

Modelberekeningen schermconfiguraties en -gebruik

Rapport WP3 onderdeel 2d



Disclaimer:

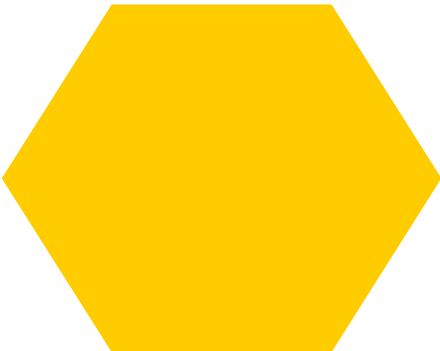
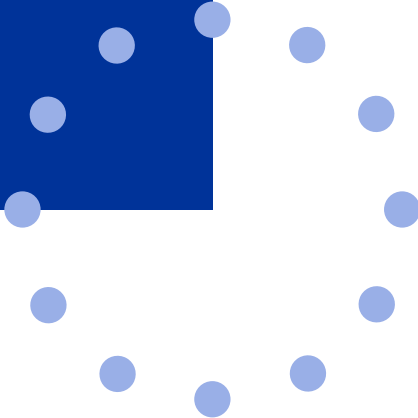
Hoog
mikken voor
de lage landen!

grensregio.eu

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	3
2.	<i>Het KASPRO model – modelberekeningen van de energiebesparing van een kas</i>	5
2.1.	<i>Energiebalans kas</i>	6
2.2.	<i>Energiestromen scherm</i>	6
3.	<i>Het ENERGLIK schermtool – modelberekeningen voor schermconfiguratie en -gebruik</i>	9
3.1.	<i>Kasconstructie</i>	10
3.2.	<i>Buitenklimaat</i>	11
3.3.	<i>Keuze instellingen</i>	12
3.4.	<i>Ontvochtigen</i>	15
3.5.	<i>Schermen</i>	19
3.6.	<i>Overzicht resultaten</i>	21
4.	<i>Resultaten energiebesparing – modelberekeningen voor typische praktijksituaties</i>	25
4.1.	<i>Inputs</i>	25
4.2.	<i>Resultaten</i>	25
5.	<i>Conclusies</i>	28

1. Inleiding



De energiebesparing van een schermmateriaal wordt bepaald door de **materiaaleigenschappen van het schermdoek** en door het gebruik van de tuinder. Belangrijke materiaaleigenschappen zijn de doorlatendheid van warmtestraling en de emissie. Indien materialen en meer open structuur hebben zijn ook de lucht- en vochtdoorlatendheid belangrijk. Daarom beschikt WUR LightLab over speciale meetapparatuur om materiaaleigenschappen onder gestandaardiseerde omstandigheden te bepalen. Materialen zijn op de beschreven manier gemeten (zie rapport 3_2_b).

Vervolgens moeten gemeten materiaaleigenschappen van een schermdoek worden vertaald naar de mogelijke **energiebesparing tijdens het gebruik van de teler**. In WUR LightLab gemeten eigenschappen kunnen in computermodellen worden ingelezen, welke vervolgens kas, klimaat, energie en gewasperformance kunnen berekenen. Het is bekend dat het gebruik van het scherm door een teler bepaald hoeveel schermuren worden gemaakt en op welk moment. Het toelaten van hogere vochtgehaltes in een kas en het gebruik van licht- en temperatuurintegratie (zie ook Het Nieuwe Telen) hebben direct invloed op het schermgebruik en dragen direct bij aan de energiebesparing. Modellen kunnen hierin een beter inzicht geven.

Binnen ENERGLIK is het eerder ontwikkelde energie- en **kasklimaatmodel KASPRO** aangepast en op onderdelen additioneel gevalideerd. Het model is continue in ontwikkeling. Beschikbaarheid van nieuwe detailkennis kan leiden tot uitbreiding en verder verbetering van het model. Op basis van het KASPRO model is in ENERGLIK een schermtool ontwikkeld waarmee kan worden gerekend aan de energiebesparing van schermen.

Het **ENERGLIK schermtool** maakt gebruik van het kasklimaatmodel welke de vertaalslag maakt van de gemeten schermeigenschappen in WUR LightLab én het gebruik van de teler. Binnen het project gemeten schermdoeken en hun eigenschappen kunnen in het tool worden geselecteerd. Het gebruik van een of meerdere schermen kan in het tool worden ingesteld. Hierbij horen schermsetpoints afhankelijk van buitentemperatuur en -licht, setpoints van kasluchttemperatuur, -vocht en CO₂ concentratie. Een gewas kan worden geselecteerd inclusief zijn plantdatum en teeltperiode. Naast schermen kan andere apparatuur zoals diverse ontvochtingsapparatuur en bijhorende setpoints worden geselecteerd en eventueel het type belichting met bijhorende setpoints. Door een bepaalde locatie van de kas en teelt te kiezen wordt het bijhorende weer ingelezen. Het tool berekent dan het energieverbruik en geeft inzicht in het gerealiseerde kasklimaat.

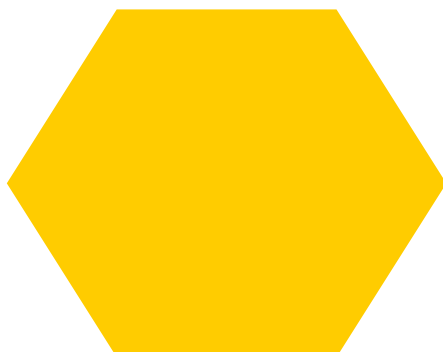
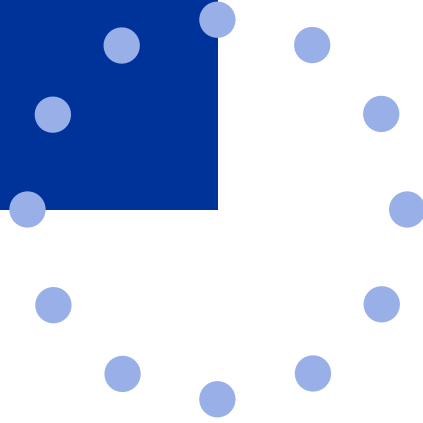
Zo kunnen met het ENERGLIK schermtool berekeningen worden gedaan voor het energieverbruik van diverse schermmaterialen en -gebruik voor diverse praktijksituaties om toeleveranciers informatie te geven over toekomstige materiaalontwikkeling en eindgebruikers (telers) te kunnen adviseren over slimme keuzes van materiaal en schermgebruik.

Wat kunnen wij met het model? Er kunnen **alternatieve scenario's** worden berekend van een voor de praktijk relevante kas/gewas/schermconfiguratie, zoals de keuze/selectie van een ander schermdoek, het eerdere of latere sluiten van een schermdoek, de besparing door een tweede of derde schermdoek. Dit geeft een teler snel inzicht in strategische investeringsbeslissingen (nieuw schermdoek, meerdere schermdoeken) of operationele beslissingen (ander gebruik). Grafieken geven inzicht in het energieverbruik, de warmte en de elektriciteitsvraag, maar ook in het gerealiseerde vocht, de lichtsom, de CO₂ concentratie en de gewasverdamping in de kas.



2. Het KASPRO model

Modelberekeningen van de energiebesparing van een kas



2.1 Energiebalans kas

Voor het modelleren van de energiebalans van een kas is eerder het dynamische kasklimaat en energie model KASPRO ontwikkeld en gevalideerd voor verschillende aspecten van het systeem (De Zwart, 1996¹). Het dynamische simulatiemodel kan een virtuele kas simuleren op basis van vooraf gedefinieerde kasconstructie en kasdekmaterialen, geselecteerde apparatuur en -capaciteiten, geselecteerde klimaatinstellingen voor een gedefinieerd gewas, en het buitenklimaat van een specifieke locatie van de kas. Onder andere kunnen schermtypen worden geselecteerd waarbij de gemeten eigenschappen van de bijbehorende schermmaterialen worden gebruikt als input. Uitput zijn verschillende gerealiseerde klimaatparameters en prestatie-indicatoren, zoals energieverbruik. Het model is gebaseerd op de berekening van relevante warmte- en massabalansen (Bot, 1983²). De warmtebalansen beschrijven zowel de convectieve als de stralingsprocessen. Het kasklimaat wordt geregeld door een replica van commercieel verkrijgbare klimaatregelaars.

2.2 Energiestromen scherm

In het model worden de energiestromen in een kas met speciale aandacht op schermen beschreven zoals weergegeven in de figuur hieronder. Overdag is de inkomende energie uit zonnestraling belangrijk (UV-, PAR- en NIR-transmissie, reflectie, absorptie van het kasdek en het scherm indien deze gesloten is), waarvan de hemisferische PAR lichttransmissie een grote invloed op de gewasproductie heeft (a.). Overdag en 's nachts speelt het energieverlies via thermische straling een grote rol (TIR-transmissie, TIR-reflectie en emissie van het kasdek en het scherm indien deze gesloten is) (b.). Verder bepalen speelt het energieverlies van voelbare warmte een rol (convectie van en naar het schermoppervlak en uitwisselingen door het scherm in geval van permeabiliteit van het materiaal) (c.) en het energieverlies van latente warmte (uitwisseling door het scherm in geval van permeabiliteit van het materiaal en eventueel door condensatie aan de onderkant van het schermmateriaal, watertransport door het materiaal door hygroscoopie en verdamping aan de bovenkant van het schermmateriaal) (d.).

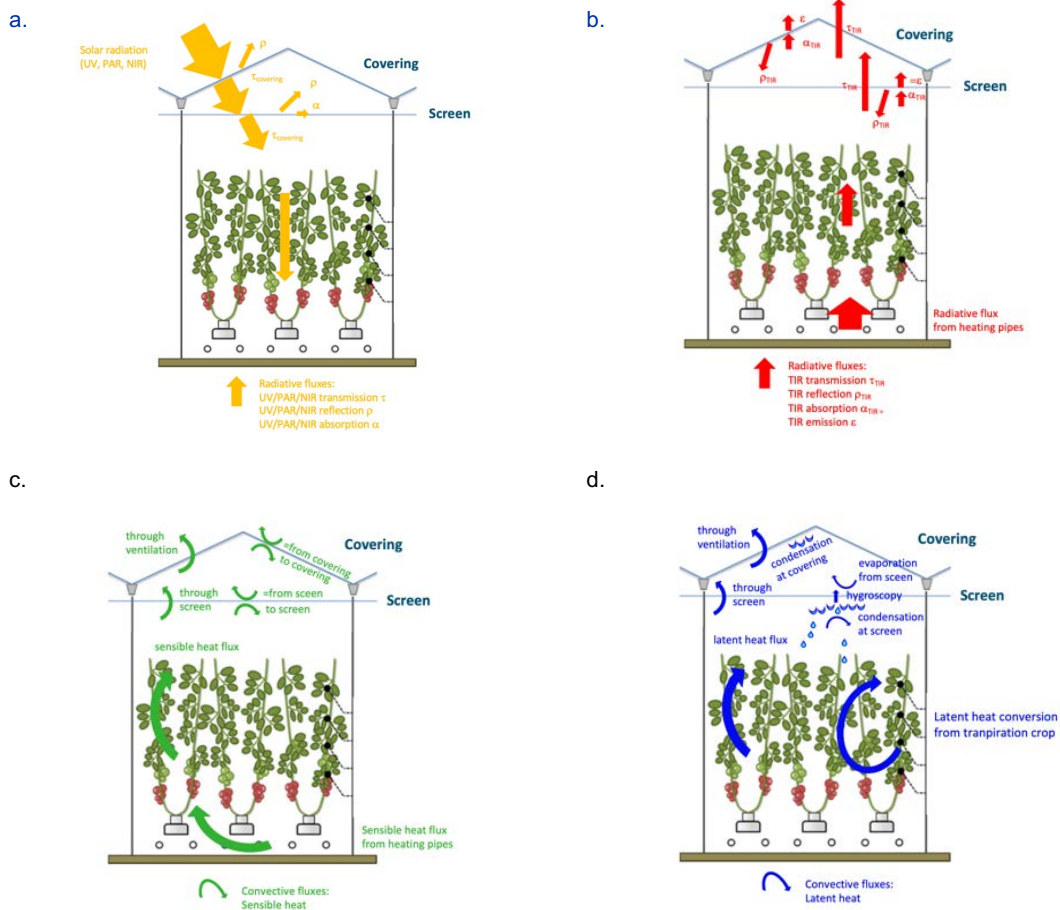
Alle energiestromen zijn grotendeels afhankelijk van schermeigenschappen die sterk kunnen variëren afhankelijk van het schermtype. Bijvoorbeeld, dichte folies die worden gebruikt in een deel van het teeltseizoen hebben doorgaans een lage of geen lucht- en vochtdoorlatendheid, dus energieverliezen worden bepaald door thermische stralingseigenschappen; open schermmaterialen kunnen een hoger lucht- en vochtigheidstransport hebben.

