Een zoekactie in publicatie-databases leverde de volgende lijst met rapportages op:

2.2 Korte samenvatting van publicaties m.b.t. spouwschermen

Gerbera: maximale isolatie en lichtonderschepping - De invloed van een spouwscherm, lichtsom, daglengte in winter, balans licht-temperatuur en bladsnoei in winter op productie, kwaliteit en energiegebruik. N. García *et.al.* 2017, Rapport WPR-698

In dit project is het spouwscherm als standard-systeem in alle proefafdelingen toegepast en is er dus geen referentie-afdeling waar het verduisteringsscherm bestaat uit twee 'plat' op elkaar gelegd doeken. Het plat op elkaar leggen van schermdoeken wordt vaak toegepast bij verduisteringsdoeken om de licht-doorlaat van zulke doeken verder te beperken en is in de Gerbera-teelt heel gebruikelijk. Qua verduisterende werking vermeldt het rapport dat de uitvoering als spouwscherm tot iets meer licht-doorlaat leidt (rond de 1.5% in plaats van de 0.5% bij plat op elkaar liggende dubbele doeken).

Een energiebesparingseffect kon vanwege de proefopzet niet bepaald worden, maar aangezien Gerbera in de winter bij vrij lage temperaturen geteeld wordt en er naast het verduisteringsdoek nog een tweede schermstelsel aanwezig was werd in de conclusies gesteld dat er slechts een zeer beperkt besparingseffect te verwachten was. Wel werden de lage waarden van het netto stralingsverlies ('s nachts variërend tussen 3 W/m² stralingswinst en 6 W/m² stralingsverlies) aan het gebruik van een dubbel scherm toegeschreven.

Energiebesparing door een spouw in het verduisteringsscherm bij Chrysant, B.H.E. Vanthoor en I. Tsafaras, 2018, Rapport WPR-814

Aangezien dit project de teelt van Chrysant betrof is de referentiesituatie een situatie met een verduisteringsdoek bestaande uit plat op elkaar liggende doeken. Ten opzichte van deze referentie stond een afdeling waarin het verduisteringsdoek als spouwscherm was uitgevoerd, maar daarnaast was er ook een 2^e scherminstallatie gebruikt met een transparant doek. Er werd een besparing van 6.3% op de warmtevraag gemeten. Deze besparing is klein aangezien de isolatiewaarde van de kas door de aanpassingen aan de schermstelsels 44% beter was. Deze discrepantie komt doordat warmte-input in deze chrysantenteelt slechts deels door de warmtevraag bepaald wordt. Het overgrote deel van de warmte wordt in de vorm van een minimumbuis toegediend en heeft dus te maken met de vochtbeheersing.

Voor die uren in het jaar dat de warmtevraag wél door de temperatuur-regeling werd bepaald kon worden vastgesteld dat 2/3 van de gerealiseerde besparing door het transparante doek dat als 2^e schermstelsel was aangebracht werd gerealiseerd. 1/3 van de gerealiseerde besparing kwam door de uitvoering van het verduisteringsdoek als spouwscherm.

Het Nieuwe Telen Paprika 2.0, L. Helmus-Schuddebeurs, 2017

(https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/20047_Eindrapport_HNT_Paprika_2.0.pdf)

In dit experiment is een kasafdeling gebruikt met een dubbel schermstelsel (twee mechanieken). In twee opeenvolgende jaren is hier een onbelicht paprikagewas geteeld waarbij in het tweede jaar het onderste schermdoek was vervangen door een spouwscherm. Als de schermen gesloten waren lagen er in het eerste jaar dus twee transparante doeken boven elkaar en in het 2^e jaar drie.

In beide jaren is er zeer intensief geschermd (3600 – 4100 uur per jaar volledig gesloten schermen) en is er geen gebruik gemaakt van een minimumbuis.

Het isolerende effect van het feit dat het onderste scherm in het tweede jaar als spouwscherm was uitgevoerd is berekend door voor beide jaren de warmtevraag per graad temperatuurverschil tussen binnen en buiten te berekenen. De conclusie was dat de ombouw van het onderste scherm tot spouwscherm de warmtevraag met 10% verlaagd had.

Met een spouwscherm uniforme kasttemperatuur in de praktijk, S. van Dijk en P. van Weel, 2020,
(https://www.kasalsenergiebron.nl/content/user_upload/Spouwscherm_Peter_van_Weel.pdf)

Deze rapportage betreft metingen aan een spouwscherm bij een onbelichte komkommerteelt.

Het spouwscherm bestaat uit twee Luxous 1147 doeken die op een onderlinge afstand van 4 cm in een enkelvoudig scherm-mechaniek zijn gemonteerd.

Vanuit de grafieken van twee opeenvolgende nachten waarin het temperatuurverschil tussen binnen en buiten rond de 8 °C lag en waarbij de ene dag het scherm niet gesloten was en de andere dag het spouwscherm wel gesloten was kan worden afgeleid dat de energiebesparing die het scherm realiseert ongeveer 40% bedraagt. Dit is berekend door voor beide situaties de U-waarde te berekenen.

Aangezien het hier om de vergelijking tussen een spouwscherm en geen scherm gaat is de genoemde 40% besparing erg laag. De typebenaming van het scherm (Luxous 1147) geeft aan dat de momentane besparing van een enkelvoudig doek volgens opgave van de fabrikant al 47% zou zijn. De momentane besparing van twee doeken boven elkaar zou dan in de orde van $1 - (1 - 0.47)^2 = 72\%$ moeten liggen.

Maar naast de opvallend lage waarde zegt deze gerapporteerde energiebesparing niet zoveel over het besparingsperspectief op jaarbasis omdat er naast uren waarop het scherm gebruikt wordt er ook veel uren zijn waarop het scherm niet gebruikt wordt.

Naast deze rapporten zijn er ook verschillende publicaties te vinden onder het trefwoord 'Cavity screen', maar dit betreffen vooral leaflets van commerciële bedrijven die aangeven dat het spouwscherm energie bespaart, maar dit niet verder kwantificeert.

2.3 Conclusie

Uitgaande van publicaties in Nederlandse (Edepot van Wageningen UR, publicaties van Kas Als Energiebron) en internationale literatuur-databases (Google scholar) is er nauwelijks kwantitatieve informatie over het perspectief van een spouwscherm. Wel wordt er algemeen onderschreven dat meerdere schermlagen boven elkaar de isolatiegraad van kassen verhoogt, maar dit wordt niet in verband gebracht met de afstand tussen de schermen of de mate van afdichting tussen schermsysteem en constructie. Het zijn deze aspecten die een spouwscherm anders maken dan dubbele schermsystemen en daarom is de analyse die voor dit rapport is uitgewerkt en gepubliceerd informatief en relevant.

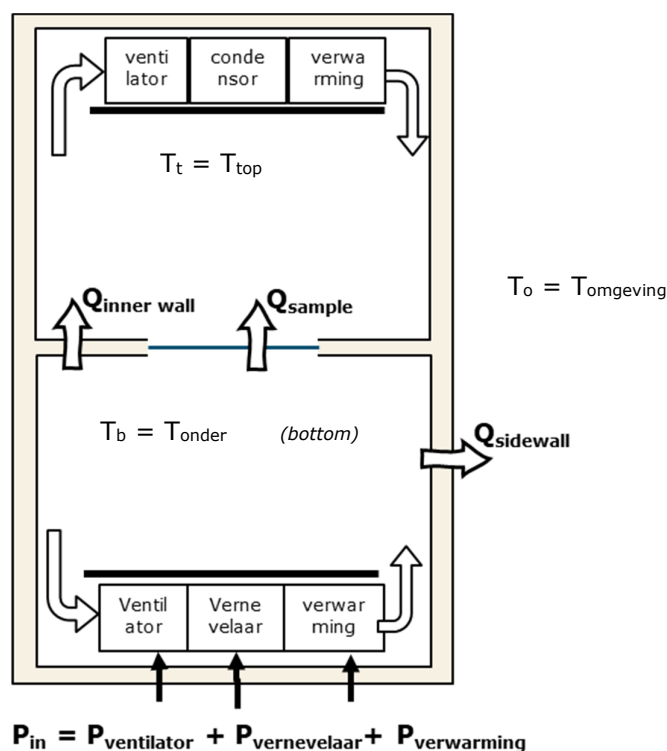
3 De TransHumid Box

3.1 Inleiding en meetprincipe

De TransHumid is een meetinstrument om het vochttransport door schermen te meten bij condities die relevant zijn voor de glastuinbouw. Het meetsysteem bestaat uit twee goed geïsoleerde ruimten van elk een m^3 inhoud met elk een luchtconditioneringssysteem. De ruimten zijn geïsoleerd ten opzichte van de omgeving en ten opzichte van elkaar. In de isolerende, horizontale wand ten opzichte van elkaar zit een "gat" van 50x50 cm, waarin de materialen waarvan de isolerende eigenschappen gemeten worden geplaatst kan worden (glas, schermdoek, een combinatie van schermdoeken, folies of andere materialen).

De onderste ruimte kan worden verwarmd en bevochtigd en de bovenste ruimte kan worden gekoeld en óntvochtigd. De meetopstelling staat in een laboratorium-ruimte die op een constante temperatuur van 15°C geregeld wordt.

Door te meten hoeveel verwarmingsvermogen er nodig is om een bepaald temperatuur- en vochtverschil tussen het onderste en bovenste compartiment in stand te houden kan de warmte-doorgang worden bepaald.



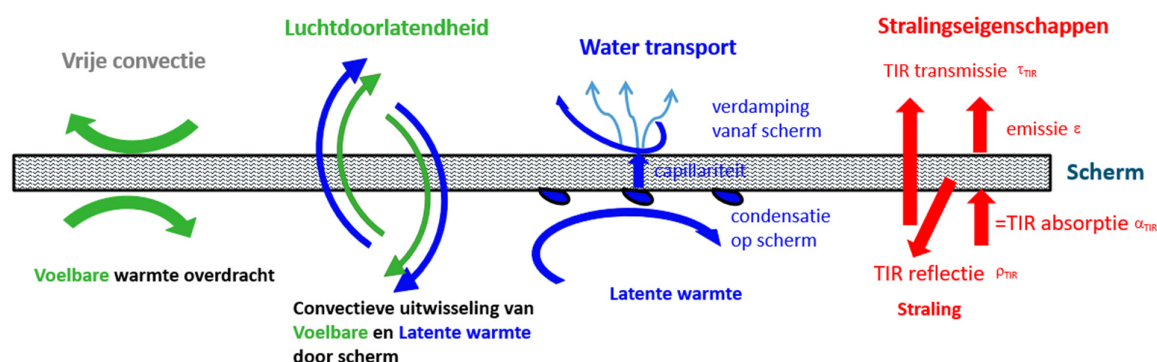
Figuur 3.1 Schematische weergave van de TransHumid met de verwarmingsbronnen in het ondercompartiment en de koeler/ontvochtiger (+naverwarming) in het bovencompartiment.

