

Teeltproef “WP5 Ontwikkeling klimaatneutrale glastuinbouw”

Testen van een energie balancerend nachtschermsysteem in een tomatenteelt – 2020

Lieve Wittemans (PSKW), Luis Corbala (ILVO), Filip Bronchart (ILVO)

Proefperiode: 8 januari 2020 – 26 november 2020

Proef uitgevoerd door: ILVO, PSKW, UGent, MKB.

In samenwerking met WALKI, Ludvig Svensson



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Titel	Testen van energy balancing nachtschermen in een tomatenteelt
Proefperiode	8 januari 2020 – 26 november 2020
Contactgegevens	<p>Proefstation voor de Groenteteelt Duffelsesteenweg 101, 2860 Sint-Katelijne-Waver (België) Lieve Wittemans Lieve.wittemans@proefstation.be</p> <p>ILVO Burg. van Gansberghelaan 115, 9820 Merelbeke Filip Bronchart Filip.Bronchart@ilvo.vlaanderen.be</p>
Project	<p>Dit onderzoek vond plaats binnen het project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw.</p> <p>https://glitch-innovatie.eu/</p>
Steunvermelding	<p>Dit onderzoek wordt enerzijds mogelijk gemaakt met de steun van het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Anderzijds wordt het project ondersteund vanuit het Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO), de Provincie Antwerpen, Het Vlaams Kabinet Omgeving, Natuur en landbouw, de provincie Limburg (NL) en het Nederlands Ministerie van Economische zaken.</p>



GLITCH

Afkortingen

PE	Polyethylene
EB	Energie balancerende
PCH	Proefcentrum Hoogstraten
PSKW	Proefstation voor de Groenteteelt
MKB	Maurice Kassenbouw
ILVO	Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek
PAR	Photosynthetically active radiation
PP	Polypropyleen
RV	Relatieve vochtigheid



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Samenvatting / Abstract

De energy-balancing (EB) nachtschermen, die in werkpakket 5.2 werden ontwikkeld, werden in een teeltproef getest en gedemonstreerd in een tomatenserre op het Proefstation voor de Groenteteelt. Het doel van de proef was tweeledig. Enerzijds werd de praktische toepasbaarheid en het energiebesparingspotentieel van de nachtschermsysteem geëvalueerd. Anderzijds werd het gebruik van de schermen en het kasklimaat geoptimaliseerd met een zo hoog mogelijke energiebesparing als resultaat, zonder verlies van productie en kwaliteit.

Het geteste nachtscherm was een dampdoorlatende aluminium PP folie van het bedrijf WALKI met hoge warmtestralingsreflectie langs beide zijden. Het scherm werd dubbel toegepast als onderscherm. Onafhankelijk van dit EB-nachtsschermsysteem, werd als bovenscherm een Luxous 1147 FR geïnstalleerd. Dit scherm werd in de eerste plaats overdag gebruikt en versterkte 's nachts nog het isolerende vermogen van de Alu-PP schermen. De schermen werden op 23 maart 2020 geïnstalleerd in de serre. De proef duurde tot 26 november 2020 en werd uitgevoerd bij twee rassen, Merlice (De Ruiter) en Foundation (Nunhems).

De proef toonde aan dat het Alu-PP nachtschermsysteem goede isolerende eigenschappen heeft. De in praktijk gemeten warmtedoorgangswaarden ($1.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$) zijn echter hoger dan de gesimuleerde/verwachte waarden ($1.1 \text{ W/m}^2/\text{K}$). De eigenlijke reden voor deze belangrijke discrepantie is momenteel nog onduidelijk, eventueel zou de oorzaak ook meetfouten kunnen zijn. Bijkomend onderzoek zal dit moeten uitwijzen. Daarnaast waren er ook een aantal praktische hindernissen die moeten worden overwonnen bij het gebruik van dit materiaal. Verder onderzoek wordt uitgevoerd om folies te ontwikkelen met gelijkaardige isolerende eigenschappen die beter toepasbaar zijn in een praktijkomgeving.

De energiebesparing, die we tijdens de nacht realiseerden in de afdeling met de EB nachtschermen, bedraagt maar liefst 71% ten opzichte van de referentieafdeling met een enkel Phormitex Bright scherm. Wanneer ook het energieverbruik tijdens de dag in rekening wordt gebracht, komen we uit op een daling met 40%. Deze cijfers zijn het resultaat van een weloverwogen schermkeuze en een aangepaste klimaatsturing.

De producties van Merlice en Foundation onder de EB nachtschermen vielen lager uit dan in de referentieafdeling. Een verklaring hiervoor ligt in een lager vruchtgewicht door lichtverlies door het scherm pakket, wat resulteerde in een tragere productiestart. Door een aangepast scherm en teelttechnische optimalisatie kunnen hier zeker nog stappen worden gezet.