De verschillende schermmateriaaleigenschappen (optische eigenschappen, thermische stralingseigenschappen, lucht- en vochttransport eigenschappen) kunnen worden gemeten met gestandaardiseerde meetapparatuur in droge en natte omstandigheden (zie rapport WP3 taak 2b). Deze schermeigenschappen worden vervolgens gebruikt als invoer voor het KASPRO-model om de energiebalans te berekenen onder gedefinieerde situaties om meer te weten te komen over mogelijke materiaalverbeteringen of onder dynamische omstandigheden om het algehele energiebesparingspotentieel van schermen te berekenen voor een teler onder vooraf gedefinieerde teeltomstandigheden.

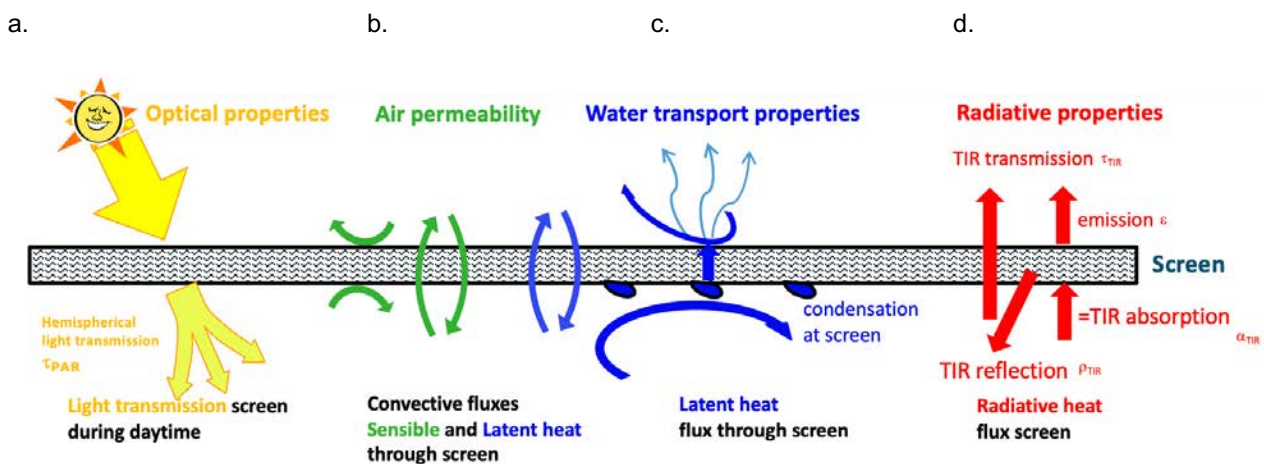
¹ De Zwart, H.F. (1996) Analysing energy saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Doctoral thesis, Wageningen University, The Netherlands.

² Bot, G.P.A. (1983) Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Doctoral thesis. Agricultural University Wageningen, The Netherlands.





Figuur 1 Energiestromen in een kas met hierin een gesloten scherm, verdeeld in a. inkomende zonnestraling (transmissie, absorptie, reflectie van zonnestraling) en b. uitgaande warmtestraling (transmissie, emissie en reflectie van warmtestraling), c. voelbare warmte (luchtuitwisseling door het scherm in geval van een luchtdoorlatend schermmateriaal en convectie rond het schermoppervlak) en d. latente warmte (uitwisseling door het scherm als gevolg van een doorlatend schermmateriaal en eventueel als gevolg van condensatie aan de onderkant van het schermmateriaal, watertransport door het materiaal en verdamping aan de bovenkant van het schermmateriaal).



Figuur 2 Eenvoudig overzicht van de energiestromen bij een scherm, verdeeld in a. inkomende zonnestraling (transmissie, absorptie, reflectie van zonnestraling, geel) en b. uitgaande warmtestraling (transmissie, emissie en reflectie van warmtestraling, rood), c. voelbare warmte (luchtuitwisseling door het scherm in geval van een luchtdoorlatend schermmateriaal en convectie rond het schermoppervlak, groen) en d. latente warmte (uitwisseling door het scherm als gevolg van een doorlatend schermmateriaal en eventueel als gevolg van condensatie aan de onderkant van het schermmateriaal, watertransport door het materiaal en verdamping aan de bovenkant van het schermmateriaal, blauw).



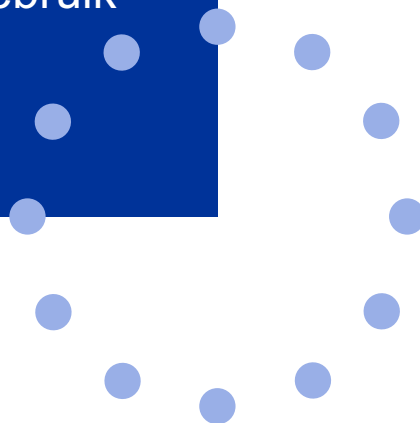
Op basis van vooraf gegeven buitenklimaatcondities (bijv. zonnestraling, luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en -richtingen), de vooraf bepaalde kasklimaatinstellingen (bijv. luchttemperatuur, luchtvochtigheid) en de gemeten eigenschappen van het schermmateriaal in droge en natte omstandigheden (gemeten TIR-transmissie, TIR-reflectie en emissie [-], gemeten luchtdoorlatendheid [$m \cdot 10^{-7}$], vochttransport [$g/m^2/h$] en hygroscofie [-]) bepaalt het KASPRO-model de energiestromen bij een scherm. Vanuit de gewenste kasluchttemperatuur [$^{\circ}C$], relatieve vochtigheid [%] of absolute vochtigheid [g/m^3] met tegelijkertijd een gegeven buitenluchttemperatuur [$^{\circ}C$], relatieve vochtigheid [%] of absolute vochtigheid [g/m^3] worden de andere toestanden automatisch berekend op basis van warmte- en massabalansen.

Afhankelijk van de berekende schermtemperatuur [$^{\circ}C$] en het berekende dauwpunt [$^{\circ}C$] wordt bepaald of het scherm droog of nat is. In het geval dat het scherm droog is, worden alle gemeten eigenschappen onder droge omstandigheden als invoer genomen, in het geval dat het scherm volledig nat is, worden eigenschappen onder natte omstandigheden als input genomen. Een overgangsfase tussen droge en natte omstandigheden wordt aangenomen tijdens de dynamische berekening van de energiestromen. In dat geval worden gemeten schermeigenschappen lineair geïnterpoleerd tussen droge en natte eigenschappen, afhankelijk van de scherm-nat-factor (0-1). De scherm-nat-factor wordt bepaald door de geaccumuleerde hoeveelheid water aan de onderkant van het scherm te berekenen ten opzichte van de maximale hoeveelheid water die daar kan worden vastgehouden voordat het begint af te druppelen. Voor stralingseigenschappen wordt verondersteld dat de gemeten droge eigenschappen veranderen naar 0,05 voor TIR-transmissie, 0,05 voor TIR-reflectie en naar 0,9 voor emissie als het materiaal volledig nat is. Deze aannames worden gedaan zolang er nog geen échte gemeten waardes beschikbaar zijn. Voor de luchtdoorlatendheid worden de scherm eigenschappen droog en nat gemeten. De hygroscofieparameter wordt experimenteel bepaald en zal 0 zijn in natte omstandigheden voor dichte folies welke geen water van de onderkant naar de bovenkant kunnen uitwisselen.



3. Het ENERGLIK schermtool

Modelberekeningen voor
schermconfiguratie en -gebruik



Het energiebesparingseffect van schermen wordt bepaald door de schermeigenschappen, maar ook door de kaseigenschappen, het schermgebruik, de wijze waarop het kasklimaat geregeld wordt, het gewas en de buitenomstandigheden. Bovendien moet er voor een beoordeling van het potentieel vooral worden gekeken naar het jaarrond-resultaat.

Om de jaarrond besparing van een scherm in afhankelijkheid van al deze invloedfactoren te kunnen berekenen is het ENERGLIK schermtool ontwikkeld. Deze tool stelt de gebruiker in staat om de besparingen te berekenen onder zelf samen te stellen randvoorwaarden. Verschillende locaties, verschillende buitenomstandigheden (door specifieke jaren te kiezen), verschillende gewassen (tomaat, paprika, komkommer), temperatuur- en vochtregimes en verschillende ontvochtigingssystemen.

Hierna worden de achtergronden van het model beschreven. Het model kent diverse parameters waarmee de kas en de klimaatregeling kan worden geconfigureerd, maar om de drempel voor het gebruik van de schermtool te verlagen zijn er voor een groot aantal van die parameters vaste waarden gebruikt. Daar waar relevant worden deze in dit document beschreven. De focus van de tool ligt op de keuze van de ontwikkelde ENERGLIK schermen en het schermgebruik, naast de keuze voor verschillende ontvochtigingssystemen en setpoints. Hiermee kunnen door de gebruiker scenario's worden berekend. Resultaten worden uitgedrukt in gerealiseerd kasklimaat, schermgebruik, ontvochtigingsgebruik en energieverbruik voor verwarming en elektra.

3.1 Kasconstructie

De schermtool gaat uit van een glazen Venlo-kas met een 'kale' gemiddelde lichttransmissie van 72%. Dit is de transmissie van het kasdek, inclusief nok, goten ramen en roeden, verminderd met de onderschepping van de basis constructie-elementen daaronder (tralies, luchtmechaniek en gewasdraden). Wanneer er schermen aan de kas worden toegevoegd wordt de basis-transmissie 2% per scherm lager. Elk scherm heeft immers z'n installatie voor de besturing levert een zekere onderschepping als het scherm 'op pakket' ligt. Ook de toevoeging van belichting verlaagt de transmissie van de kas voor zonlicht vanwege de armaturen van de belichting. In het algemeen zijn er meer armaturen naarmate de belichtingsintensiteit hoger is, maar is de onderschepping weer wat minder als er voor een efficiëntere vorm van belichting wordt gekozen.

Het kasdek is voorzien van ramen die geopend worden wanneer de kas te warm wordt of wanneer de kas te vochtig wordt. De maximale ventilatiecapaciteit wordt gerealiseerd als de ramen voluit open staan. Hoe groot die ventilatiecapaciteit dan is hangt af van de windsnelheid en het temperatuurverschil tussen de kas en de buitenlucht. Als er meer dan 4 m/s wind is beloopt die ventilatiecapaciteit zo'n 80 m³/(m² uur), maar juist bij warm weer is de windsnelheid vaak wat minder. Onder zomerse omstandigheden komt de maximale ventilatiecapaciteit daarom vaak uit op 50 – 60 m³/(m² uur). In warme zomers kan de kaslucht dan wel tot zo'n 35 °C oplopen, maar het aantal uren dat dit voorkomt komt dan toch zelden boven de 20.