Als het bovenste compartiment op een lagere temperatuur gehouden wordt dan het onderste compartiment dan zal er constant verwarmingsenergie aan het onderste compartiment moeten worden toegevoerd. Deze energie-input komt van een verwarmingselement waarvan het vermogen wordt geregeld om de temperatuur in de onderste ruimte (T_b) constant te houden. Daarnaast zit er in het onderste compartiment een ventilator die op laag toerental draait, maar desalniettemin stroom verbruikt en dus warmte genereert. En tenslotte is er een vernevelaar die door middel van een trillend plaatje micro-druppeltjes maakt.

Dit trillende plaatje gebruikt ook stroom. De totale warmte-input in het onderste compartiment is de som van het elektriciteitsverbruik van deze drie apparaten.

Door het stroomverbruik te meten dat nodig is om een bepaald temperatuurverschil tussen onderste en bovenste compartiment in stand te houden kan de warmtedoorgang en een warmteweerstandscoefficiënt worden bepaald.

Die warmtedoorgang is altijd een combinatie van geleiding, convectie en straling. Voor schermen met grotere openingen komt daar nog een term bij via bulk-transport (luchtuitswisseling) door het scherm. En in een tuinbouw-situatie speelt daar nog bij dat niet alleen de doorgang van voelbare warmte relevant is, maar ook de doorgang en/of conversie van latente warmte (waterdamp) een rol speelt. Zelfs als het materiaal niet vocht-doorlatend is, zoals glas of ongeperforeerd folie, speelt waterdamp een rol omdat condensatie van vocht wat in het onderste compartiment verdampt tegen het glas of scherm(folie) tot een grotere effectieve warmte-overdacht leidt. Immers, bij de condensatie van vocht komt warmte vrij, waardoor het oppervlak warmer wordt en daardoor aan de bovenkant meer warmte zal verliezen. Daarnaast druppelt het gecondenseerde vocht af en valt op de grond. Daar zal het opnieuw verdampen en bij dat verdampen onttrekt het energie aan de lucht in de onderste ruimte, en vraagt dat dus extra verwarmingsvermogen. Onderstaande schets toont de verschillende processen die rond de energie-uitwisseling plaatsvinden.



Figuur 3.2 Schematische weergave van de warmte- en vochtuitwisselingsprocessen rond een schermmateriaal.

De TransHumid box meet in principe de totale warmte doorgang door het scherm (of ander materiaal) en het aandeel van het vocht-transport daarin. Wanneer dit onder verschillende omstandigheden wordt gedaan (groot temperatuurverschil (20 °C), kleiner temperatuurverschil (10 °C), een hoge en een lage luchtvochtigheid in het onderste compartiment (90% en 70% RV)) kan inzicht worden verkregen in de rol van de verschillende processen in het geheel. De naam van het instrument (TransHumid) geeft aan dat het daarbij met name gaat om het aandeel van de vochtuitwisseling, maar de nauwkeurigheid van de meting van de warmte-doorgang maakt het apparaat ook geschikt om de warmte-doorgang in het algemeen te bepalen. En voor het project 'Spouwschermen' kan het apparaat worden gebruikt om te kijken naar het verschil in warmtedoorgang bij gebruik van een enkel schermdoek in vergelijking met vergeleken met de warmte-doorgang wanneer er twee van deze doeken plat op elkaar worden gelegd of met een kleinere of grotere spouw.

Metingen met de TransHumid box nemen lange tijd in beslag omdat het 1 tot 2 uur duurt voordat er constante temperatuur en vochtcondities in onder en bovencompartiment zijn ontstaan. En vanaf het moment dat er constante condities heersen wordt er de totale warmte- en vochtstroom over een lange tijd gemeten (typisch 10 uur) om voldoende resolutie en nauwkeurigheid te verkrijgen. De lange tijd is vooral nodig om het vocht-aandeel nauwkeurig te kunnen meten. Dicht geweven doeken of schaars geperforeerde folies transporteren onder typische kas-condities minder dan 20 gram per m² per uur en in dit geval dus maximaal in de orde grootte van 5 gram per uur (want het gat is slechts 50x50 cm). In 10 uur tijd wordt er in dat geval slechts 50 gram door de ontvochtiger verzameld, wat een nauwkeurige weegschaal vereist en vooral ook tijd om de vertraging die optreedt doordat condensatiedruppels onderweg van condensator-oppervlak naar weegschaal een tijdje kunnen blijven hangen.

En voor niet vocht-doorlatende materialen duurt het een tijd voordat er een evenwichtssituatie tot stand is gekomen waarbij het vocht in het onderste compartiment in een balans is gekomen tussen afdruppelen vanaf het sample en opnieuw verdampen van dat vloeibaar water.

In de uiteindelijke evenwichtssituatie geldt de onderstaande energiebalans

$$P_{in} = P_{doorSample} + P_{naarOmgeving} + P_{langsSample}$$

Van deze drie is $P_{doorSample}$ de warmtestroom waar het om gaat, maar omdat het oppervlak waarover $P_{naarOmgeving}$ warmte verliest (in Figuur 3.1 weergegeven met $Q_{sidewall}$) relatief groot is, is dit verlies zeker niet verwaarloosbaar. De warmte-uitwisseling langs het te meten materiaal $P_{langsSample}$ (in Figuur 3.1 weergegeven met $Q_{inner\ wall}$) is meestal relatief klein, maar bij gebruik van spouwschermen met een behoorlijk hoge isolatiegraad wordt deze warmtestroom toch ook belangrijk omdat het oppervlak 3x groter is dan het sample oppervlak.

Om een indicatie te geven voor de ordegrottes van deze warmtestromen:

Bij meting aan 'gebruikelijke kascondities' wordt het ondercompartiment op 20 °C, 90% RV geregeld en het bovencompartiment op 10 °C, 60% RV. Als er dan een gebruikelijk energiescherm in het 'gat' van de Transhumid wordt gelegd komt de warmtedoorgang door het sample rond de 20 W te liggen, de warmte-doorgang langs het sample op 4.2 W en de warmte-doorgang naar de omgeving op 13.5 W. De basis-warmtevraag is dus van dezelfde ordegrootte als de warmtedoorgang door het sample, zodat hiervoor uitdrukkelijk gecorrigeerd moet worden.

Uitgebreide metingen aan de TransHumid box hebben uitgewezen dat $P_{naarOmgeving}$ en $P_{langsSample}$ met een grote nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid kunnen worden berekend uit:

$$P_{naarOmgeving} = 2.63 * (T_{onder} - T_{omgeving})$$

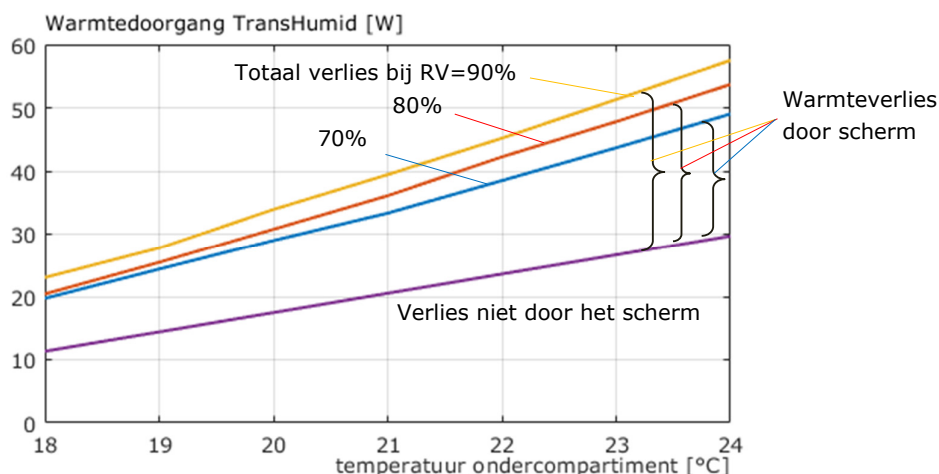
en

$$P_{langsSample} = 0.418 * (T_{onder} - T_{top})$$

zodat $P_{doorSample}$ nauwkeurig kan worden uitgerekend.

Onderstaande grafiek toont als voorbeeld de gemeten totale energiestroom vanuit het onderste compartiment wanneer er een standaard energiescherm in het gat wordt geplaatst. De temperatuur en luchtvochtigheid van het bovenste compartiment is constant gehouden ($T_{top} = 10$ °C en $RV_{top} = 60\%$) en de omgeving van de TransHumid box is 15 °C.

De totale warmtestroom is het totaal van het verlies naar de omgeving en het verlies door het schermmateriaal.

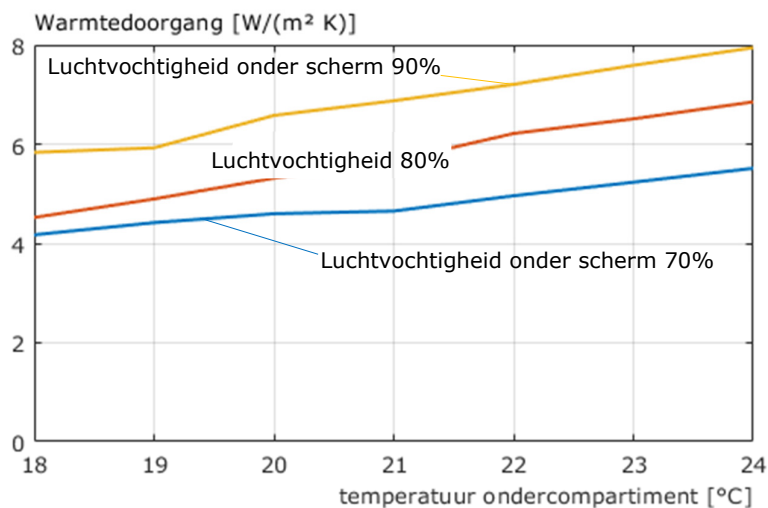


Figuur 3.3 Gemeten totale warmte-doorgang van een schermmateriaal met de TransHumid box bij verschillende temperatuur en luchtvochtigheid van het ondercompartiment, bij constante condities in het top-compartiment (10 °C, 60% RV).

Als het (berekende) warmte-verlies naar de omgeving (onderste stuk in de grafiek) wordt afgetrokken van de totale warmtedoorgang weten we de warmtedoorgang door het sample.

Dit kan vervolgens worden omgerekend tot een U-waarde, een warmtedoorgangscoefficiënt.