De teeltproef toont aan dat het beter isoleren van de serre een belangrijke eerste stap is om energie te besparen. Energie-balancerende nachtschermen blijken hierbij veelbelovend en kunnen ons een stap dichterbij de klimaatneutrale kas brengen.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

2. Inhoudstafel

Afkortingen	3
Samenvatting / Abstract.....	4
Inleiding	6
Proefopzet	7
Proefbeschrijving	7
Teeltgegevens	9
Metingen en beoordelingen	10
Resultaten en bespreking	11
EB nachtschermen	11
Energieverbruik.....	11
U-waarde van EB-nachtschermstelsysteem	12
Klimaatsturing.....	13
Opbrengst	18
Plantontwikkeling	20
Kwaliteit	20
Conclusies	22
Referenties	22
Bijlage A. Netto vs bruto verwarming	23
Bijlage B. U-waarde berekeningen	26



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Inleiding

In Glitch worden technologieën ontwikkeld die leiden tot klimaatneutrale glastuinbouw, d.w.z. een glastuinbouw die niet/enkel nog beperkt afhankelijk is van fossiele energie. Klimaatneutraliteit in de glastuinbouw wordt gerealiseerd door de warmtevraag in de kas te reduceren en eventuele inzet van hernieuwbare energie.

In deze teeltproef worden de energy-balancing (EB) nachtschermen, die in werkpakket 5.2 werden ontwikkeld, getest en gedemonstreerd in een tomatenserre op het Proefstation voor de Groenteteelt. Een EB nachtschermsysteem bestaat uit schermen met een hoge reflectiviteit voor warmtestraling. Deze hebben een hoge isolatiewaarde. Met behulp van deze isolerende nachtschermen kan warmteverlies van de serre worden vermeden. Meerlagig toegepast levert dit een super isolatie en wordt de warmtevraag van de kas 's nacht beperkt.

Het doel van de proef bestaat erin om:

- de praktische toepasbaarheid en het energiebesparingspotentieel van het nachtschermsysteem te evalueren
- het gebruik van de schermen en het kasklimaat te optimaliseren met een zo hoog mogelijke energiebesparing als resultaat, zonder verlies van productie en kwaliteit



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Proefopzet

Proefbeschrijving

De proef werd uitgevoerd in twee afdelingen van 720m² op het Proefstation voor de Groenteteelt. De eerste afdeling (afd. 7) fungeerde als referentie. Hier werd een enkel standaard energiescherm Phormitex Bright (Phormium) gebruikt. De scherm- en klimaatsturing gebeurden conform de praktijkomstandigheden. In een tweede afdeling (afd. 6 GLITCH) werd een energy-balancing (EB) nachtschermsysteem geïnstalleerd. Dit bestond uit twee schermmechanieken die afzonderlijk van elkaar konden worden bestuurd. Als onderscherm werd geopteerd voor een dubbel aluminium scherm. Het bovenscherm was een Luxous 1147 FR (Figuur 1).



Figuur 1: Schematisch overzicht van het EB nachtschermsysteem

Voor de EB-nachtschermen zochten we materialen die goed isoleren. Hiervoor moet een scherm langs beide zijden een hoge reflectiviteit hebben voor warmtestraling (zie Bronchart 2021). Deze eigenschap zorgt ervoor dat de warmtestraling vertrekkende vanaf de warmere plaatsen (o.a. gewas, verwarmingsbuizen, grond) terug in de kas wordt gereflecteerd en de schermen geen warmte uitstralen naar de koudere plaatsen. Hierdoor gaat minder warmte verloren. Schermen met een hoge warmtestralingsreflectiviteit hebben dus een hoge isolatiewaarde.

Uit een screening van verschillende materialen uitgevoerd door ILVO en UGent in 2019 kwam de folie van het bedrijf WALKI vervaardigd uit polypropyleen (PP) met een dikte van 20 µm, gecoat met een 9 µm dun laagje aluminium, als beste optie naar voren. Deze folie werd bovendien voorzien van microperforaties, waardoor hij damp doorlaat via diffusie. Metingen uitgevoerd aan de UGent tonen aan dat de dampdoorlaatbaarheid net iets lager is dan deze van de klassieke gewezen doeken.

Om nog meer te kunnen isoleren, werd deze folie als dubbel scherm geïnstalleerd met een onderlinge afstand van 5 cm. Deze twee folieschermen gaan samen open en dicht.