Als er geen specifiek ontvochtigingssysteem wordt gekozen zullen de ramen behalve op temperatuur ook op vocht openen. Als er wél ontvochtigingsapparatuur wordt gebruikt wordt het openen van de ramen gezien als een 'laatste redmiddel'. Pas als de ontvochtigingsapparatuur op maximale capaciteit werkt en eventuele schermen op de kier-stand staan en het desondanks vochtiger is dan gewenst dan worden de ramen geopend.

Ook als de ramen dicht zijn heeft de kas echter nog wel enige lek. Deze is gesteld op 1.5 m³/(m² uur) bij een gemiddelde windsnelheid van 4 m/s. De lek neemt naar rato van de windsnelheid toe of af, maar heeft een ondergrens van 0.4 m³/(m² s).

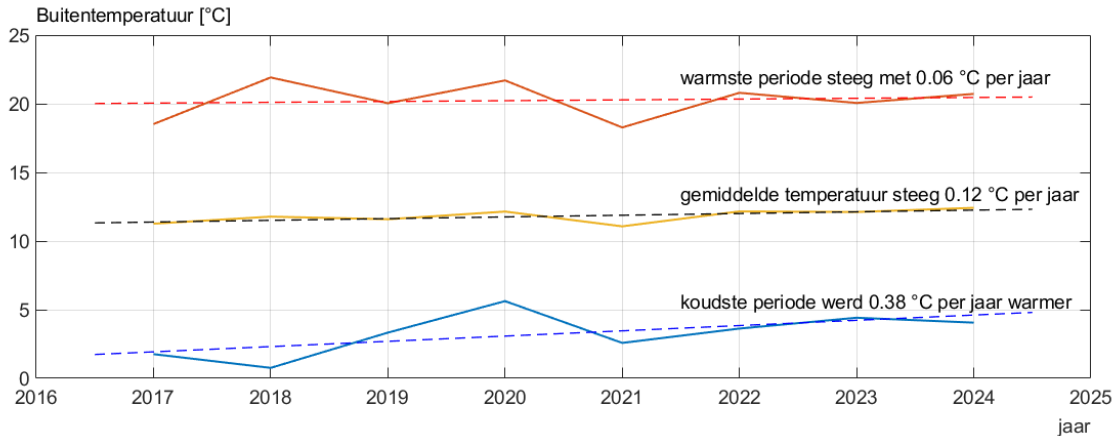
De kas is voorzien van een standaard buisverwarmingssysteem bestaande uit 51-ers als buisrail net en een groeibuis bestaande uit 28 mm buizen. De aanvoertemperatuur in de groeibuis is beperkt op 60 °C. De buisrail mag oplopen tot een aanvoertemperatuur van 75 °C. Met de huidige milde winters zullen deze maxima bij gebruik van schermen niet bereikt worden, maar bij een simulaties aan een kas zonder schermen komen deze maxima wel af en toe in beeld en zullen de streef-temperaturen soms niet gehaald kunnen worden.



3.2 Buitenklimaat

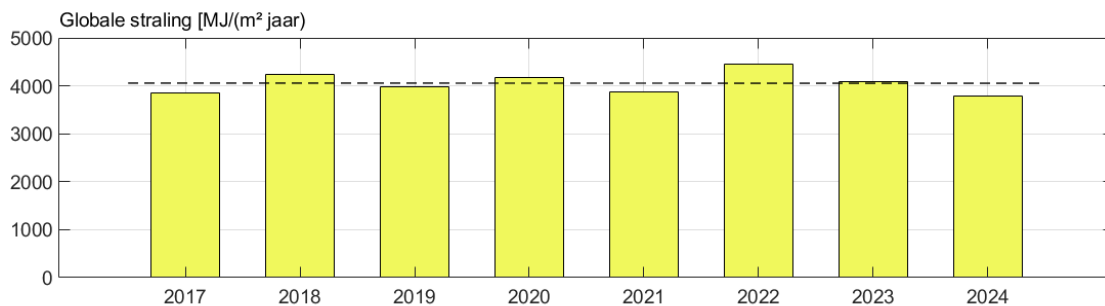
Het energiebesparingseffect van schermen hangt af van de buitenklimaatcondities. Dit geldt wellicht minder sterk voor de relatieve besparingspercentages, maar het geldt zeker voor de absolute besparingscijfers.

Het buitenklimaat is ieder jaar anders, vooral in de extremen (opvallende koude perioden en opvallende warme perioden). Dit is te zien in onderstaande figuur waar een aantal kenmerken van de buitentemperatuur over de afgelopen 8 jaar in Bleiswijk (nabij Rotterdam) wordt getoond. De grafiek toont het jaargemiddelde, samen met de gemiddelde temperatuur van de koudste en de warmste 4 (aaneengesloten) weken in dat jaar.



Figuur 3 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 Hoeveelheid zonlicht gemeten over de afgelopen 8 jaar in Bleiswijk, samen met de trendlijn (die nagenoeg horizontaal loopt).

Om gevoel te krijgen voor de invloed van buitenklimaat op de energiebesparing door een scherm zou dus bijvoorbeeld 2018 gekozen kunnen worden om de besparing te berekenen in een jaar met een duidelijke koude periode. Als 2020 wordt gekozen zal de energiebesparing in absolute zin kleiner zijn.

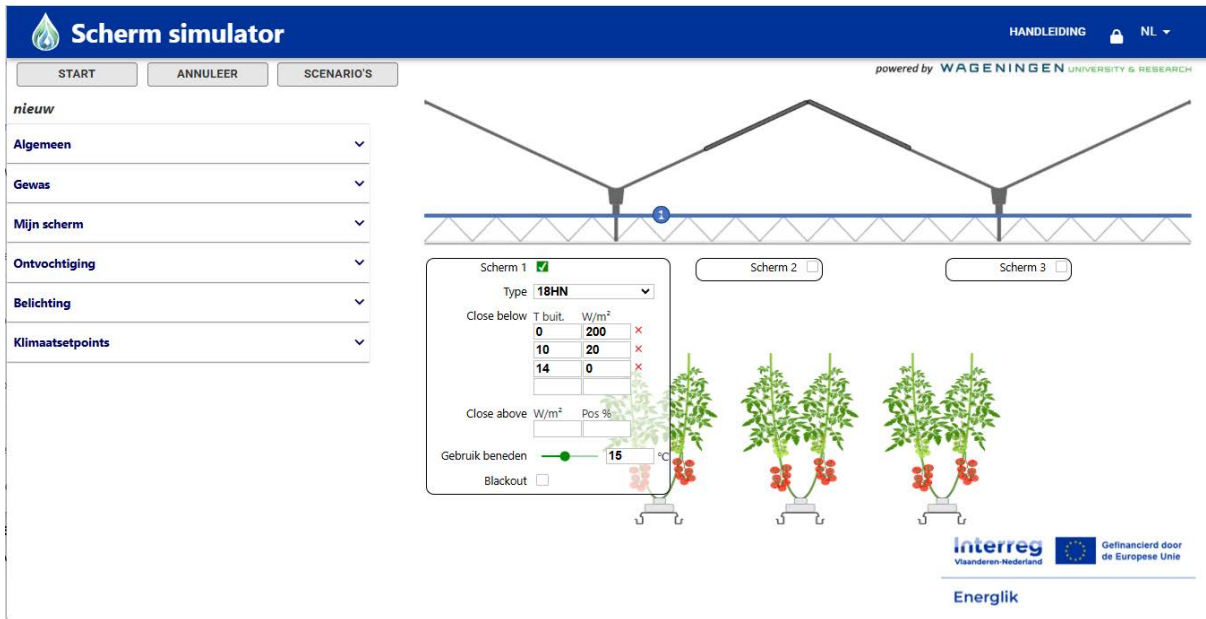
Afgaande op de grafieken lijkt 2023 een in alle opzichten gemiddeld jaar.

De tool heeft voor Bleiswijk de jaren 2017 t/m 2024 en voor Hoogstraten vooralsnog alleen 2024. Gedurende de looptijd van 2025 komen ook deze jaren voor beide locaties in de tool beschikbaar.



3.3 Keuze instellingen

De schermtool heeft aan de linkerkant een dit toegang geeft tot algemene instellingen. In het middenvak kunnen 0, 1, 2, of 3 schermen worden gekozen en geparameteriseerd (in onderstaande voorbeeld 1).



De scherm-instellingen hebben een prominente plaats omdat scherm en -gebruik in het ENERGLIK project centraal staat. De overige invulvelden zijn default dichtgeklapt en worden hieronder 1 voor 1 uitgelegd.

Algemeen ▼

Locatie	Bleiswijk (historisch) ▼
Simulatie startdatum	2023-01-01
Simulatie einddatum	2023-12-31

Onder het tabblad 'Algemeen' kan de simulatieperiode worden gekozen en de locatie waarvan de weersgegevens worden gebruikt. Voor Bleiswijk kan gekozen worden voor 2017 t/m vorige week. Voor Hoogstraten zijn er weergegevens voor 2024 t/m vorige week. Voor Bleiswijk kan ook voor een gemiddeld jaar gekozen worden. Dit is een set weergegevens zoals die door Meteonorm voor een specifieke locatie wordt gegenereerd. Meteonorm gebruikt daarvoor data over het tijdvak 1990-2010 en houdt dus geen rekening met de trend dat de temperatuur gemiddeld genomen stijgt. Als het tijdvak korter dan een jaar gekozen wordt kan met het model ingezoomd worden op een specifieke periode en wordt de rekentijd beduidend korter. Uiteraard kan het resultaat voor een berekening over een korte periode niet als jaargemiddelde prestatie worden beoordeeld.



Gewas ▼

Type **Komkommer** ▼

Planten/ruimen

Datum	Waarde
× 01-12	✓
× 15-06	□
× 01-07	✓
× 15-11	□
	□

Onder het tabblad 'Gewas' kan gekozen worden uit Tomaat, Komkommer en Paprika en kunnen ook de datums voor start en einde teelt worden aangegeven. Tomaat en Paprika zijn typisch jaarrond teelten, maar komkommer telt vaak twee, of soms drie plantingen per jaar. In bovenstaande voorbeeld wordt de eerste teelt geplant op 1 december en geruimd op 15 juni. Vervolgens staat de kas 2 weken leeg en start op 1 juli de tweede teelt. Deze tweede teelt loopt tot 11 november. Teelt- en ruimdatums moeten altijd in setjes van 2 worden ingevuld.

Belichting ▼

In gebruik

Lamptype **LED 2.3 umol/J** ▼

Intensiteit 200 umol/m²/s

Lichtperiode

Datum	Waarde
× 15-10	<input type="range" value="12"/> 12 uren
× 15-11	<input type="range" value="18"/> 18 uren
× 01-04	<input type="range" value="0"/> 0 uren
	<input type="range" value=""/> uren

Eindtijd

Datum	Waarde
× 01-01	<input type="range" value="19"/> 19 uur
	<input type="range" value=""/> uur

Stralingsgrens 150 W/m²

Max PAR som 30 mol/m²

Gewassen kunnen met of zonder belichting worden geteeld. Bij gebruik van belichting kan gekozen worden voor verschillende soorten LED's en één soort SON-T. Behalve het lamptype moet ook de belichtingsintensiteit worden gekozen.

In het voorbeeld is te zien hoe in het interface kan worden aangegeven in welke periode de belichting gebruikt wordt (hier van 15 oktober tot 1 april, waarbij eerst max 12 uur per dag en vanaf 15 november 18 uur per dag). De lampen hebben een eindtijd, (die kan variëren door het jaar), en een criterium voor de buitenstraling waaronder de lampen overdag ingeschakeld blijven.