Deze warmtedoorgangscoefficiënt wordt getoond in Figuur 3.4. Deze figuur toont dat dat de warmtedoorgang door een scherm geen constante waarde is, maar afhankelijk van de luchtvochtigheid en de temperatuur onder het scherm. Die afhankelijkheid van de luchtvochtigheid komt doordat vocht op het scherm kan condenseren waardoor het scherm warmer wordt en dus meer energie aan de bovenkant gaat verliezen. En als het scherm vocht kan transporteren vanuit het condens aan de onderkant naar de bovenkant dan zal er ook nog extra energie verlies gemoeid zijn met het verdampen van vocht aan de bovenkant. Naast het effect van condens op het scherm kan er ook waterdamp met de lucht van onder naar boven worden getransporteerd doordat de meeste schermen niet luchtdicht zijn.



Figuur 3.4 Warmtedoorgangscoefficient van een standaard energiescherm bij verschillende temperatuur en luchtvochtigheid onder het scherm bij constante condities boven het scherm (10 °C, 60% RV).

Zowel de hoeveelheid condens als de hoeveelheid damp die van onder naar boven wordt getransporteerd nemen toe als het temperatuur-verschil tussen boven en onder het scherm groter wordt, maar het RV's onder en boven gelijk worden gehouden. Wanneer niet het RV-verschil, maar het verschil in absoluut vocht tussen onder en boven het scherm gelijk wordt gehouden zou de gemeten U-waarde veel minder verschillen.

De getoonde toename van de warmtedoorgang bij een hogere luchtvochtigheid lijkt in tegenspraak met het feit dat een kas waarin een hogere luchtvochtigheid wordt geaccepteerd minder verwarming nodig heeft dan een kas waarin de kaslucht droger wordt gehouden.

Deze schijnbare tegenstrijdigheid komt doordat in de TransHumid-box de vochtproductie actief wordt opgevoerd als het ondercompartment bij een hogere luchtvochtigheid moet worden gemeten (wat extra verdampingsenergie met zich meebrengt), terwijl in een kas de (passieve) verdamping vanuit het gewas juist afneemt als de kaslucht vochtiger wordt. In een echte kas is de RV in de kasruimte altijd het gevolg van een balans tussen aanvoer van vocht en afvoer van vocht en is de doorgave van vocht door het scherm een factor die de uiteindelijke ligging van dat evenwicht beïnvloedt. Wanneer die evenwichtssituatie naar het oordeel van de tuinder op een te hoog niveau uitkomt dan wordt de vochtdoorgave van het scherm vergroot. Dit kan door schermkieren, schermventilatoren, het openen van ramen boven het scherm of het inblazen van buitenlucht onder het scherm. Het zal duidelijk zijn dat al deze acties de warmtevraag van de kas direct laten toenemen. En indirect wordt de warmtevraag nog verder verhoogd doordat het gewas bij een lagere luchtvochtigheid in de kas meer gaat verdampen.

De TransHumid is dan ook niet ontworpen om het gedrag van een kas na te bootsen, maar om de warmte- en vochtdoorgave onder bepaalde luchtcondities te bepalen. Met deze eigenschappen kan een simulatiemodel stappend door de tijd bepalen waar de evenwichtssituatie voor de luchtvochtigheid uitkomt en kan de klimaatregelaar in het simulatiemodel bepalen of er acties genomen moeten worden om extra vocht, bovenop het vocht dat door het scherm doorgelaten wordt afgevoerd te krijgen.

3.2 TransHumid metingen bij verschillende spouw configuraties

Spouwschermen zijn bedoeld om een beter isolerend schermstelsel te kunnen maken in een enkelvoudig dradenbed. Het uitgangspunt voor de vergelijking van een spouwscherm is dus een schermstelsel met een enkelvoudig schermdoek.

De isolatiegraad van een scherm op een enkelvoudig dradenbed kan worden verbeterd door omweg 2 schermdoeken op elkaar te leggen. Lucht- en vochtdoorlaat en transmissie van warmtestraling zal hierdoor worden verminderd en door de kreukelige structuur van schermen die op elkaar liggen zal de doorgave van warmte vanaf het onderste scherm naar het bovenste scherm ook worden gehinderd.

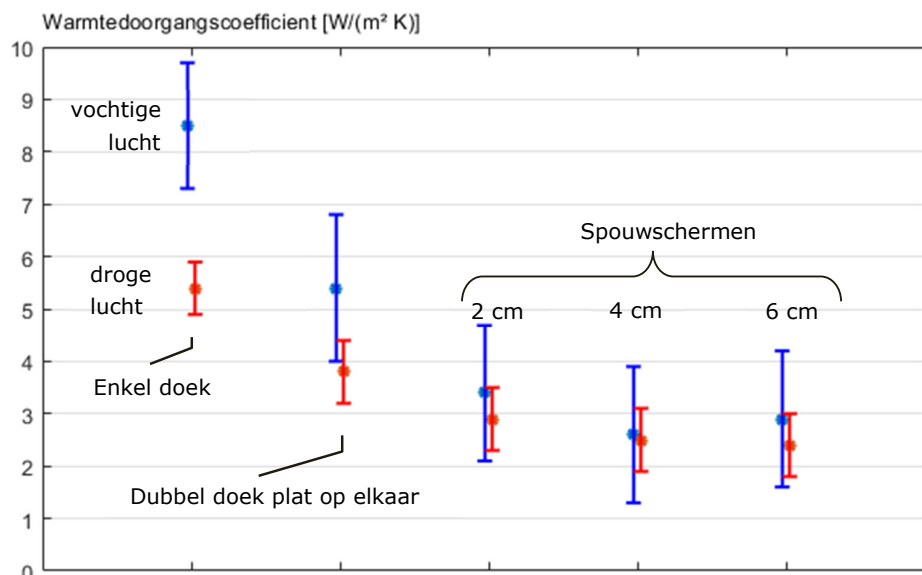
Bij plat op elkaar liggende schermen zijn er echter ook veel stukken waar de twee doeken wél goed op elkaar liggen, dus naast de plaatsen waar de warmtedoorgang wordt gehinderd zijn er ook veel plaatsen waar de temperatuur van het onderste en bovenste schermdoek vrijwel gelijk zijn, en voor wat betreft de beperking van de convectieve warmteoverdracht niet veel beter werken dan een enkelvoudig doek.

De isolerende werking wordt van een dubbel schermdoek wordt beter wanneer de twee doeken op de een of andere manier goed uit elkaar worden gehouden. In de praktijk wordt dit gedaan door extra steundraden in het schermstelsel te spannen of het onderste doek met haakjes op een zekere afstand van het bovenste doek te houden. Er ontstaat dan een spouw, en door te meten bij verschillende spouwdiktes is bestudeerd in welke mate de spouwdikte invloed heeft op de isolatiewaarde.

Het effect van de toepassing van een spouw kan ook nog afhangen van het soort doeken die gebruikt worden. Er zijn tienallen verschillende schermdoeken en dus honderden verschillende combinaties te maken, maar de grootste variatie zit in de schaduwdoeken.

Spouwschermen hebben betrekking op energiebesparing, en het concept 'spouwscherm' is dus alleen relevant voor de typische energiebesparingsdoeken. Energiedoeken zijn er als transparant doek en als donker doek, waarbij de donkere doeken een gecombineerde functie hebben, namelijk energiebesparing en lichtafscherming in belichte teelten.

Voor de bepaling van het effect van een spouw in het scherm is er daarom gemeten aan een verdubbeling van standaard energiescherm en een verdubbeling van een standaard verduisteringsdoek op de warmtedoorgang bij verschillende spouwdiktes, en ook bij een verdubbeling waarbij de doeken plat op elkaar zijn gelegd. De resultaten staan in onderstaande figuur.



Figuur 3.5 Gemeten warmtedoorgangscoefficiënt in droge kaslucht (65% RV), (rode punten en onzekerheidsmarge) en in vochtige kaslucht (90% RV), (blauwe punten en onzekerheidsmarge). De temperatuur in het ondercompartiment is steeds op 25 °C gehouden en de condities boven het scherm waren overal 10 °C en 60% RV. De zekerheidsmarge is 95%.

Figuur 3.5 laat zien dat de warmtedoorgangscoefficiënt grofweg halveert wanneer in een schermstelsel twee doeken als spouwscherm worden gemonteerd ten opzichte van een enkelvoudig doek. Vooral in vochtige lucht neemt de warmte-doorgang (en dat is de combinatie van voelbare en latente warmte) sterk af. De afname van de warmtedoorgang is zo groot dat er geen statistisch significant verschil meer zit in de warmtedoorgang van een spouwscherm in vochtige of in droge kaslucht-omstandigheden (de onzekerheidsgrenzen overlappen elkaar helemaal).

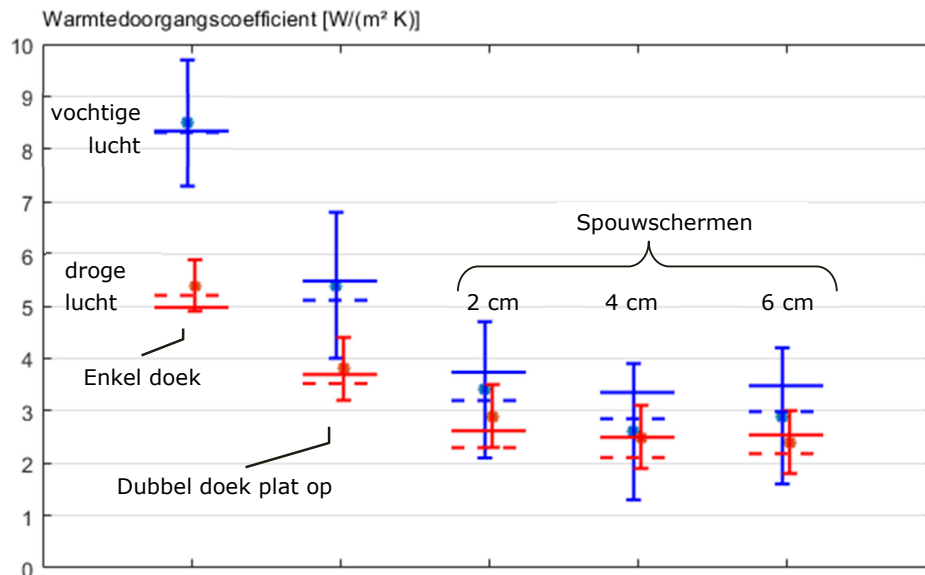
Dat de onzekerheidsmarge groot is bij de spouwschermen komt doordat de fysieke hoeveelheid waterdamp die in de TransHumid van het ondercompartiment naar het bovencompartiment heel klein is. Door de opening van 0.25 m² waar het spouwscherm in gemonteerd wordt gaat slechts zo'n 5 gram vocht per m² per uur.

Zoals eerder aangegeven werkt het simulatiemodel waarmee de inschatting van de betekenis van de verbeterde isolatie-eigenschappen voor tuinders wordt gemaakt niet met een warmtedoorgangscoefficiënt, maar worden alle processen die in Figuur 3.2 zijn geschetst per simulatiestap (adaptief tussen 0.5 en 5 minuten) doorgerekend zodat er een overall isolatiewaarde ontstaat waarin vocht, voelbare warmte en straling apart worden onderscheiden.