Aluminium laat geen licht door. Daarom worden deze folieschermen alleen tijdens de nacht gebruikt. Om ook tijdens de ochtenduren of tijdens de dag energie te kunnen besparen, is er bijkomend een Luxous 1147 FR energiedoek van Svensson geïnstalleerd op het bovenste dradenbed. Dit scherm kan onafhankelijk van de aluminium folies worden aangestuurd.



Figuur 2: Onderaanzicht (links) en zij aanzicht (rechts) van het EB nachtschermstelsel in een afdeling met tomaat op PSKW.

De installatie van de aluminium folies was oorspronkelijk voorzien op 24 januari 2020. Bij levering bleken de naden, waar de aluminium panelen aan elkaar waren geconfectioneerd, zeer gevoelig voor scheuren. Door het confectioneringsproces waren de doeken ook niet meer voldoende breed. Daarom werd beslist om de aluminium folies opnieuw te laten confectioneren. Deze nachtschermen werden vervolgens geïnstalleerd in week 11 en op 23 maart 2020 in gebruik genomen.

Teeltgegevens

De proef werd uitgevoerd bij twee rassen, geënt-getopt op DR 0141 TX (De Ruiter). Merlice (De Ruiter) is een grove trostomaat, terwijl Foundation (Nunhems) fijnere trostomaten produceert. De tomatenplanten werden geplant op een afstand van 50 cm. In week 12 werd bij 1 op 4 planten een extra stengel aangehouden, wat de eindstengelafstand bracht op 3,125 stengels per m².

Tabel 1 geeft een overzicht van de proefopzet. Elk object werd in vier herhalingen aangelegd. Per herhaling werden 16 stengels geëvalueerd.

Tabel 1: Proefopzet

Proeflocatie	PSKW
Substraat	Steenwol
Kasdek	Helder low-iron glas
Ras	Merlice (De Ruiter) Foundation (Nunhems)
Onderstam	DR 0141 TX (De Ruiter)
Planttype	Geënt-getopt
Zaaidatum onderstam	08/11/2019
Zaaidatum bovenstam	08/11/2019
Plantdatum	08/01/2020
Plantafstand	50 cm
Extra stengels	W 12: 1 op 4
Aantal stengels/m ²	3,125
Eerste oogstdatum	09/04/2020
Laatste oogstdatum	26/11/2020



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Metingen en beoordelingen

Tijdens dit onderzoek werd de opbrengst, plantontwikkeling, plantkwaliteit, kasklimaat en het energieverbruik opgevolgd en geëvalueerd in de referentie afdeling en in de afdeling met de EB nachtschermen:

- De opbrengst werd twee maal per week gemeten. Per herhaling werden de vruchten gewogen en éénmaal per week werden de tomaten gesorteerd en geteld per kwaliteitsklasse. Hieruit volgt het aantal stuks en hun gemiddeld vruchtgewicht per kwaliteitsklasse.
- De plantontwikkeling werd maandelijks geëvalueerd door het opmeten van de lengtegroei en het aantal gezette trossen.
- De plantkwaliteit werd maandelijks geëvalueerd door een beoordeling van de groei­kracht, de gewasgeslotenheid en de vruchtzetting.
- De vruchtkwaliteit werd vijfmaal beoordeeld gedurende de proef. Per beoordeling werden 8 trossen geselecteerd. De vruchten werden beoordeeld op 7 dagen na oogst bij een bewaring aan 18°C. De beoordeling gebeurde op kleur, vruchtvorm, trosvorm, kwaliteit van de groene delen, bewaarstip en krimpscheurtjes.
- Het energieverbruik werd tijdens de proef continu geëvalueerd. Het energieverbruik is het netto energieverbruik van elk compartiment, d.w.z. de warmte-overdracht over de zijwanden werd verwijderd van de totale warmtevraag (bruto). De berekening van dit netto energieverbruik wordt verder toegelicht in Bijlage A – met een voorbeeld uit een teeltproef die plaatsvond op het Proefcentrum Hoogstraten.

In tweewekelijkse overlegmomenten werden de resultaten besproken en werd de sturing van de schermen en het kasklimaat bijgesteld om de energiebesparing zoveel mogelijk te optimaliseren zonder verlies van productie en kwaliteit.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Resultaten en bespreking