De belichtingsregeling kijkt ook naar de ingevulde waarde voor de maximale lichtsom. Als de combinatie van belichtingsuren, lampintensiteit en buitenlicht tot een overschrijding van de maximale lichtsom leidt worden de lampen automatisch minder uren ingeschakeld.



Klimaatsetpoints
▼

Stooktemperatuur

Datum	Waarde	tijd	°C
✖ 01-01		r-1	16 ✖
		r+1	18 ✖
		s-1	18 ✖
		s+1	16 ✖
		tijd	°C

Ventilatielijn offset

Datum	Waarde
✖ 01-01	<input type="range" value="2"/>
	<input type="range"/>

Stralingsinvloed

begin,W	einde,W	Verhoging,°C
100	300	2

Luchtvochtigheid

tijd	% RV
r-1	92 ✖
r	87 ✖
s-1	87 ✖
s	92 ✖

Andere belangrijke keuzes voor het gewas is het gewenste kasklimaat. In het tabblad 'Klimaatsepoints' kan een temperatuurprofiel over de dag (relatief ten opzichte van zonsopkomst (r), van 'rise' of zonsondergang (s), van 'set', maar ook met behulp van klok-tijden zoals 2:30) worden ingevuld. In dit voorbeeld ligt de stooklijn van middernacht tot een uur voor zonsopkomst op 16 °C. Vervolgens wordt de kas in twee uur tijd opgestookt 18 °C. Een uur voor zonsondergang wordt de afbouw naar de nacht temperatuur ingezet, die 2 uur later bereikt is.

Voor een vlakke stooklijn volstaat het invullen van één tijdstip (en kies dan voor de duidelijkheid 0) en één waarde, maar wanneer er trajecten voor het temperatuurprofiel worden ingevuld zullen er altijd minstens 4 regels zijn. Er kunnen ook over het jaar heen verschillende temperatuur-profielen ingevuld worden.

Met de parameter 'Stralingsinvloed' kan de stooklijn met het zonlicht mee worden verhoogd. In bovenstaand voorbeeld staat de stooklijn overdag op 18 °C, maar als er bijvoorbeeld 200 W/m² zonnestraling zou zijn zou de stooklijn in het getoonde voorbeeld naar 19 °C zijn verhoogd. 200 W/m² is namelijk halverwege het traject waarover de stooklijn met, zoals ingesteld, 2 °C wordt verhoogd.

De ramen gaan open op temperatuur als de kaslucht daar weer 2 °C boven ligt.

Stel dat de hoeveelheid zonlicht bijvoorbeeld 500 W/m² zou zijn, ruim dus boven het traject van de stralingsinvloed. In dat geval zou de stooklijn op 20 °C zijn gebracht, maar de kas waarschijnlijk door het zonlicht vanzelf opwarmen tot een temperatuur boven de ventilatielijn. Die zou in dit geval op 20+2=22 °C liggen. Bij 500 W/m² zonlicht zal de kas wel warmer worden dan dat, dus zullen de ramen op temperatuur worden geopend.

Ook de luchtvochtigheid kan naar keuze als één waarde, of als profiel worden ingesteld, geheel analoog aan de instellingen van de stooklijn. Als er ontvochtigingsapparaten gebruikt worden geldt het aldus gedefinieerde luchtvochtigheidssetpoint als vertrekpunt voor de ontvochtiging. Ontvochtigingsapparaten worden vervolgens via een proportionele band opgeregeld. In het ENERGLIK schermtool wordt voor al deze apparaten een P-band van 3 %punten gehanteerd.



3.4 Ontvochtigen

Ontvochtiging	
Luchtramen	<input checked="" type="radio"/>
Mechanische ventilatie	<input type="radio"/>
Capaciteit	<input type="text" value="6"/> m ³ /m ³ /u
Warmteterugwinning	<input type="text" value="80"/> %
Schermventilator	<input type="radio"/>
Capaciteit	<input type="text" value="20"/> m ³ /m ³ /u
Interne ontvochtiging	<input type="radio"/>
Capaciteit	<input type="text" value="8"/> m ³ /m ³ /u

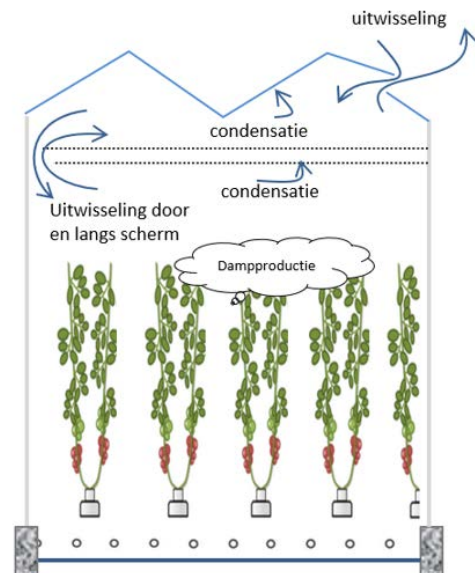
Het energiebesparend effect van schermen die weinig lucht en/of vocht doorlaten is erg afhankelijk van het ontvochtigingssysteem in de kas. Wanneer er geen specifieke ontvochtigingssysteem is loopt de luchtvochtigheid onder een scherm gemakkelijk op en moet het scherm op een kier worden getrokken. Dit beperkt natuurlijk het besparingseffect, en door te kiezen voor 'luchtramen' als ontvochtigingssysteem kan dit effect inzichtelijk worden gemaakt. In het onderstaande worden naast de nadere beschrijving van het openen van ramen op vocht ook de andere ontvochtigingssystemen toegelicht.

3.4.1 Ontvochtigen via luchtramen

Als in een kas de ramen worden opengezet zal er kaslucht worden uitgewisseld met buitenlucht en omdat de buitenlucht bijna altijd minder vocht bevat dan de kaslucht, althans voor gewassen die rond de 18°C of warmer gestookt worden, wordt er hierdoor vocht afgevoerd. De luchtuitwisseling tussen kaslucht en buitenlucht hangt af van de raamstand (en natuurlijk ook het raamoppervlak en de al dan niet aanwezigheid van insectengaas), de windsnelheid en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. En het hangt uiteraard af van het aantal schermen en de luchtdoorlatendheid van die schermen.

Bij winderig weer en volledig geopende ramen kunnen Nederlandse kassen al gauw 50 m³/(m² uur) lucht uitwisselen en als het buiten 15 °C is en 80 %RV en in de kas 18 °C en 85 %RV kan hiermee 50 m³/(m² uur) x (13.3 g/m³ - 10.4 g/m³) = 144 g/(m² uur) worden ontvochtigd. Die 13.3 en 10.4 g/m³ zijn de absolute vochtgehalten van respectievelijk de kaslucht en de buitenlucht onder de genoemde omstandigheden. Naarmate het buiten kouder of droger wordt en in de kas warmer of vochtiger, neemt de vocht-afvoer capaciteit toe. Afgezet tegen de verdamping van het gewas, die onder donkere omstandigheden tussen de 10 gr/(m² uur) voor weinig verdampende gewassen en 30 gr/(m² uur) voor veel verdampende gewassen ligt, is de ontvochtigingscapaciteit via de ramen in principe meestal ruim voldoende en kan de hoeveelheid afgevoerd vocht worden geregeld door de ramen naar behoefte open te zetten.

Omdat het effect van een zekere raamstand in de winter groter is dan in de zomer is de P-band waarover de ramen worden geopend bij lage temperaturen een stuk groter dan bij hoge temperaturen. Als het buiten 5 °C of kouder is wordt een P-band van 20 %punten gehanteerd. Dit betekent dat pas als de RV 20%-punten boven het setpoints zou liggen de



(lijzijdige) ramen volledig open zouden zijn. Uiteraard komt dit in de winter niet voor en zal er al bij een opening van bijvoorbeeld 5 of 10% voldoende vocht worden afgevoerd.

Is het buiten 15 °C of warmer dan is het effect van raam-opening op temperatuur en luchtvochtigheid minder groot en mag de regelaar dus grotere acties nemen. Bij 15 °C is de P-band daarom 5%-punten. Dit betekent dat de (lijzijdige) ramen volledig open zullen staan bij een setpoint-overschrijding van 5 %-punten. Tussen de 5 en 15 °C wordt de P-band proportioneel aangepast.

Wanneer ramen in combinatie met schermen worden gebruikt worden de ramen op vocht (en trouwens ook op temperatuur) gewoon geopend, ondanks dat schermen de uitwisseling tussen kas-compartiment en bovencompartiment bemoeilijken. Geopende ramen boven de schermdoek zullen immers ook dan helpen bij de afvoer van vocht (of warmte). Maar daar waar het openen van ramen door de obstructie van schermen onvoldoende soelaas biedt zullen er schermkieren worden getrokken om de uitwisseling tussen onder- en bovencompartiment te bevorderen.

3.4.2 Mechanische ventilatie

Met de opkomst van Het Nieuwe Telen zijn tuinders ontvochtigingssystemen gaan gebruiken die berusten op het nauwkeurig gedoseerd inblazen van buitenlucht. In vrijwel alle gevallen wordt de buitenlucht vanuit een paar punten van buiten aangezogen en via slurven met gaatjes door de kas verdeeld. Er zijn systemen waar de lucht bovenin de kas wordt ingeblazen en systemen waar de lucht van onderaf wordt ingeblazen.

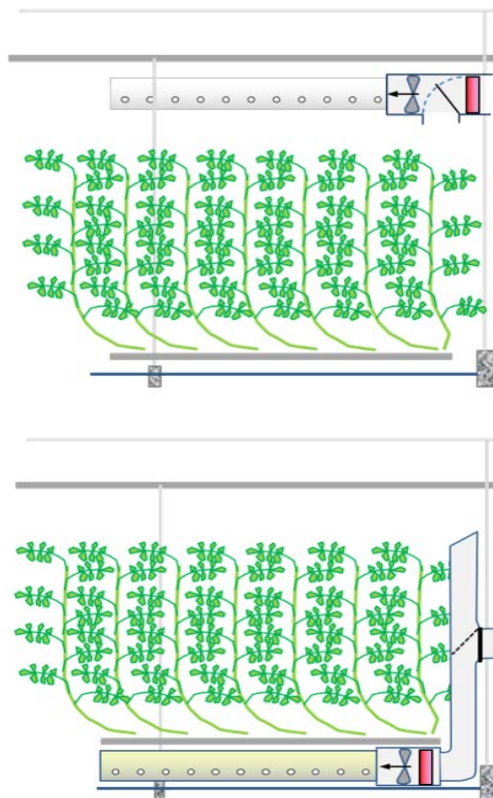
Het model gaat er van uit dat de lucht bij intrede in de kas wordt opgewarmd naar de stooktemperatuur. Er vindt bij dit ontvochtigingssysteem dus een verschuiving plaats van verwarming via de buizen naar verwarming via verwarmingsblokken in de lucht-inlaat kasten. De opwarming van de lucht voorkomt ook condensvorming op de verdeel-slurven.

Vanuit energetisch oogpunt maakt het overigens niet uit of de buitenlucht meteen al op kasluchttemperatuur wordt ingebracht of dat het als koude lucht wordt ingeblazen en via de buisverwarming wordt opgewarmd. In beide gevallen betreft de directe energiebehoefte voor deze vorm van ontvochtiging de opwarming van een x-aantal m³ buitenlucht naar de kasluchttemperatuur.