Het simulatiemodel kan een kassysteem simuleren, maar ook een meetopstelling zoals de Transhumid. De TransHumid kan worden gezien als een kas zonder gewas en zonder verlies naar buiten (want in de metingen wordt dit verlies verrekend via $P_{naarOmgeving} + P_{langsSample}$). De temperatuur in deze "kas" wordt geregeld met luchtverwarming, en de luchtvochtigheid met verneveling. Boven het scherm of, bij een spouwscherm, het schermpakket is een Top-compartiment vergelijkbaar met de nok van een kas. In het simulatiemodel kan de temperatuur en luchtvochtigheid van het Nok-compartiment als een vast getal worden "opgedrukt". Als het simulatiemodel de warmte-overdrachtsprocessen realiteitsgetrouw nabootst zal het verwarmingsvermogen dat in het model nodig is om het ondercompartiment op de temperatuur te houden die gelijk is aan die van de metingen in de TransHumid dan gelijk moeten zijn aan het gemeten verwarmingsvermogen ($P_{doorSample}$).

Deling van dat gesimuleerde verwarmingsvermogen door het temperatuurverschil geeft dan een berekende warmtedoorgangscoefficiënt.

Onderstaande figuur toont die gesimuleerde warmte-doorgang, samen met de eerder getoonde gemeten waarden.



Figuur 3.6 Gesimuleerde warmtedoorgangscoefficiënt in droge kaslucht (65% RV, rood) en in vochtige kaslucht (90% RV, blauw). De punten en onzekerheidsmarges zijn een kopie van Figuur 3.5. De horizontale streepjes zijn de warmtedoorgangscoefficiënten die het model berekent voor transparante doeken (gestreept lijntje) en donkerdoeken (getrokken lijntje). De temperatuur in het ondercompartiment is steeds op 25 °C en voor de condities boven het scherm is 10 °C en 60% RV aangehouden.

Er zitten verschillen tussen de gesimuleerde en de gemeten warmtedoorgangscoefficiënt, maar de verschillen zijn klein, zeker afgezet tegen de onzekerheidsmarge die voor de gemeten waarden naar voren komen.

Daar waar in de metingen geen significante verschillen tussen de verschillende doeken kon worden vastgesteld blijkt ook uit de simulaties dat de verschillen in warmte-doorgang tussen een standaard transparant energiedoek en een standaard verduisteringsdoek klein zijn. Uiteraard verschillen deze doeken wel enorm voor wat betreft de lichtdoorlatendheid zodat er voor het energiebesparingseffect bij gebruik van deze schermen in een kas wel duidelijke verschillen zullen optreden. Die komen echter vooral uit verschillen in gebruik (aantal uren, omstandigheden waarbij het scherm gesloten is), en veel minder door de verschillen in thermische en vocht-doorlatendheids-eigenschappen.

Het simulatiemodel berekent, net als in de metingen, nauwelijks verschil in warmtedoorgang voor een spouwdikte van 2, 4 of 6 cm. In het vervolg wordt daarom kortweg over een spouwscherm gesproken, zonder dat de spouwdikte wordt gespecificeerd.

4 Uitgangspunten voor jaarrond prestaties

4.1 Inleiding

De energiebesparingsprestatie van schermssystemen hangt niet alleen af van de isolerende eigenschappen, maar ook van de gebruikswijze van het scherm. Een scherm wat niet gesloten is bespaart geen energie. Er zijn drie redenen waarom schermen in de kas geopend worden. De eerste reden is uiteraard de licht-transmissie. Planten hebben licht nodig om te groeien en op momenten dat zonlicht aanwezig is moeten er heel zwaarwegende redenen zijn om schermen toch gesloten te laten. Redenen kunnen zijn dat het gewas niet meer dan een maximale daglengte mag 'ervaren' (bijvoorbeeld Chrysant en, in iets mindere mate, Gerbera). Dit speelt dus alleen bij verduisteringsdoeken. Ook kan het zijn dat de waarde van het extra licht dat door het openen van het scherm binnenkomt niet opweegt tegen de toename van de verwarmingskosten en dat het scherm daarom overdag dicht wordt gelaten. Dit speelt bij transparante energieschermen op koude en/of sombere winterdagen.

Een tweede reden om schermen te openen is de beheersing van de luchtvochtigheid. Door het sluiten van schermen wordt het lekverlies van de kas kleiner en neemt de hoeveelheid vocht die op het kasdek condenseert af. Vooral bij schermssystemen met een lage luchtdoorlatendheid wordt de luchtvochtigheid onder een gesloten scherm gemakkelijk te hoog waardoor tuinders schermkieren trekken of een scherm zelfs maar helemaal open laten. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een zogenoemde 'schermventilator' waarmee actief lucht tussen het kas-compartiment en het top-compartiment wordt uitgewisseld. Met beide maatregelen wordt feitelijk de isolatiewaarde van het schermstelsel naar behoefte verlaagd. Toch is dit natuurlijk nog altijd energiezuiniger dan geen schermstelsel omdat met kieren en schermventilatoren de isolatiegraad alleen op de momenten dat dat niet anders kan verlaagd wordt om voldoende vocht af te voeren. Ook blijft in dit geval de beperking van de uitstraling vanuit het gewas in stand.

Een derde reden om schermen te openen is dat de temperatuur in de kas te hoog oploopt. Dit komt vaak voor bij het gebruik van belichting, en soms bij ontvochtigingssystemen die de latente warmte van het onttrokken vocht direct afgeven in de vorm van voelbare warmte. In warmere perioden van het jaar kan ook een forse afkoeling in de nacht nodig zijn om de etmaaltemperatuur in de hand te kunnen houden.

De mate waarin de teeltomstandigheden in de kas het noodzakelijk maken om schermen al dan niet (deels) te openen hangt af van het gewas dat geteeld wordt, de technische installatie in de kas (belichtingsinstallatie, ontvochtigingsinstallatie) en de maximaal toegelaten luchtvochtigheid.

In paragraaf 4.2 worden eerst de beschrijving van drie teelten gegeven, en dan vooral de kasklimaatcondities die in die teelten worden nagestreefd. Voor die teelten wordt het effect van het (spouw)-scherm systeem op het energiegebruik berekend.

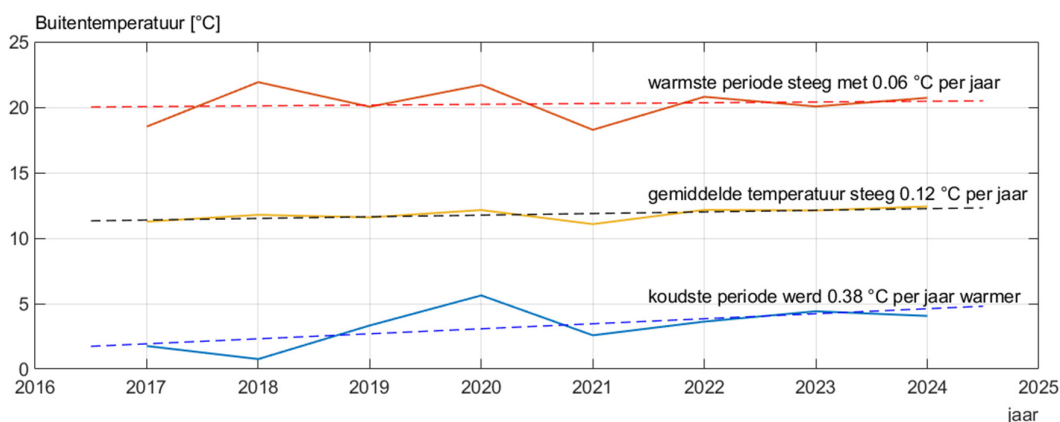
In alle simulaties wordt gerekend met de zuivere warmtevraag. Deze wordt dus niet beïnvloed door de al dan niet aanwezigheid van warmteoverschotten uit een WKK of koelmachine.

4.2 Energiebesparing door een spouwscherm in drie teelten

In hoofdstuk 3 is bij de bespreking van de gemeten warmte-doorgang met de TransHumid box de toename van de isolatiegraad door het plat op elkaar leggen van twee schermdoeken en het toepassen van een spouwscherm vergeleken met de isolatiewaarde van een enkelvoudig schermdoek. Het bleek dat een spouwscherm de warmtedoorgang tenminste halveren (en onder vochtige omstandigheden meer dan dat) en dat het plat op elkaar leggen van twee (dezelfde) schermdoeken ongeveer 25% reductie van de warmtedoorgang oplevert. Deze metingen hebben echter betrekking op een statische situatie. In een jaarrond-teelt is er altijd sprake van een aaneenschakeling van verschillende combinaties van temperatuur en luchtvochtigheidscondities dus kan het jaarrond perspectief van een isolerend scherm alleen bepaald worden door de prestaties in die opeenvolgende situaties samen in rekening te brengen. In dit rapport wordt dit gedaan voor een belicht tomatengewas, een belichte gerberateelt en een onbelichte paprikateelt. Voor elke teelt wordt uitgegaan van een standaard-jaar, samengesteld uit de weerdata van de afgelopen 8 jaar.

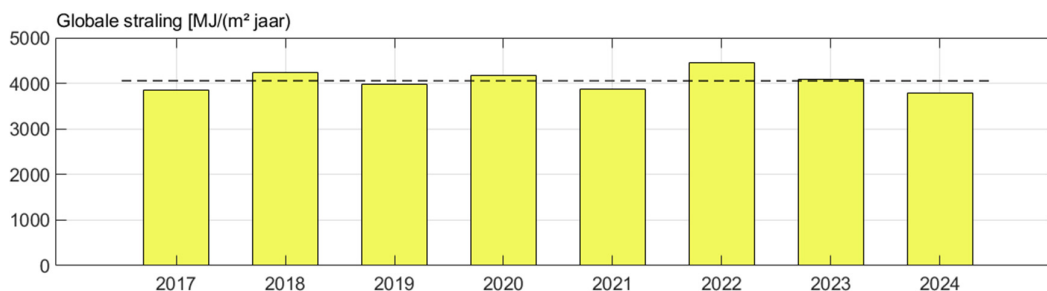
4.2.1 Selectie van een representatief jaar

Het energiebesparingseffect van (spouw)-schermen hangt af van de buitenklimaatcondities. Dit geldt wellicht minder sterk voor de relatieve besparingspercentages, maar het geldt zeker voor de absolute besparingscijfers. In onderstaande figuur wordt de jaargemiddelde buitentemperatuur getoond, samen met de gemiddelde temperatuur van de koudste en de warmste 4 (aaneengesloten) weken in dat jaar.



Figuur 4.1 Gemiddelde, maximale en minimale buitentemperatuur zoals gemeten op het proefbedrijf in Bleiswijk over de afgelopen 8 jaar.

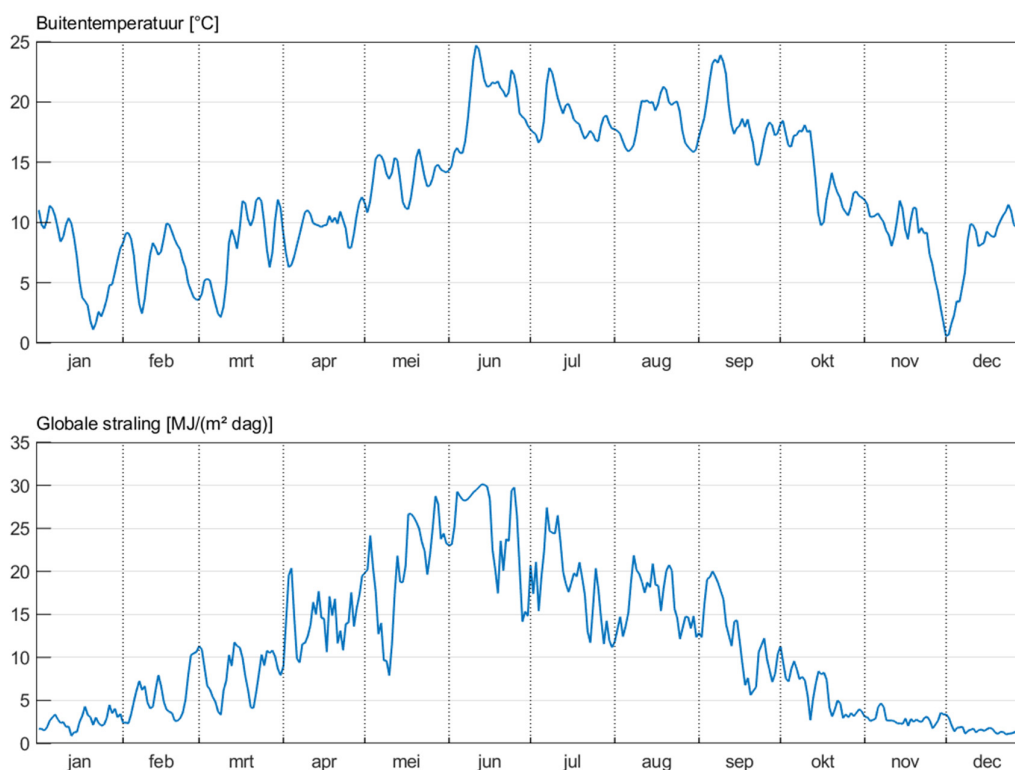
In het verloop van de buitentemperatuur lijkt een opgaande trend te zitten, maar in de hoeveelheid zonlicht is geen trendmatig verloop. Wel zijn er van jaar tot jaar verschillen tot zo'n 10%.



Figuur 4.2 Hoeveelheid zonlicht gemeten over de afgelopen 8 jaar in Bleiswijk, samen met de trendlijn (die nagenoeg horizontaal loopt).

Afgaande op buitentemperatuur en lichtbeschikbaarheid kan gesteld worden dat 2023 representatief is voor de weersomstandigheden in de afgelopen jaren. Voor de bestudering van het effect van spouwschermen moet echter uitgegaan worden van plausibele gemiddelde omstandigheden over enkele jaren in de toekomst. Uitgaande van de trendmatige stijging zou voor de buitentemperatuur rond 2027 uitgegaan moeten worden van een 0.48 hogere gemiddelde buitenluchttemperatuur dan in 2023.

Om aan de ene kant energieverbruikscijfers te hanteren die herkenbaar zijn in de praktijk, maar aan de andere kant ook een doorzicht te geven naar de situatie over enkele jaren worden de berekeningen gemaakt met de weerdata van 2023, maar ook met een weerbestand wat een kopie is van 2023, maar met een buitentemperatuur die 0.48 hoger is. Het overzicht van de buitenklimaatdata voor 2027 ziet er dan uit zoals in onderstaande figuren.



Figuur 4.3 Gemiddelde buitentemperatuur en stralingssom zoals dat voor 2027 verwacht zou kunnen worden. Ten behoeve van een betere leesbaarheid is een voortschrijdend gemiddelde van 3 dagen gebruikt.

Het is duidelijk dat de trend in de buitenklimaat-omstandigheden in Bleiswijk, als die wordt doorgetrokken naar 2027 betekent dat er praktisch geen vorstdagen meer voorkomen. Er zijn nog wel een paar nachten met vorst, maar die zijn door de het toegepaste 3-daags gemiddelde filter niet meer zichtbaar.

4.2.2 Beschrijving van de drie teelten

Ten behoeve van het in kaart brengen van het energiebesparend effect van (spouw)schermen worden drie gewassen gebruikt. Als eerste wordt gekeken naar een intensief belichte tomatenteelt ($250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$, max 18 uur per dag strevend naar een lichtsom van $20 \text{ mol PAR}/\text{m}^2$ per dag). Als minder intensief belicht gewas wordt de Gerbera gebruikt. Net als in de belichte tomatenteelt heeft de Gerberateelt een verduisteringsscherm, maar waar dit in de tomatenteelt alleen gebruikt wordt om de omgevingshinder van de belichting te beperken is in de Gerberateelt het verduisteringsscherm ook nodig om de daglengte te verkorten. De belichtingsintensiteit in de Gerbera is $140 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ en de belichtingsduur max 11.5 uur. Als derde gewas wordt een onbelichte paprikateelt gebruikt.

Het kassysteem wordt voor alle gesimuleerde teelten gelijk gehouden en daarnaast zijn er nog een aantal aspecten in de klimaatregeling die gelijk gehouden worden. Deze worden genoemd in onderstaande lijstje.

Kas: alle gewassen worden geteeld in een venlo-kas met enkel glas. Er wordt voor de kas een gemiddelde lek dichtheid verondersteld, wat betekent dat bij een windsnelheid van 4 m/s (de gemiddelde windsnelheid in Nederland) het lekverlies 1.5 m³/(m² uur) bedraagt. De lek neemt naar rato van de windsnelheid toe of af.

Verwarming: alle gewassen gebruiken buisverwarming in een bij de teelt passende buisconfiguratie.

Ventilatie: Als de kastemperatuur boven de ventilatielijn uit komt (die voor elk gewas een op een ander niveau ligt, en over de dag varieert) worden de ramen geopend. De opening is proportioneel met de overschrijding ten opzichte van de ventilatielijn volgens een P-band. In de winter staat de P-band ruim (pas bij 15 °C overschrijding ten opzichte van de ventilatielijn zouden de ramen vol open staan) en in de zomer staat de P-band krap (bij 5 °C overschrijding staan de ramen vol open). Tussen deze twee temperaturen worden proportioneel tussenliggende waarden gebruikt.

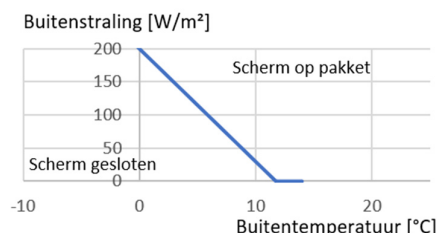
Ook als de kaslucht boven het luchtvochtigheidssetpoint stijgt worden de ramen geopend, eveneens proportioneel met de overschrijding. Ook hier is de P-band afhankelijk van de buitentemperatuur. Is het buiten 5 °C of kouder is dan moet de luchtvochtigheid met 10 RV%-punten overschreden zijn om de ramen naar 100% te openen. Is het buiten warmer dan 20 °C, dan is die proportionele band verkleind naar 5 RV%-punten. Ook hier wordt tussen de twee genoemde temperaturen de P-band naar rato aangepast.

Sluiten Energiescherm: Met 'energiescherm' worden transparante doeken bedoeld. Omdat ze transparant zijn kunnen ze ook overdag worden gebruikt. Bij het gebruik van een transparant scherm overdag wordt er een afweging gemaakt tussen de energiebesparing die het scherm levert aan de ene kant en de verlaagde lichttransmissie aan de andere kant. Is het buiten koud, dan weegt het besparingseffect zwaarder dan het lichtverlies en wordt het scherm overdag dicht gehouden.

Is het warmer, dan gaat lichtverlies zwaarder tellen en wordt het scherm eerder open getrokken. In de simulaties wordt deze afweging geïmplementeerd met een temperatuur-afhankelijk criterium voor de buitenstraling waaronder het transparante scherm gesloten blijft. Dit kan worden geïllustreerd met nevenstaande grafiek.

Hieruit is af te lezen dat als het buiten 0 °C is de schermregelaar het scherm pas opent bij meer dan 200 W/m² buitenstraling. Is het buiten 10 °C, dan wordt het scherm al bij 30 W/m² buitenstraling op pakket gezet.

Er is ook een buitentemperatuur-instelling waarboven het scherm helemaal niet gebruikt wordt. Deze waarde verschilt per teelt. Voor de groenteteelten staat die op 16 °C en voor de Gerberateelt op 14 °C.



Sluiten verduisteringsdoek: Het niet-transparante verduisterings- of lichtafschermingsdoek wordt gebruikt om hinderlijke lichtuitstoot te voorkomen of de daglengte te verkorten voor gewassen waarbij dat nodig is om de gewenste productkwaliteit te verkrijgen. Maar behalve voor het beïnvloeden van lichttoetreding of -uitstoot worden deze schermen ook gebruikt voor energiebesparing 's nachts.

Waar aanwezig, wordt een niet-transparant doek in de groenteteelten 's nachts gesloten als het buiten kouder is dan 16 °C en in de Gerberateelt als het buiten kouder is dan 14 °C.

Schermkieren: Als het in de kas, ondanks de raam-opening boven het scherm te warm of te vochtig wordt dan wordt er een kier in het scherm getrokken. Het onderste scherm wordt bij een vocht-overschrijdingstraject van 1 naar 3 RV%-punten van 0 naar 5% schermkier getrokken. 5% schermkier betekent een opening van 25 cm in het scherm.

Daar waar er een tweede scherm-installatie is heeft dit eenzelfde kier-regeling, maar dan in een overschrijdingstraject van 2 naar 4 RV%-punten. Het tweede scherm loopt dus altijd achter op het eerste.

Verneveling: In alle kassen wordt uitgegaan van de beschikbaarheid van verneveling. Door verneveling toe te passen als het warm wordt in de kas en de luchtvochtigheid laag is (<75% RV) verbetert het klimaat in de kas en wordt de efficiëntie van CO₂-dosering verhoogd.