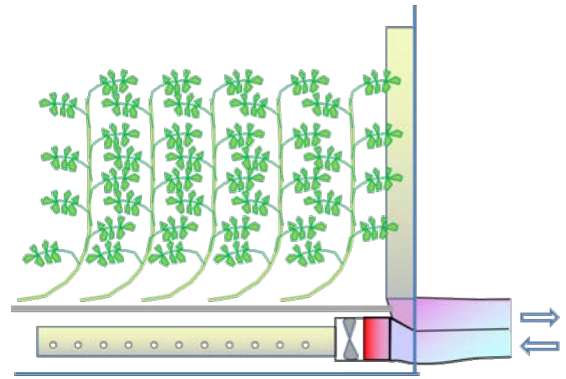
Naast het besparende effect van een precies regelbaar ontvochtigingsdebiet levert dit type ontvochtigingsapparaat een energiebesparend effect doordat het een gerichte luchtstroom vanuit het kascompartiment naar de ruimte boven het scherm levert. Hierdoor wordt de noktemperatuur wat hoger, en daardoor de schermtemperatuur, en wordt het stralingsverlies vanuit de kas wat kleiner.

De capaciteit van dit type ontvochtiger wordt in de tool aangegeven middels de hoeveelheid buitenlucht die kan worden ingeblazen. Qua besturing wordt hiervoor een proportionele regeling gebruikt die naar het maximum stuurt over een traject van 3 %-punten RV. Dus, als het RV-setpoint op 87% staat zal de ventilator op maximale capaciteit draaien als de kas 90% RV heeft. Is de kas vochtiger dan dat dan zullen ook de ramen open gaan lopen.

Bij de instellingen voor deze ontvochtiger is ook een invoerveld 'Warmteterugwinning'. Als deze boven de 0 wordt ingesteld er een balansventilatiesysteem verondersteld. In dat geval is er niet alleen een lucht-inlaat, maar ook een specifieke lucht-uitlaat. Het systeem heeft daarvoor inblaas- en uitblaasventilatoren.



Het principe van het apparaat is dat de uitgaande vochtige en warme kaslucht naar buiten wordt geleid terwijl het, gescheiden door een dunne plaat, langs de tegelijkertijd binnenkomende buitenlucht stroomt. De buitenlucht warmt hierdoor op. Hiermee komt de buitenlucht al bijna op kasluchttemperatuur de kas binnen, zodat het voelbare warmteverlies van het 'gewone' buitenlucht systeem deels wordt voorkomen. Als de warmtewisselaar in de elkaar kruisende luchtstromen heel groot zou zijn komt de droge buitenlucht op dezelfde temperatuur binnen als de af te voeren vochtige kaslucht. In dat geval zou 100% van de voelbare warmte teruggewonnen worden. In de praktijk is de warmtewisselaar echter beperkt van afmeting en vaak is ook het uitgaande debiet wat kleiner dan het ingaande luchtdebiet. Hierdoor zijn de terugwin percentages in de praktijk ergens tussen de 70 en 80%.



Concreet betekent dit dat bij een 10 °C temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenlucht de binnenkomende lucht maar 3 tot 2 °C kouder is dan de kaslucht.

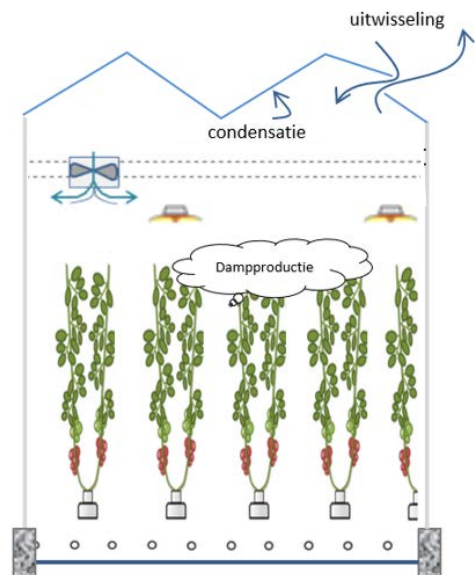
In geval de kaslucht behoorlijk vochtig is en de buitenlucht koud zal er zeker water in de warmtewisselaar condenseren. Dit wordt vaak aangehaald als argument dat deze apparaten niet alleen voelbare, maar ook latente warmte terugwinnen. Het is juist dat er latente warmte wordt gewonnen, maar het wordt niet 'terug'gewonnen. De latente warmte helpt om de temperatuur van de ingaande lucht omhoog te krijgen, dus om de voelbare warmte terug te winnen. De passieve lucht/lucht wisselaar in deze ontvochtiger brengt de ingaande lucht nooit op een hogere temperatuur dan de af te voeren kaslucht en kan dus nooit meer dan de voelbare warmte worden terugwinnen.

Het feit dat het balansventilatiesysteem de uitgaande lucht vanonder het scherm trekt maakt dat er met deze vorm van ontvochtiging geen (bij 100% balansventilatie), of in ieder geval een veel kleinere (bij bijvoorbeeld 80% balansventilatie), gerichte luchtstroom door het scherm optreedt. Het gewas krijgt met dit systeem dus met wat meer uitstraling te maken, waardoor het overall besparingseffect op het warmtegebruik wat kleiner is dan verwacht zou worden op basis van de teruggewonnen voelbare warmte.

3.4.3 Schermventilator

Vooral in kassen met belichting, waardoor de vochtproductie, en dus ook de ontvochtigingsbehoefte aanzienlijk kan zijn (ordegrootte 70 gr/(m² uur)) kunnen schermen een te grote obstructie zijn om het vocht op passieve manier af te voeren. In dat geval kunnen schermventilatoren helpen om zonder grote schermkieren het vocht toch afgevoerd te krijgen.

De benodigde raamstanden boven het gesloten scherm worden hierdoor gemiddeld kleiner. Een schermventilator maakt de ontvochtiging iets energiezuiniger omdat de kas door het gesloten houden van de schermen iets minder straling verliest. Echter, omdat schermventilatoren vooral in de belichte teelt worden toegepast waar perioden met een te hoog vochtgehalte vaak samenvallen met perioden waarin de kas door de warmte-input van de lampen toch al te warm was zullen schermventilatoren nauwelijks bijdragen aan de verlaging van de verwarmingsbehoefte.



3.4.4 Interne ontvochtiging

De toepassing van interne ontvochtiging maakt van de kas een gesloten kas. Als er geen licht is ontstaat er in de kas een energie-kringloop waarin het gewas energie aan de kaslucht onttrekt en als latente warmte in de vorm van vocht aan de kaslucht afgeeft. Bij een intern ontvochtigingssysteem is er vervolgens een koelblok waarop dit vocht condenseert en de eerder onttrokken verdampingswarmte afgeeft op het koelblok. Het koelblok wordt koud gehouden middels een warmtepomp die de energie die aan het koelblok is afgegeven op een hogere temperatuur brengt (in de praktijk rond de 45 °C) zodat deze voor de kasverwarming kan worden gebruikt. De netto warmte die de ontvochtiger oplevert is de latente warmte die aan het koelblok is afgegeven, plus het stroomverbruik van de compressor, die ook aan de warme kant van de warmtepomp vrijkomt. De voelbare warmte die op het koelblok wordt opgenomen is geen netto energie-winst, want het is precies deze warmte die aan de ontvochtigde lucht moet worden toegevoegd om te voorkomen dat de ontvochtiger de kas koelt. Zelfs de latente warmte die op het koelblok wordt onttrokken helpt feitelijk niet voor het warmhouden van de kas want deze latente warmte was even daarvoor door het gewas opgenomen bij de gewasverdamping.

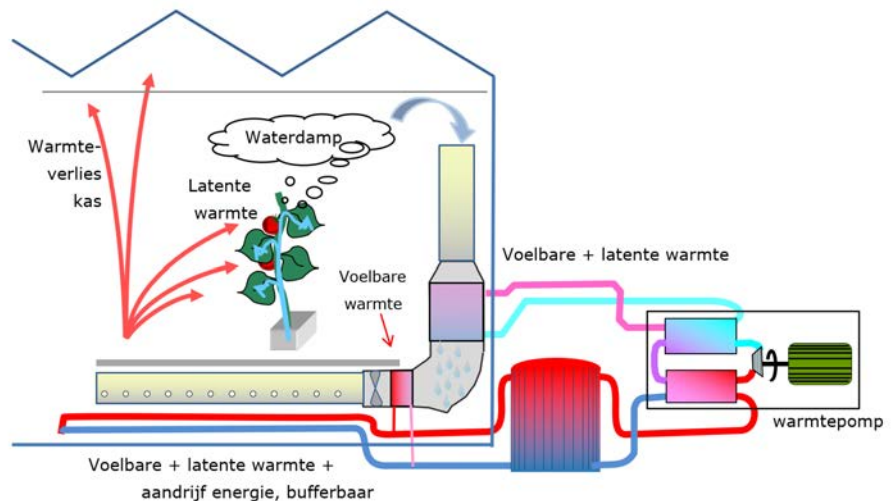
Met een overall performance van 2 liter per kWh voor een gemiddelde interne ontvochtiger op basis van een luchtbehandelingskast komt er bij een ontvochtigingscapaciteit van bijvoorbeeld 20 gr/m² zo'n 24 W/m² aan warmte voor de kasverwarming beschikbaar. Als er geen vocht via schermen of kieren weglekt zal het gewas daarvan 14 W/m² gelijk weer gebruiken voor de verdamping en is er nog 10 W/m² over voor de compensatie van energieverliezen van de kas.

Zodra er echter (zon)licht in de kas komt is het vooral de absorptie van dat licht dat de energie-input voor de verdamping wordt, waardoor de warmte-output van de warmtepomp niet meer nodig is voor de verdampingswarmte van het gewas. Ook zal de kas opwarmen vanuit het zonlicht. De warmtepomp gaat dan al gauw meer warmte produceren dan er op dat moment in de kas nodig is.

Voor die situatie veronderstelt het simulatiemodel de aanwezigheid van een korte termijn buffer, waardoor warmte-overschotten uit de dagperiode kunnen worden

gebruikt voor de nacht-periode. De buffercapaciteit is echter beperkt (max 0.250 kWh/m²) en tijdens perioden met kleine warmtevraag en grote ontvochtigingsbehoefte zal de ontvochtiger uitgezet worden en schakelt het model over op het openen van ramen om het vocht af te voeren. Uiteraard betekent dit een verlies van energie, maar met de warmtebuffer gevuld met, althans voor een deel, duurzame energie is dit geen probleem. Een nóg energiezuiniger optie is het toevoegen aan een seizoensbuffer aan het systeem, maar dit valt buiten de scope van ENERGLIK.

De capaciteit van de interne ontvochtiger wordt ingesteld met de luchtcirculatie capaciteit. Een capaciteit van 10 m³/(m² uur) biedt een ontvochtigingscapaciteit van 20 tot 25 gram/(m² uur), afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid in de kas.



3.5 Schermen

3.5.1 Mijn scherm

Mijn scherm

Permeabiliteit (x1e-7)	Droog	Nat
	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.6"/>
Hygroscopy	<input type="range" value="0"/>	
Zichtbaar licht	<input type="text"/>	
Hemisferische transmissie	<input type="range" value="70"/>	<input type="text" value="70"/> %
Loodrechte transmissie	<input type="range" value="80"/>	<input type="text" value="80"/> %
Absorptie bovenkant	<input type="range" value="4"/>	<input type="text" value="4"/> %
Absorptie onderkant	<input type="range" value="4"/>	<input type="text" value="4"/> %
Warmtestraling	<input type="text"/>	
Transmissie [-]	Droog	Nat
	<input type="text" value="0.73"/>	<input type="text" value="0.05"/>
Emissie bovenzijde [-]	Droog	Nat
	<input type="text" value="0.03"/>	<input type="text" value="0.85"/>
Emissie onderzijde [-]	Droog	Nat
	<input type="text" value="0.03"/>	<input type="text" value="0.85"/>

Ten slotte het belangrijkste onderdeel van de tool, de schermkeuze.