Naast de algemene instellingen zijn er uiteraard gewas-afhankelijke instellingen. Deze zijn als volgt:

Tomaat

Plantdatum: 1 september en einde teelt: 15 augustus

Belichtingsintensiteit: 250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$

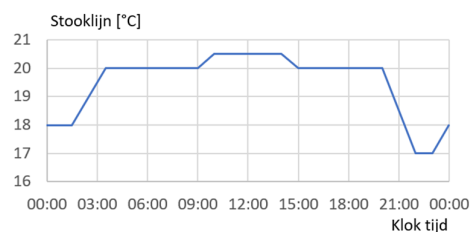
Belichtingssysteem: LED belichting met een conversie-rendement van 3.2 $\mu\text{mol}/\text{J}$

Belichtingsuren: begint op 1 oktober met 12 uur belichten en wordt over een periode van 6 weken elke week met een uur verlengd totdat er 18 uur wordt belicht. Vanaf 15 maart wordt de belichting elke week weer met een uur per dag afgebouwd. Vanaf 26 april blijft de belichting uit.

Eindtijd belichting: 20:00. De belichting gaat ook uit als er meer dan 200 W/m² buitenstraling is.

Temperatuur-regeling: De etmaaltemperatuur wordt aangepast aan de licht-beschikbaarheid volgens het RTR-principe. De basis-etmaaltemperatuur is 17 °C en voor elke mol licht per m² per dag komt er 0.15 °C bij. Dit betekent dat de streefwaarde voor de etmaaltemperatuur in de winter rond de 20 °C uitkomt.

Temperatuur-profiel: Er wordt gebruik gemaakt van het typische tomaten-temperatuurprofiel, wat betekent dat er een voornacht verlaging wordt aangehouden waar aan het eind van de dag naar teruggezaakt wordt om vanaf 23:00 weer op te lopen naar de nachttemperatuur. Overdag wordt de stooklijn nog iets verder verhoogd als er meer dan 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ binnen wordt gemeten.



Ventilatielijn: De ventilatielijn ligt 's nachts 1 graad, en overdag 2 °C boven de stooklijn

Luchtvochtigheid: Overdag, of tijdens de belichtingsperiode wordt door een gemiddelde tomatenteler gestuurd op een luchtvochtigheid rond de 85%. 's Nachts mag deze oplopen naar 87%. De luchtvochtigheid wordt geregeld met behulp van een systeem dat gecontroleerd buitenlucht inblaast met een maximum capaciteit van 8 m³/(m² uur).

Schermsysteem: In de basis-berekeningen voor dit project wordt uitgegaan van 1 scherm. Omdat dit een belichte teelt betreft is dat dus een lichtafschermingsdoek.

Omdat zo'n doek geen licht doorlaat wordt het overdag in principe open getrokken, maar omdat de kas ook een belichtingsinstallatie heeft wordt het doek op koude dagen dicht gelaten als er weinig licht is. Bij 0 °C buiten of kouder wordt het scherm pas bij 100 W/m² open getrokken. Bij 10 °C of warmer gaat het doek bij 10 W/m² buitenstraling open. Het open-criterium wordt tussen deze temperatuur-grenzen geïnterpoleerd.

CO₂-dosering: Overdag of tijdens de belichting wordt een setpoint van 800 ppm aangehouden. De maximale doseercapaciteit is klein gekozen, 125 kg/(ha uur).

Gerbera

Plantdatum: De Gerbera is een jaarrond teelt. Het gewas gaat 3 tot 5 jaar mee en wordt in fases vervangen, zodat op kas-niveau weinig te merken is van een teeltwisseling.

Belichtingsintensiteit: 160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$

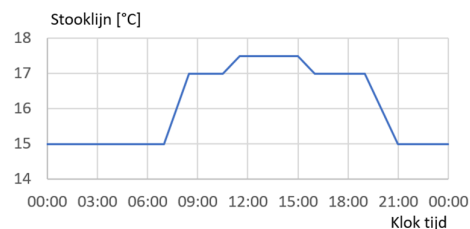
Belichtingssysteem: LED belichting met een conversie-rendement van 3.2 $\mu\text{mol}/\text{J}$

Belichtingsuren: Er wordt gestreefd naar 11.5 uur licht en in de winter rond de 8 mol PAR/ m^2 dag. Om de daglengte rond 11.5 uur te houden wordt er belicht tussen 1 oktober en 1 maart.

Eindtijd belichting: De eindtijd van de belichting is een uur voor zonsondergang. Belichting gaat overdag uit als er meer dan 150 W/ m^2 buitenstraling is

Temperatuur-regeling: De etmaaltemperatuur wordt aangepast aan de licht-beschikbaarheid volgens het RTR-principe. De door de Floriconsult aangehouden relatie is een basis-etmaaltemperatuur op 14 °C en een verhoging met 0.33 °C voor elke mol licht per m^2 per dag. Dit betekent dat de streefwaarde voor de etmaaltemperatuur in de winter (8 mol/ m^2 per dag) tussen de 16 en 17 °C ligt.

Temperatuur-profiel: De stooklijn ligt in de Gerberateelt vrij laag. Er is een nachttemperatuur van rond de 15 °C en een dagtemperatuur van rond de 17 °C. Als er buiten meer dan 150 W/ m^2 straling is wordt de stooklijn nog wat verhoogd om een min of meer automatische koppeling tussen lichtbeschikbaarheid en etmaaltemperatuur te realiseren. Het RTR-algoritme completeert deze strategie door in lichtrijkere perioden de stooklijn omhoog te schuiven.



Ventilatielijn: De ventilatielijn ligt 's nachts 2 graden, en overdag 3 °C boven de stooklijn.

Luchtvochtigheid: Overdag, of tijdens de belichtingsperiode wordt door een gemiddelde Gerbera-teler gestuurd op een luchtvochtigheid rond de 85%. 's Nachts mag deze oplopen naar 87%. De luchtvochtigheid wordt geregeld met behulp van een systeem dat gecontroleerd buiten-lucht inblaast met een maximum capaciteit van 4 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$.

Schersmsysteem: In de basis-berekeningen voor dit project wordt uitgegaan van 1 scherm. In de Gerberateelt is dit dus een lichtafschermingsdoek dat ook als verduisteringsdoek en schaduwdoek wordt gebruikt.

Omdat het doek geen licht doorlaat wordt het overdag in principe open getrokken, maar omdat de kas ook een belichtingsinstallatie heeft wordt het doek op koude dagen dicht gelaten als er weinig licht is. Bij 0 °C buiten of kouder wordt het scherm pas bij 80 W/ m^2 open getrokken. Bij 8 °C of warmer gaat het doek bij 10 W/ m^2 buitenstraling open. Tussen deze temperatuur-grenzen wordt het criterium geïnterpoleerd.

CO₂-dosering: Overdag of tijdens de belichting wordt een setpoint van 700 ppm aangehouden. De maximale doseercapaciteit is klein gekozen, 100 kg/(ha uur).

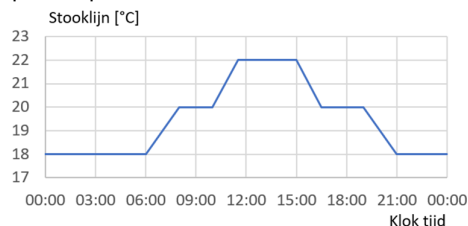
Paprika

Plantdatum: 15 december en einde teelt: 25 november

Belichtingsintensiteit: geen

Temperatuur-regeling: De etmaaltemperatuur wordt aangepast aan de licht-beschikbaarheid volgens het RTR-principe. De basis-etmaaltemperatuur is 18 °C en voor elke mol licht per m² per dag komt er 0.2 °C bij. Vanwege de lage licht-beschikbaarheid komt de etmaaltemperatuur in de winter rond de 19 °C te liggen. In het voorjaar loopt dit op naar 20 en 21 °C.

Temperatuur-profiel: er wordt gebruik gemaakt van een temperatuurprofiel met een dagwaarde en een nachtwaarde. Overdag wordt de stooklijn met 2 °C verhoogd ten opzichte van de basiswaarde als de buiten-lichtintensiteit oploopt van 100 naar 400 W/m²



Ventilatielijn: De ventilatielijn ligt 's nachts 1 graad, en overdag 2 °C boven de stooklijn

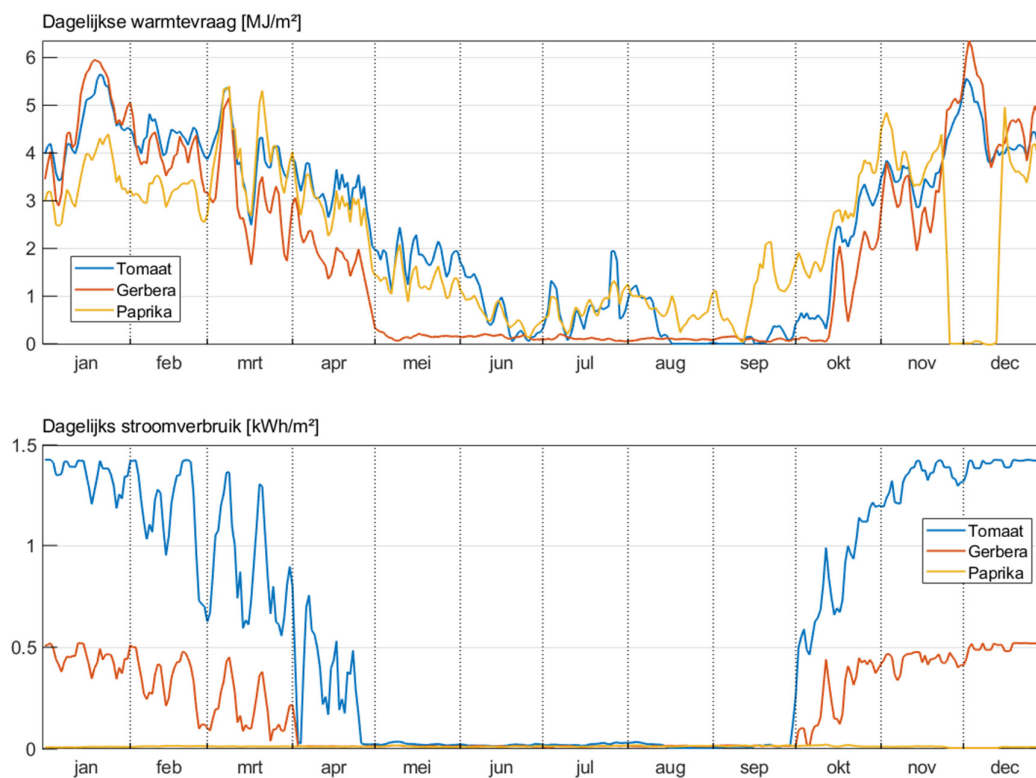
Luchtvochtigheid: Overdag wordt door een gemiddelde paprikateler gestuurd op een luchtvochtigheid rond de 86%. 's Nachts mag deze oplopen naar 88%.

De luchtvochtigheid wordt geregeld met behulp van een systeem dat gecontroleerd buitenlucht inblaast met een maximum capaciteit van 5 m³/(m² uur).

Schersmsysteem: In de basis-berekeningen voor dit project wordt uitgegaan van 1 beweegbaar scherm. In de Paprikateelt is dit een transparant doek wat ook op donkere, koude dagen wordt gebruikt. In de onbelichte paprikateelt is echter ook het gebruik van een vast foliescherm gebruikelijk. Dit wordt tijdens de teeltwisseling aangebracht en wordt op 1 maart weggehaald.

CO₂-dosering: Overdag wordt een setpoint van 800 ppm aangehouden. De maximale doseercapaciteit is klein gekozen, 125 kg/(ha uur).

De bovenbeschreven teelten en de daarbij gehanteerde klimaatinstellingen leiden tot een warmte- en elektriciteitsvraag zoals hieronder getoond.



Figuur 4.4 Warmtevraag en elektriciteitsvraag per dag voor de drie teelten onder de standaard-gebruikswijze van de kas met 1 beweegbare scherminstallatie.

De figuur laat duidelijk zien dat er grote verschillen zijn tussen zomer en winter. De Gerbera-teelt gebruikt in de zomerperiode nauwelijks warmte, maar voor de groenteteelten is er ook in de zomer nog een duidelijke warmtevraag. Dit komt doordat de kas ontvochtigd moet worden en doordat er in de meeste ochtenden opgestookt wordt om de kas op tijd op temperatuur te hebben en natslag op de vruchten te voorkomen. Het 0-verbruik in de paprikateelt in december komt door de teeltwisseling. Zo'n periode is er ook in de tomatenteelt, maar omdat die in augustus valt is dat niet zo goed zichtbaar.

In de onderste grafiek is het effect van de belichting op het stroomverbruik heel goed zichtbaar. In de zomerperiode komt het stroomverbruik vanuit de ontvochtigingsinstallatie.

De jaartotalen voor het energieverbruik die berekend worden voor de eerder beschreven klimaatinstellingen zijn voor een jaarrond-teelt in een gemiddeld jaar zoals we dat de afgelopen jaren hebben gezien:

Tomaat (1 beweegbaar lichtafschermingsdoek): 28.4 m³ aardgas en 225 kWh elektriciteit per m² per jaar

Gerbera (1 beweegbaar donkerdoek): 22.4 m³ aardgas en 69 kWh elektriciteit per m² per jaar

Paprika (1 beweegbaar transparant doek + folie de eerste 3 maanden): 24.8 m³ en 4 kWh per m²/jaar

Eerder in dit hoofdstuk is aangegeven dat er sprake is van een opgaande trend in de gemiddelde buitentemperatuur en dat een schatting voor de situatie in 2027 gebaseerd zou kunnen worden door de buitentemperatuur zoals die 2023 is geweest met 0.48 °C te verhogen. Het simulatiemodel berekent voor die situatie een warmtevraag van 26.8 m³/(m² jr) voor de belichte tomatenteelt, 20.9 m³/(m² jr) voor de Gerberateelt en 23.6 m³/(m² jr) voor de paprikateelt. Het gemiddeld warmer wordend klimaat heeft dus een duidelijke invloed op de warmtevraag van 1.2 tot 1.6 m³/(m² jr).

Omdat de verwarmingsvraag in de komende jaren naar verwachting lagere zal zijn dan de gemiddelden zoals we dat op dit moment kennen wordt in alle volgende berekeningen gewerkt met de weerdata zoals die voor 2027 geconstrueerd zijn. Zoals aangegeven is dit het weerbestand van 2023, maar met een 0.48 °C verhoogde temperatuur.

De elektriciteitsverbruiken veranderen niet ten opzichte van wat we gewend zijn omdat de licht-omstandigheden de laatste jaren niet trendmatig veranderen en dus de belichting constant blijft. En zolang de bijbelichting wordt ingevuld zoals op dit moment gebruikelijk is belichting is veruit de belangrijkste elektriciteitsverbruiker.

5 Energiebesparing door dubbele doeken

5.1 Inleiding

Het aanbrengen van extra schermen verhoogt de isolatiewaarde van het schermstelsel. Extra schermlagen kunnen worden aangebracht in de bestaande scherm-installatie, maar ook door toevoeging van een extra schermstelsel. Uiteraard geeft de toevoeging van een schermstelsel een grotere vrijheid in de keuze van doeken en de besturing ervan.

In dit hoofdstuk wordt eerst de besparing berekend voor het geval een extra doek aan een bestaand schermstelsel wordt toegevoegd, al dan niet in de vorm van een spouwscherm.

In paragraaf 5.3 wordt het effect van een extra doek berekend in geval er ook een extra-installatie wordt aangebracht.

5.2 Verdubbeling van doeken in één schermstelsel

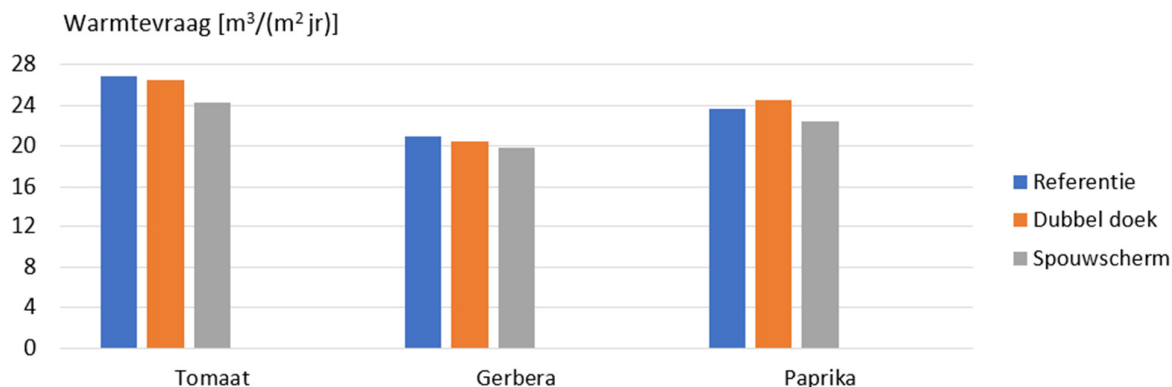
Aangezien tuinders gemiddeld om de 7 jaar hun scherm vervangen¹ is het een relatief eenvoudige ingreep om op dat moment een enkelvoudig schermdoek te vervangen door een dubbel doek. Voor de tomatenteelt en de Gerberateelt betekent dit dat het enkelvoudige verduisteringsdoek kan worden vervangen door twee plat op elkaar liggende verduisteringsdoeken. Het gebruik van twee plat op elkaar liggende doeken is voor gewassen waar het echt donker moet zijn om de bloemvorming te induceren (Chrysant bijvoorbeeld) zelfs al vrij gebruikelijk.

Als er in de Paprikateelt een tweede doek in een bestaand schermstelsel zou worden gelegd dan zou het om een transparant doek moeten gaan. Immers, het beweegbare scherm in een paprikakas wordt ook overdag gebruikt. Het toevoegen van een tweede doek in dat beweegbare schermstelsel zal de lichttransmissie bij gebruik van het doek flink verlagen. Daarom zal een praktisch paprika-tuinder bij gebruik van een dubbel doek bestaande uit twee transparante doeken laten samengaan met een vermindering van het aantal schermuren. In de verderop getoonde resultaten is dit effect meegenomen.

De verdubbeling van het aantal doeken in een schermstelsel kan door de doeken plat op elkaar te leggen, maar ook door ze uit te voeren als spouwscherm. Dit heeft geen invloed op de lichtdoorlatendheid, zodat het qua gebruiksmogelijkheid geen verschil maakt of de twee doeken plat op elkaar liggen of door middel van een spouw een paar cm uit elkaar komen te liggen.

Onderstaande grafiek toont de berekende besparing van de twee opties voor verdubbeling voor de drie gewassen.

¹ Dit volgt uit het gehanteerde afschrijvingspercentage van het schermdoek van 14% in Kwantitatieve informatie voor de Glastuinbouw, Raaphorst 2023.



Figuur 5.1 Berekende warmtevraag bij drie teelten bij een referentie-schermsituatie en bij gebruik van een dubbel scherm in twee verschillende uitvoeringsvormen.

De figuur toont dat de berekende besparing van een tweede doek dat plat op het eerste doek wordt gelegd bij de tomaten en gerberateelt nauwelijks een besparing oplevert en bij de paprikateelt zelfs negatief werkt. Bij de tomatenteelt is het effect beperkt omdat het scherm daar heel veel uren wordt gebruikt in combinatie met belichting. Als de lampen aan zijn is er al gauw sprake van ofwel een warmte-overschot, ofwel een vocht-overschot, waardoor het scherm gekierd moet worden en extra isolatiewaarde geen voordeel oplevert. Het voordeel van het dubbele doek moet dus vooral behaald worden in de onbelichte nacht en dat zijn in de tomatenteelt niet zoveel uren. Bovendien het in een deel van die uren gewenst dat de kasluchttemperatuur fors te laten dalen (de in de tomatenteelt gewenste voornachtverlaging). Die effecten bij elkaar maakt dat de besparing van het plat op elkaar gelegde dubbele doek in de tomatenteelt heel klein is, $0.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$. Als het dubbele doek in de vorm van een spouwscherm wordt aangebracht is het besparingseffect groter, en wordt berekend op 2.5 m^3 aardgas equivalenten per m^2 per jaar.

In de Gerberateelt is de berekende besparing van dubbele doeken $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ voor een plat op elkaar gelegd doek en $1.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ voor een spouwscherm (alles berekend ten opzichte van een enkelvoudig verduisteringsdoek). Er zijn in de Gerberateelt veel meer onbelichte nachturen die door de lagere belichtingsintensiteit ook nog eens minder gauw tot een warmte- of vochtoverschot leiden, maar omdat de totale warmtevraag kleiner is zijn de besparings-effecten in absolute zin ook kleiner.