Met behulp van de parameters die onder het kopje 'Mijn scherm' scherm staan kan een scherm naar eigen inzicht worden samengesteld. Let op; deze waardes worden alleen gebruikt als er bij de schermtype voor schermtype MyScreen wordt gekozen.

Voor een aantal schermeigenschappen kan kunnen verschillende waardes worden ingevuld voor een scherm in droge of in natte toestand. Dit is logisch voor de langgolvlige stralingseigenschappen zoals transmissie en emissie en ook voor de permeabiliteit. De waarden die hier als voorbeeld zijn gebruikt gelden voor een doek met een lage permeabiliteit.

Geweven doeken met een hoge permeabiliteit of folies met veel gaatjes hebben een permeabiliteit $1.2 \cdot 10^{-7}$ tot $1.8 \cdot 10^{-7}$. Merk op dat de 10^{-7} niet ingevuld moet worden.

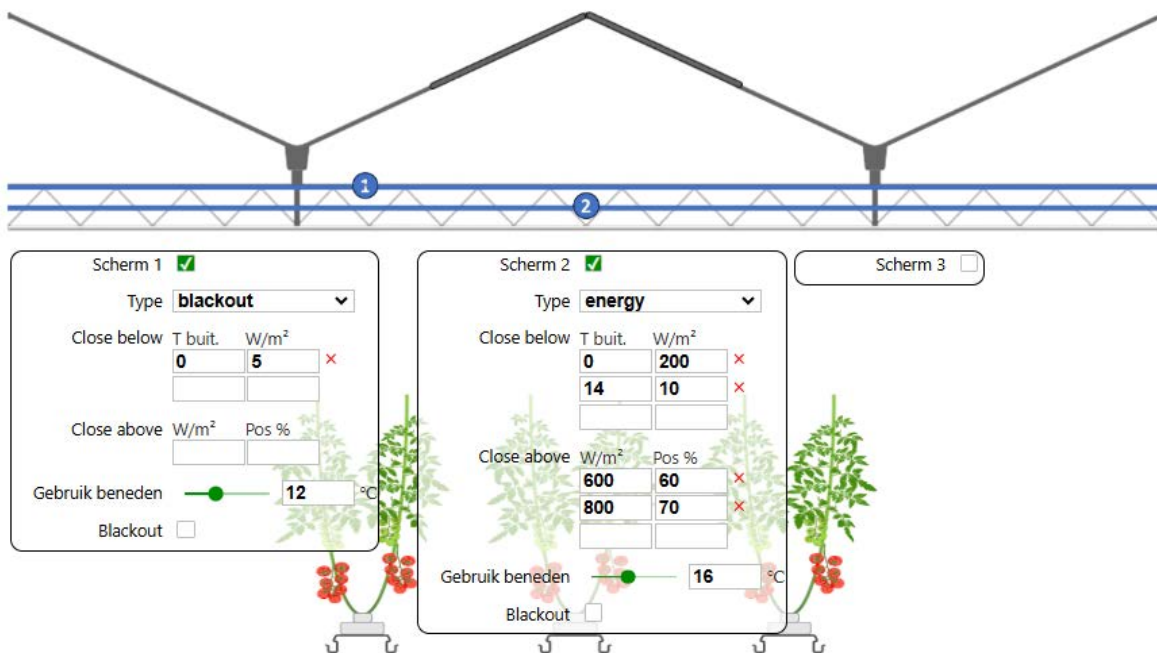
De hygroscopy is een parameter die aangeeft of condens van de onderkant van het scherm naar de bovenkant van het scherm kan bewegen. Als dit niet kan, zoals bij folies stat hier een 0. Schermen die gemakkelijk vocht van onder naar boven transporteren hebben een hygroscopie 1. Andere materialen liggen vaak ertussen.

Bij de transmissie parameters voor zichtbaar licht is voor energieschermen de hemisferische transmissie de belangrijkste factor. Energieschermen worden immers overdag voornamelijk gebruikt onder sombere, bewolkte omstandigheden. Voor schaduwschermen moet ook de transmissiefactor voor loodrecht licht worden ingevuld. Het model rekent overigens met een hoekafhankelijke tabel voor de doorlatendheid van het scherm voor direct licht, maar deze standaard tabel wordt geschaald aan de hand van de doorlatendheid die hier voor loodrecht licht wordt opgegeven.

De absorptie-coëfficiënten voor zichtbaar licht kunnen verschillend zijn wanneer er zwart/witte doeken worden gebruikt.



3.5.2 ENERGLIK schermen



Met de schermtool kan gerekend worden aan verschillende binnen ENERGLIK ontwikkelde schermtypen die uit een lijst geselecteerd kunnen worden of door een scherm zelf gedefinieerde schermeigenschappen te gebruiken (MyScreen). De eigenschappen van de ENERGLIK schermen zijn omschreven in rapport WP3 3b.

Er kunnen tot maximaal 3 schermen worden gebruikt, elk met een eigen besturing. In het boven getoonde voorbeeld zijn twee schermen geselecteerd. Het bovenste scherm is een donker doek en het tweede is een energiedoek wat tevens gebruikt wordt om bij hoge stralingsintensiteit het licht een beetje te temperen.

Omdat het een donker doek is wordt het 1-ste scherm geopend als er meer dan 5 W/m² buitenstraling is. Het wordt alleen gebruikt als het buiten kouder dan 12 °C is. Als voor dit scherm ook het Blackout-veld aangevinkt zou zijn dan werd het scherm 's nachts altijd gesloten als de belichting aan staat, ook als het buiten warmer is dan 12 °C.

Het transparante scherm wordt gesloten bij een buitenlicht-intensiteit die afhankelijk is van de buitentemperatuur. Als het 0 °C of kouder is blijft het scherm dicht zolang er minder dan 200 W/m² is. Als het 14 °C of warmer is gaat het scherm bij 10 W/m² open, dus vlak na zonsopkomst. Tussen deze twee temperaturen wordt het stralingsniveau waarboven het scherm geopend wordt geïnterpoleerd.

Als het buiten warmer dan 16 °C is wordt het scherm niet als energiescherm gebruikt.

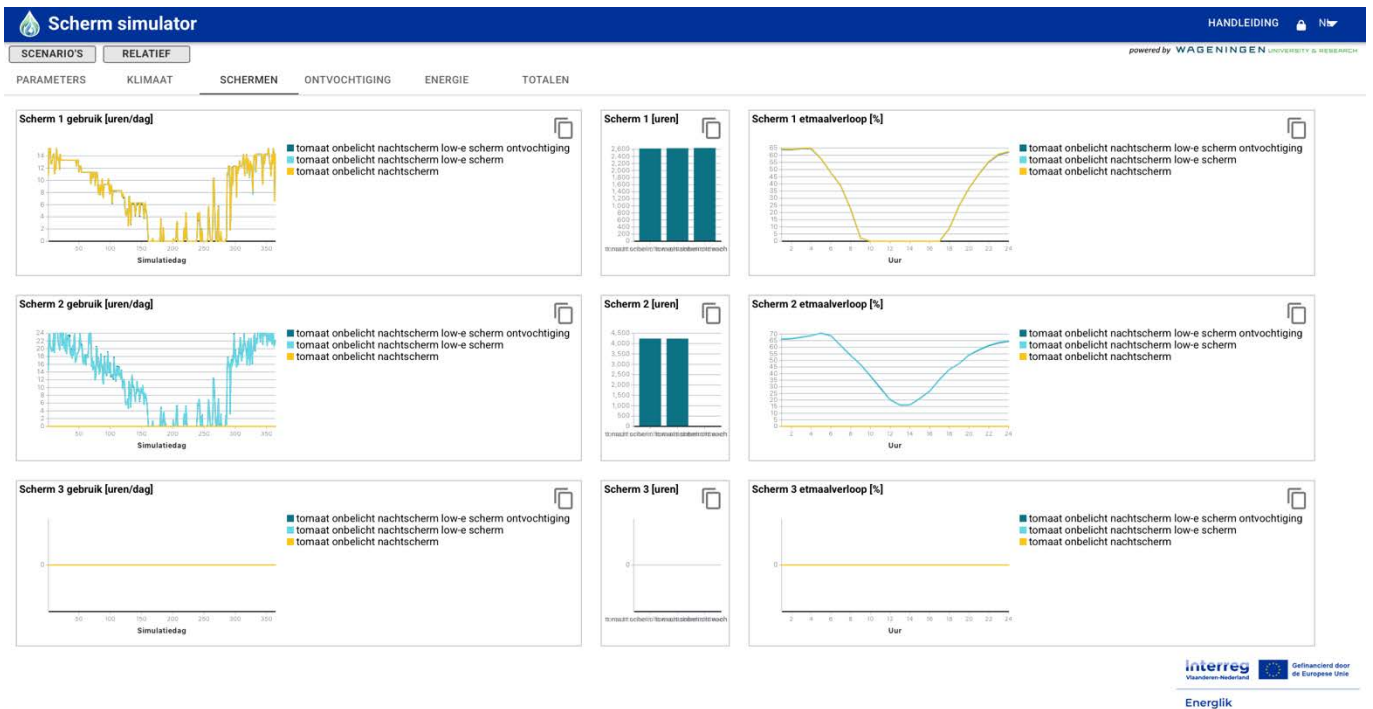
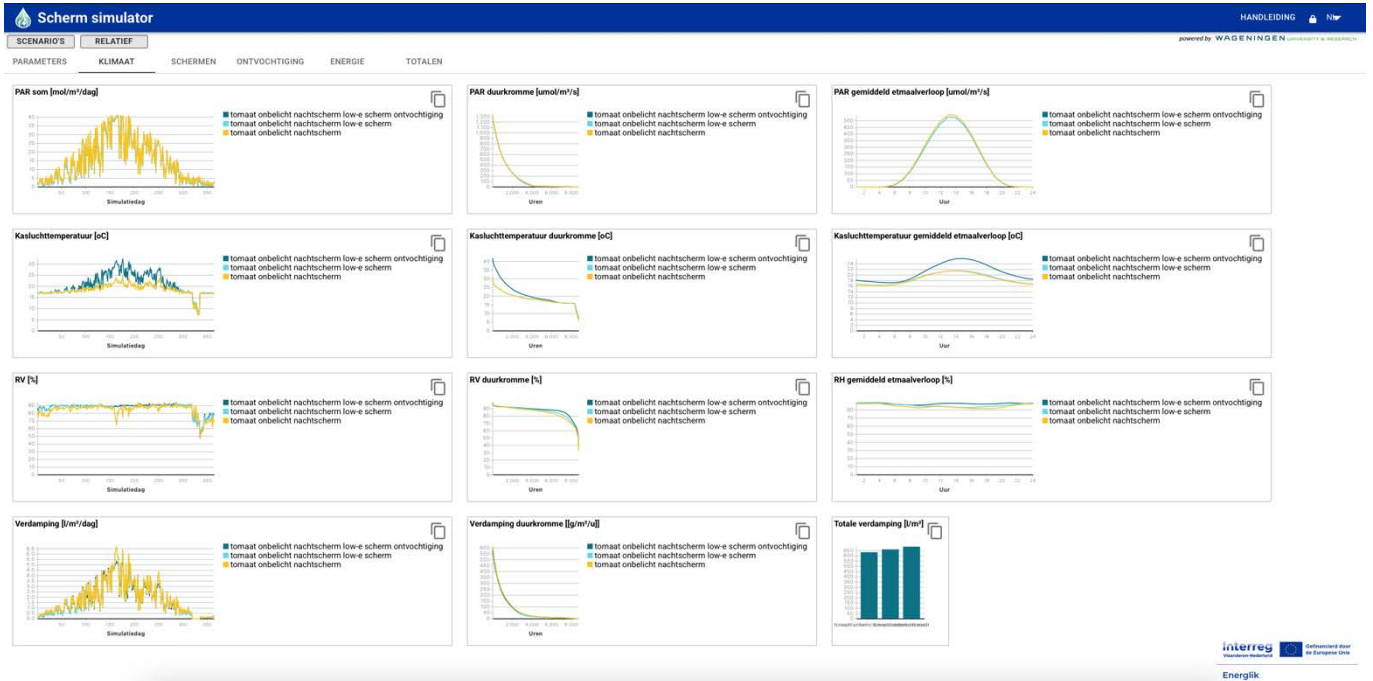
Het doek wordt echter ook als schaduw scherm gebruikt. Als er 600 W/m² straling is loopt het doek naar 60% gesloten en als er 800 W/m² straling is loopt het tot 70% dicht. Hier wordt een stap-regeling gebruikt, dus niet geïnterpoleerd.

Wanneer schermen in gebruik zijn is er overigens altijd ook nog een kierregeling die de schermen een stukje opentrekt als het te warm of te vochtig is. De schermkierregeling wordt echter pas ingezet als het luchtvochtigheids-setpoint met 3% punten overschreden is, dus pas als eventuele andere luchtvochtigheidsregelingen op naar 100% zijn opgeregeld (aangezien die allemaal een P-band van 3 %punten hebben). De kierregeling opent het scherm in een traject van een overschrijding van 3 tot 6 %-punten van 0 naar 5% schermkier. 5% Schermkier betekent een opening van 25 cm in het scherm.

3.6 Overzicht resultaten

Na het berekenen van een of meerdere scenario's kunnen de resultaten ervan worden vergeleken op de volgende onderdelen hierna getoonde onderdelen. In elk tabblad wordt het verloop van een parameter door het jaar, de duurkromme en het gemiddelde etmaalverloop getoond of totaal per jaar.

- gerealiseerd klimaat (PAR, Kasluchttemperatuur, RV, Verdamping)
- gerealiseerd schermgebruik (1 t/m 3 schermen)
- gerealiseerde ontvochtiging
- gerealiseerd energieverbruik (warmte, elektra)





SCENARIO'S

RELATIEF

PARAMETERS

KLIMAAT

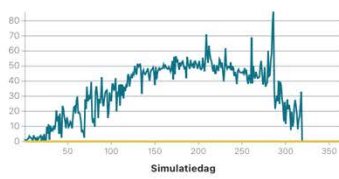
SCHERMEN

ONTVOCHTING

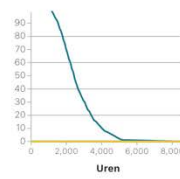
ENERGIE

TOTALEN

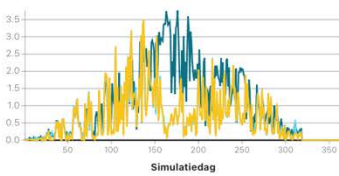
Ontvochtiging - etmaalgem. deellast [%]



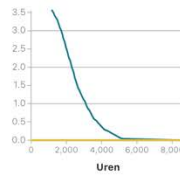
Ontvochtiging - deellast [%]



Ontvochtiging - vochtafvoer [liter/m²/dag]



Ontvochtiging - vochtafvoer [g/uur]



SCENARIO'S

RELATIEF

PARAMETERS

KLIMAAT

SCHERMEN

ONTVOCHTING

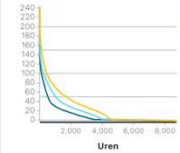
ENERGIE

TOTALEN

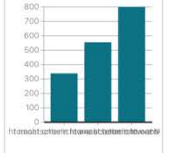
Warmtevraag [MJ/m²/dag]



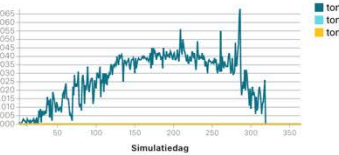
Duurkromme [W/m²]



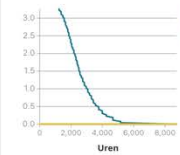
Totaal [MJ/m²]



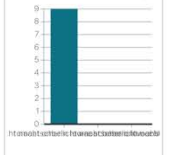
Electriciteitsgebruik [kWh/m²/dag]



Duurkromme [W/m²]



Totaal [kWh/m²]



Daarnaast wordt een overzichtstabel getoond met alle resultaten zodat het gevolg van de gemaakte keuzes op het energieverbruik direct inzichtelijk is.

Scherm simulator
HANDLEIDING NL ▾

powered by **WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH**

SCENARIO'S
RELATIEF

PARAMETERS
KLIMAAT
SCHERMEN
ONTVOCHTING
ENERGIE
TOTALEN

Totalen

	tomaat onbelicht nachtscherm	tomaat onbelicht nachtscherm low-e scherm	tomaat onbelicht nachtscherm low-e scherm ontvochtiging	
Klimaat				
Gemiddelde temperatuur	20.9	18.6	18.5	°C
Gemiddelde RV	88	86	85	%
Lichtsom	5306	5308	5524	mol PAR/m ²
Gewasverdamping	635	661	687	liter/m ²
Ontvochtiging - vochtafvoer	373	231	228	liter/m ²
Schermen				
<i>Schermuren totaal</i>				
Scherm1	2624	2631	2636	uur
Scherm2	4242	4240	0	uur
Scherm3	0	0	0	uur
<i>Schermuren etmaalgem.</i>				
Scherm1	7.2	7.2	7.2	uur/dag
Scherm2	11.7	11.6	0.0	uur/dag
Scherm3	0.0	0.0	0.0	uur/dag
Energie				
Verwarming	339	555	800	MJ/m ²
Gasverbruik	10.7	17.5	25.2	m ³ /m ²
Elektriciteitsverbruik	8.7	0.0	0.0	kWh/m ²
Energieverbruik	369	554	798	MJ/m ²

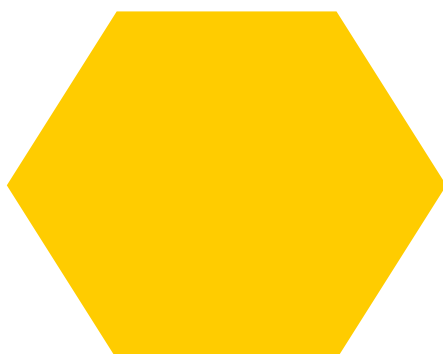
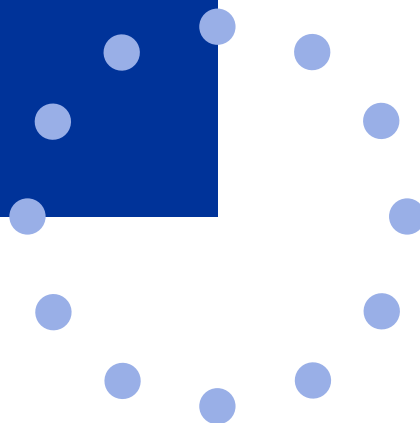
Gefinancierd door de Europese Unie

Energlik



4. Resultaten energiebesparing

Modelberekeningen voor typische
praktijksituaties



In dit hoofdstuk worden de resultaten van een aantal gerichte berekeningen met diverse schermtypes, schermgebruik, met en zonder ontvochtiging en met en zonder belichting getoond. Deze berekeningen moeten worden gezien als voorbeeld hoe met behulp van modelberekeningen inzicht in praktijksituaties kan worden gegeven.

4.1 Inputs

De berekeningen werden gedaan voor een standaard Venlo-type kas met een standard glas onder Nederlandse weersomstandigheden (Bleiswijk 2023).

Het gewas was een onbelichte tomaat met een teeltperiode begin december tot eind oktober. Energiebesparende teeltstrategieën werden toegepast met setpoints zoals beschreven in Hemming et al. 2021³.

Daarnaast werd een tomatengewas met belichting geteeld van augustus tot eind juni met maximaal 18 belichtingsuren per dag gedurende september tot april. Belichting werd gebruikt tot een buitenstraling van 200 W/m² of DLI van 20 mol/m²/dag. De aangenomen geïnstalleerde LED-capaciteit was 200 μmol/m²/s op gewasniveau en een LED-efficiëntie van 3,2 μmol/W elektriciteitsinput.

Voor de berekeningen werden verschillende schermmaterialen (18HN, 23AA, 23MB, 24BI, 23CW) gebruikt met verschillende schermstrategieën (schermsluiting setpoint <14°C en 0-100 W/m² buitenstraling) en verschillende vocht instellingen (setpoint 80-90%). Vocht werd geregeld door schermopeningen of met extra mechanische ontvochtiging met een capaciteit van 5m³/m²/h en 70% warmteterugwinning.

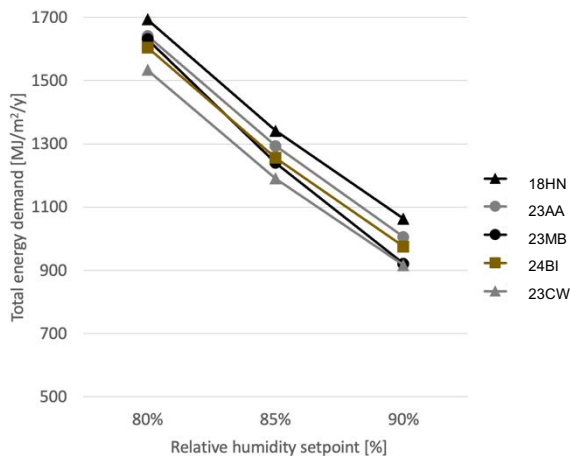
De schermmaterialen hadden verschillende eigenschappen zoals gemeten binnen ENERGLIK (zie rapport WP3 deel 2b). De permeabiliteit voor lucht en vocht is 0 voor 23AA en 23CW, het is laag voor 18HN, 23MB en 24BI. Materialen hebben echter verschillende thermische stralingseigenschappen onder droge omstandigheden, met toenemende TIR-reflectie van 23AA < 23MB < 24BI < 23CW. Terwijl 23MB een lage emissie heeft, heeft 23BI een lage TIR-transmissie, en heeft 23CW zowel een lage emissie als een lage TIR-transmissie. Materialen hebben ook verschillende optische eigenschappen. De hemisferische PAR lichttransmissie neemt af van 23AA > 23MB > 24BI > 23CW, waarbij 23CW het enige niet-transparante scherm is. Het commercieel verkrijgbare scherm 18HN vertoont gemiddelde optische en thermische eigenschappen.

4.2 Resultaten

Simulaties werden dynamisch het hele jaar door uitgevoerd in een tomatengewas zonder belichting. Het effect van verschillende schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het verschillende gebruik van deze materialen onder verschillende vocht setpoints (80-90%) op de totale energievraag (verwarming) wordt getoond in Figuur 5. Schermen werden alleen 's nachts gebruikt (schermsluiting <0 W/m² buitenstraling en 14°C buitentemperatuur). 35-40% energiebesparing kan worden gerealiseerd door het vocht setpoint te verhogen van 80% naar 90%. Vergeleken met een goed commercieel schermmateriaal 18HN kunnen andere materialen met een hogere TIR-reflectie de energiebesparing met 10-15% verbeteren (23AA<24BI<23MB<23CW). 23MB lijkt extra voordelen te tonen bij hoge vocht setpoints, waarschijnlijk omdat meer condensatie de TIR-transmissie deels verlaagt. Eerder toonde Hemming et al. (2021) aan dat schermmaterialen met een lage luchtdoorlaatbaarheid en een laag vochttransport energie kunnen besparen. Alle materialen in deze studie hebben al een relatief lage luchtdoorlaatbaarheid, dus er zijn geen extra voordelen van de filmmaterialen (23AA en 23CW) op dit aspect zichtbaar.