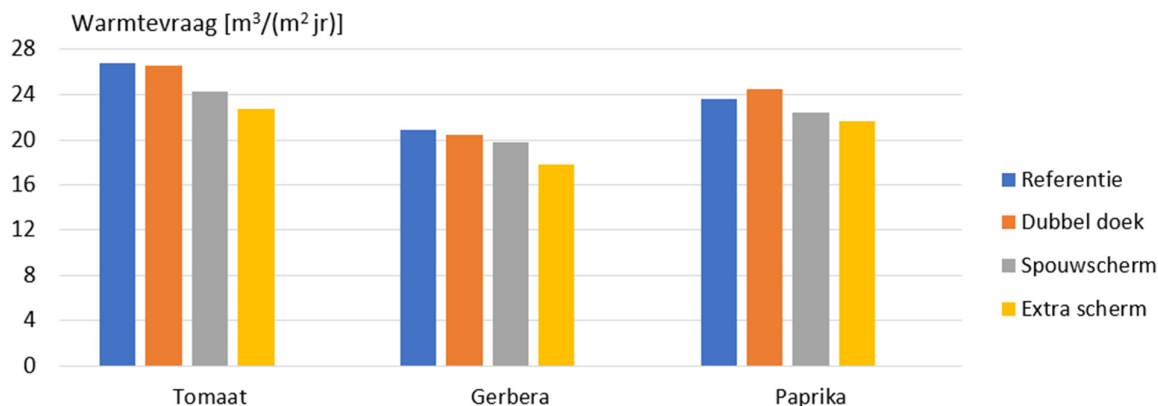
Voor de Paprikateelt werkt een verdubbeling van het aantal schermdoeken door er twee plat op elkaar te leggen zelfs negatief. De lichtdoorlatendheid van het scherm wanneer er twee standaard doeken op elkaar worden gelegd wordt namelijk een stuk minder, waardoor het scherm eerder open wordt getrokken om toch nog wat licht voor de groei wordt binnengelaten. In de berekeningen is het aantal schermuren van 4600 uur met 550 uur verlaagd naar 4050 uur. De beperkte extra isolatie 's nachts wordt dan meer dan teniet door het verlies aan schermuren overdag.

Wanneer het dubbele transparante scherm als spouwscherm wordt uitgevoerd wordt is het extra isolatie-effect 's nachts wél meer dan compenserend voor de vermindering van het aantal schermuren overdag. De berekende besparing van een spouwscherm komt voor de paprikateelt op $1.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$.

5.3 Een extra doek, samen met een extra schermstelsel

Wanneer het extra doek in de vorm van een extra schermstelsel wordt geïnstalleerd ontstaan er meer gebruiksmogelijkheden. Zowel voor wat betreft de keus in doeken als voor wat betreft de vrijheid in de besturing. Als er ruimte is voor een extra scherm kan er in de tomaten en Gerberateelt worden gekozen voor een transparant doek. Dit kan dan behalve 's nachts ook op koude en sombere dagen worden gebruikt. In de Paprikateelt maakt het extra systeem het mogelijk om het aantal uren met het beweegbare eerste schermdoek gelijk te houden (de oorspronkelijke 4600 uur) en het tweede doek er 's nachts bij te kunnen trekken. Dit tweede doek kan dan ook nog eens een hoger isolerend doek zijn, omdat het niet langer transparant hoeft te zijn.

Onderstaande grafiek toont de berekende energiebesparing bij gebruik van zo'n extra schermstelsel.



Figuur 5.2 Berekende warmtevraag bij drie teelten bij verschillende uitvoeringsvormen van het 2^e (beweegbare) doek. In de referentie is er steeds 1 beweegbaar doek (bij de paprika aangevuld met een permanent foliescherm van planten tot 1 maart).

De resultaten laten zien dat in alle gevallen de toegenomen vrijheid die beschikbaar komt wanneer het extra doek niet samen met het reeds bestaande doek moet werken tot een extra energiebesparing leidt. Onderstaande tabel toont alle berekeningsresultaten in een overzichtelijk staatje.

Tabel 5.1 Berekende energieverbruiken voor de drie teelten in de referentiecasse (1 schermstelsel, in de paprikateelt aangevuld met een permanent folie van planten tot 1 maart) en bij gebruik van een extra doek in verschillende uitvoeringsvormen. In alle gevallen is gerekend met buitenklimaat-omstandigheden die voor de nabije toekomst verwacht mogen worden. Dit betekent dat de buitentemperatuur een halve graad hoger is dan wat de afgelopen jaren gebruikelijk was.

Simulatie-case	Tomaat (belicht)	Gerbera (belicht)	Paprika
Referentie warmtegebruik (klimaat 2027)	26.8 m³/(m² jr)	20.9 m³/(m² jr)	23.6 m³/(m² jr)
Besparing door 2 doeken plat op elkaar (m³/m² jr)	0.3	0.5	-0.9
Besparing door 2 doeken als spouwscherm	2.5	1.1	1.2
Besparing door extra doek in extra schermstelsel	4.1	3.1	2.0

De besparing van het extra schermstelsel zijn het grootste in de belichte tomatenteelt, vooral omdat in die teelt überhaupt de grootste warmtevraag is. Procentueel zijn de besparingen in de Tomaten- en Gerberateelt gelijk, allebei 15%. De energiebesparing door het extra beweegbare scherm is in de Paprikateelt het kleinste, wat komt doordat precies in het koudste deel van het jaar de paprikakas naast de beweegbare schermen ook een vast foliescherm gebruikt. In feite gaat de paprikateelt door de toevoeging van het extra scherm voor het koudste deel van het jaar van een situatie van 2 schermen naar een situatie met 3 schermen. Dit maakt dat het effect van het extra scherm per definitie kleinere zal zijn dan bij de andere teelten.

6 Conclusies

In deze studie is onderzocht op welke manier spouwschermen helpen om de isolatiegraad van kassen te verbeteren. De hoofdconclusie is dat wanneer in een schermstelsel een tweede doek wordt aangebracht op een duidelijk afstand van het eerste doek, 4 cm bijvoorbeeld, de isolatie door een spouwscherm vergelijkbaar wordt aan de isolatie die met een compleet extra scherm-systeem kan worden gerealiseerd. Er wordt uitdrukkelijk gesteld dat het 'vergelijkbaar' is. Metingen aan de warmte-doorgang door schermdoeken blijken namelijk heel moeizaam, zodat er ondanks vele uren metingen aan verschillende combinaties van schermen, scherm-afstanden en meet-condities nog steeds een grote marge rond de gemeten warmte-doorgang zit.

Er kon wel een significante verlaging van de warmtedoorgang worden vastgesteld wanneer er twee schermdoeken plat op elkaar worden gelegd in vergelijking met een enkel doek.

Ook kon er een significant effect van het aanbrengen van een spouw tussen deze twee doeken ten opzichte van plat op elkaar gelegde doeken worden vastgesteld. Het verschil in effect van een spouw van 2, 4 of 6 cm was echter zo klein dat geen significant verschil tussen de verschillende spouw-afstanden kon worden vastgesteld.

De trend in de meetresultaten was echter dat een spouw-afstand van 4 cm iets beter isoleerde dan een spouw-afstand van 2 cm en dat een spouw van 6 cm nauwelijks te onderscheiden was van een spouw van 4 cm. Daarom is gesteld dat voor de isolatiewaarde een extra doek uitgevoerd als spouwscherm gelijk gesteld kan worden aan een extra scherminstallatie.

Het grote verschil tussen een extra doek in de vorm van een spouwscherm en een extra doek in de vorm van een extra scherm zijn het verschil in installatiekosten en het verschil in scherm-keuze en scherm-regelmogelijkheden. Wanneer doeken in verschillende schermssystemen zitten kunnen ze met verschillende eigenschappen worden uitgevoerd (verduisterend of juist niet, vocht-doorlatend of juist niet). Bij plaatsing in verschillende installaties kan, afhankelijk van de situatie elk doek apart bestuurd worden. Maar als de twee doeken allebei gesloten zijn geven ze dezelfde isolatiewaarde als wanneer die twee doeken samen in een spouwscherm zouden zijn aangebracht.

Voor een referentiekas waarin slechts 1 scherm aanwezig is betekent het gebruik van een spouwscherm dat de kas zich gaat gedragen als een kas met een dubbele scherm-installatie, maar waarbij de twee installaties helemaal gelijk op lopen. Voor een belichte tomatenkas leidt dit tot 9% verlaging van de warmtevraag ($2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$). Voor een (onbelichte) paprikateelt leidt de uitvoering van het transparante doek als spouwscherm tot 5% verlaging van de warmtevraag ($1.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$), waarbij voor de vergelijkbaarheid van het teeltresultaat het spouwscherm overdag vaker wordt opengetrokken ter compensatie van de lagere lichtdoorlatendheid van een spouwscherm ten opzichte van een enkel transparant scherm.

In de Gerberateelt leidt de uitvoering van het verduisteringsscherm als spouwscherm ook tot 5% verlaging van de warmtevraag ($1.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$).

Wanneer in de bovengenoemde situaties het extra scherm niet als spouwscherm zou zijn aangebracht, maar als extra doek plat op het bestaande doek dan zouden de besparingscijfers respectievelijk 0.3, 0.5 en $-0.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ zijn geweest. De paprikateelt gaat in dat geval dus zelfs meer warmte verbruiken omdat het veel donkerder dubbel schermdoek overdag vaker moet worden geopend om toch nog voldoende licht in de kas te krijgen voor de groei van de paprika's. De besparing die het plat op elkaar gelegde doek dan 's nachts oplevert wordt meer dan teniet gedaan door het verlaagde schermgebruik overdag.

Als er een tweede doek wordt geplaatst in een bestaand schermstelsel dan levert de uitvoering daarvan als spouwscherm dus een duidelijk voordeel op ten opzichte van een systeem waarin de doeken plat op elkaar zijn gelegd.

Uiteraard is het besparingseffect van een extra doek groter wanneer dit in een apart bestuurbare systeem wordt geplaatst. Hierdoor wordt de keuzevrijheid in doektypen vergroot en kunnen de doeken selectiever worden ingezet.

Het effect van een extra doek in combinatie met een extra schermstelsysteem verdubbeld het energiebesparingseffect. In de belichte tomaten- en Gerberateelt is de energiebesparing van dat extra doek dan 15% (ten opzichte van een kas met alleen een donkerdoek). In de Paprikateelt is de besparing van een extra doek in een extra schermstelsysteem 9%. Dit is lager dan de besparingen in de andere twee teelten omdat juist in de koudste periode van het jaar een paprikakas in de regel gebruik maakt van een permanent foliescherm. Daardoor vormt het extra beweegbare doek dus in feite een 3^e doek.

In absolute zin zijn de besparingscijfers van een extra doek in een extra schermstelsysteem 4.5 m³/m²(m² jr) voor de tomatenteelt, 3.1 m³/(m² jr) voor de Gerberateelt en 2.0 m³/(m² jr) voor de Paprikateelt.

Als het extra doek niet in een apart systeem wordt gemonteerd, maar als spouwscherm dan zijn de berekende besparingscijfers 2.5 m³/m²(m² jr) voor de tomatenteelt, 1.1 m³/(m² jr) voor de Gerberateelt en 1.2 m³/(m² jr) voor de Paprikateelt.

In deze cijfers is meegenomen dat het warmteverbruik van kassen de komende jaren ook zonder extra maatregelen afneemt wanneer de huidige trend in de buitentemperatuur doorzet. In de afgelopen jaren ging het om 0.12 °C per jaar, en als het minder vaak koud is hoeft er sowieso minder gestookt te worden. Een lagere stookbehoefte verlaagt het energiebesparingspotentieel van maatregelen die op een betere isolatie zijn gericht. Niet zozeer in procentuele zin, maar wel in absolute zin.

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



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1521



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