³ Hemming, S.; De Zwart, H.F.; Mohammadkhani, V.; Raaphorst, M.; Van Breugel, B. and Baeza, E.J. (2021) Wet screens - Characterization of physical properties of screens and Quantification of their effect on greenhouse energy use. WUR Report WPR-1099. <https://www.doi.org/10.18174/558268>



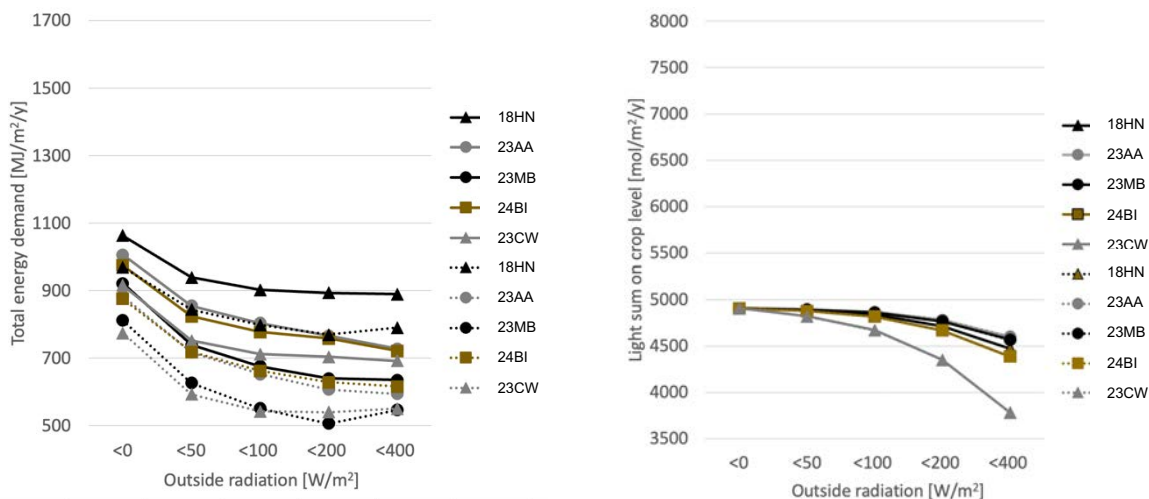


Figuur 5 Effect van schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het gebruik van deze materialen onder verschillende vocht setpoints (80-90%) in een tomatengewas zonder belichting op het totale energieverbruik. Vocht wordt geregeld door schermkieren. Schermen werden alleen 's nachts gebruikt, schermsluiting <0 W/m² buitenstraling en 14°C buitentemperatuur.

Figuur 6 (links) toont het effect van schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het verschillende gebruik van deze materialen (sluiting overdag onder 0-400 W/m² buitenstraling) op de totale energievraag. Verschillen in materialen worden groter wanneer de schermen meer uren gesloten zijn (tot 30% verschil in energiebesparing). Let op: 23CW is geen transparant scherm en mag alleen 's nachts worden gebruikt, maar wordt wel meegenomen in de simulaties om het maximale potentiële lichtverlies te tonen als het ook overdag wordt gebruikt. De energiebesparing van alle schermen neemt toe met 15-30% wanneer ze meer uren gesloten zijn, maar extra voordelen op het gebied van energiebesparing worden over het algemeen kleiner boven een sluitingscriterium van 100-200 W/m². Afhankelijk van het schermtype zijn extra voordelen ofwel beperkt door temperatuur of door vocht setpoints. Alle schermen profiteren van het gebruik van mechanische ontvochtiging. Er kan 10-20% extra energiebesparing worden gerealiseerd. Extra voordelen van een homogenere vochtverdeling in de kas in vergelijking met een vochtregeling door schermkieren kunnen worden verwacht, maar worden hier niet getoond; de capaciteit van het ontvochtigingssysteem is niet voor alle scenario's geoptimaliseerd.

Figuur 6 (rechts) toont het effect van alle schermmaterialen met verschillende optische eigenschappen en de verschillende schermstrategieën op de hoeveelheid beschikbaar PAR licht op gewasniveau. De lichtsom daalt vooral bij schermsluitingen van boven de 100-200 W/m². Op jaarbasis is de lichtsom onder 24BI (het scherm met de laagste PAR-transmissie van 59%) 5% lager dan onder 23AA (het scherm met de hoogste PAR-transmissie van 87%). Dat is verklaarbaar omdat schermen voornamelijk worden gebruikt in het winterseizoen waarin onder Nederlandse weersomstandigheden tien keer minder totale buitenstraling beschikbaar is (meestal 2-5 mol/d) vergeleken met het zomerseizoen (tot 40 mol/d), dus op jaarbasis is het lichtverlies klein. Als we inzoomen op het winterseizoen zou de lichtsom onder 24BI in de periode van december tot april in totaal aal 60 mol lager zijn dan onder 23AA, wat gelijk is aan de lichtsom die nodig is om 1 kg te produceren.

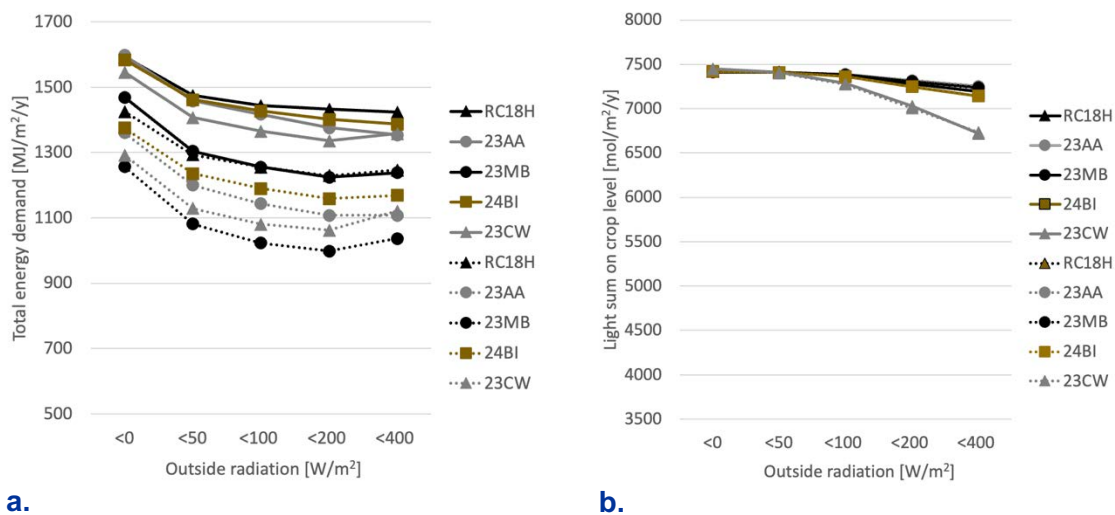




a. b.

Figuur 6 Effect van schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het gebruik van deze materialen onder verschillende setpoints (sluitingskriterium <0-400 W/m² buitenstraling) in a. een tomatengewas zonder belichting op de totale energiebehoefte en b. totale beschikbare lichtsom op gewasniveau. Vocht wordt geregeld door schermkieren (doorgetrokken lijnen) of door mechanische ontvochtiging (stippellijnen). Schermen werden ook overdag gebruikt, schermssluiting <90% RV en 14°C buitentemperatuur

Figuur 7 (links) toont het effect van verschillende schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het gebruik van deze materialen onder verschillende sluitingscriterium voor een belichte tomaat. Ook hier kan energiebesparing worden waargenomen door het scherm overdag meer te sluiten, maar de besparingen zijn slechts 10-15% afhankelijk van het schermmateriaal. Verschillen tussen materiaaleigenschappen zijn ook kleiner. Ook hier verlaagt mechanische ontvochtiging het energieverbruik met 10-20%. Echter, door het hogere elektriciteitsverbruik voor de LED's is ook de totale energievraag substantieel hoger voor alle scenario's. Door de belichting ontvangt het gewas ook 40-50% meer licht. De lagere PAR transmissie van scherm 24BI vergeleken met 23AA, is nu op jaarbasis 1,5%. De optische schermeigenschappen zijn belangrijker zijn in gewassen zonder kunstlicht.



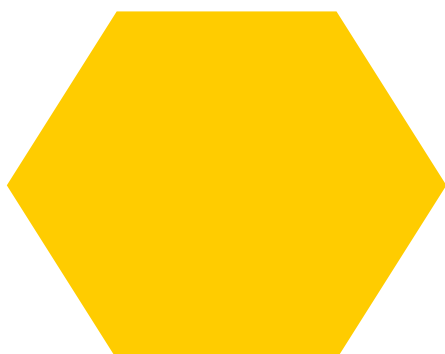
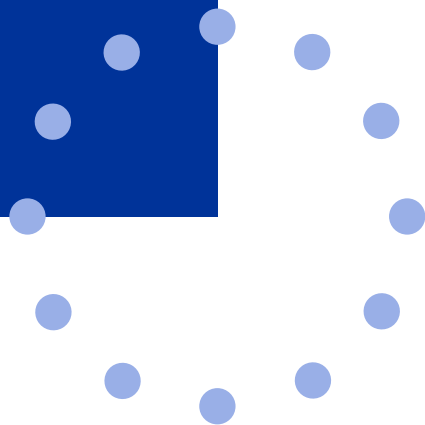
a. b.

Figuur 7 Effect van schermmaterialen met verschillende eigenschappen en het gebruik van deze materialen onder verschillende setpoints (sluiting <0-400 W/m² buitenstraling) in a. een tomatengewas met LED op de totale energiebehoefte en b. totale beschikbare lichtsom op gewasniveau. Vocht wordt geregeld door schermkieren (doorgetrokken lijnen) of door mechanische ontvochtiging (stippellijnen). Schermen werden ook overdag gebruikt, schermssluiting <90% RV en 14°C buitentemperatuur.

Dergelijke berekening kunnen ook worden gedaan voor andere gewassen, teeltstrategieën, schermen en locaties. Onderliggende resultaten zomen in op de details van klimaat en energie.



5. Conclusies



Modelberekeningen kunnen inzicht geven in schermkeuzes en -gebruik. Via rekenmodellen kunnen schermproducenten betere materialen ontwikkelen, kunnen installateurs allerlei scenario's doorrekenen, en telers leren over het effect van keuzes op het energieverbruik.

Wij kunnen een aantal algemene conclusies trekken, waarin diverse 'quick wins' besloten liggen:

- Energiebesparing enkel scherm 25-30% versus geen scherm
- Energiebesparing optimale schermeigenschappen (lage lucht/vochtdoorlatendheid, hoge reflectie warmtestraling) 10-15% extra besparing
- Hoger RV setpoint (80% naar 90% RV) ~35-40%, afhankelijk van verdampingsniveau gewas/vochtproductie
- Tweede/derde scherm 15-20% extra (versus enkel/dubbel scherm)

Voor telers: Verhoog RV, maak meer schermuren. Ga na welke schermen je nu hebt en kies bij vervanging materialen met betere eigenschappen, kies voor meerdere schermen en zorg voor een goede afdichting van de installatie. De beschikbaarheid van actieve ontvochtiging maakt het eenvoudiger om voor dichte, goed isolerende schermen te kiezen en deze langer gesloten te houden.



Met de steun van:



Interreg
Vlaanderen-Nederland



Gefinancierd door
de Europese Unie

Energlik



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Economische Zaken



provincie limburg



provincie
Oost-Vlaanderen

Partners:



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Maastricht University Tomerel