EB nachtschermen

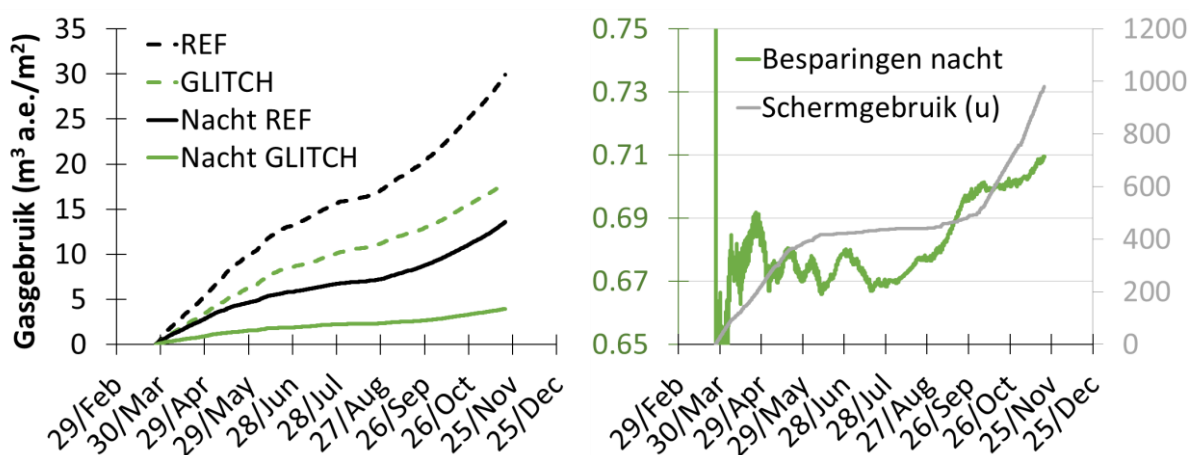
Aluminium heeft goede isolerende eigenschappen, maar er zijn nog een aantal praktische hindernissen die moeten worden overwonnen bij het gebruik van dit materiaal. Zo is de plooibaarheid minder goed, wat leidt tot een scherm pakket (incl. trekprofiel) van gemiddeld 36cm versus 15cm voor een standaard energiedoek. Ook bleek de folie iets te dun, wat het risico op scheuren tijdens het installeren vergroot. Tijdens het gebruik blijken de schermen echter wel zeer duurzaam. Na acht maanden dagelijks te zijn gebruikt, zijn de aluminium folieschermen nog intact.

Rond deze tekorten, werden al contacten gelegd met scherm- en foliefabrikanten om nieuwe schermen te ontwikkelen met gelijkaardige isolerende eigenschappen die wel toepasbaar zijn in een praktijkomgeving.

Energieverbruik

De EB nachtschermen werden eind maart 2020 in gebruik genomen. De proef liep tot het einde van de teelt op 26 november 2020.

In de afdeling met de EB-nachtschermen realiseerden we tijdens de nacht een energiebesparing van maar liefst 71% ten opzichte van de referentieafdeling met een enkel Phormitex Bright scherm. In de periode dat de schermen werden gebruikt, van 23 maart tot 19 november, bedroeg het gasverbruik tijdens de nacht in de afdeling met de EB-nachtschermen 4,0 m³ aardgas equivalent per m² (31.5 MJ = 1m³ a.e.), terwijl in de referentieafdeling 13,6 m³ a.e. per m² werd verbruikt (Figuur 3).



Figuur 3: Links: Energieverbruik in de afdeling met de EB nachtschermen en in de referentie afdeling, Rechts: energiebesparing en uren EB nachtschermgebruik



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Wanneer ook het energieverbruik tijdens de dag (van zonsopgang tot zonsondergang) in rekening wordt gebracht, komen we uit op een daling van het gasverbruik van 29,9 m³ a.e./m² in de referentie naar 17,9 m³ a.e./m² bij de GLITCH afdeling. Dit is een energiebesparing van 40%. Deze mooie cijfers zijn het resultaat van een weloverwogen schermkeuze en een aangepaste klimaatsturing.

U-waarde van EB-nachtschermsysteem

Op het kasdek van de GLITCH-afdeling zijn twee warmtedoorgangssensoren geïnstalleerd. Met deze soort sensor kan men de warmtestroom meten die door het kasdek gaat. Voor het berekenen van de U-waarde van de kas wordt deze warmtestroom gecorrigeerd voor zijn helling en gedeeld door het temperatuurverschil tussen de afdeling en de buitenluchttemperatuur. Deze meetwaarde wordt verder vergeleken met een gemodelleerde waarde (zie Bronchart 2021).

Er is daarnaast ook een berekening gemaakt op basis van energiemetingen in de kas. Hierbij wordt een U-waarde berekend voor de kas waarbij rekening wordt gehouden met de temperatuurs- en RV veranderingen aan de hand van de energiec capaciteit en de hygroscopische capaciteit van de kas. Deze berekeningsmethode is verder uitgewerkt in bijlage B. Ondanks het integreren van een thermische en hygroscopische capaciteit zijn de hieruit berekende U-waarden sterk fluctuerend. Men moet deze waarden vooral interpreteren naar hun gemiddelde.

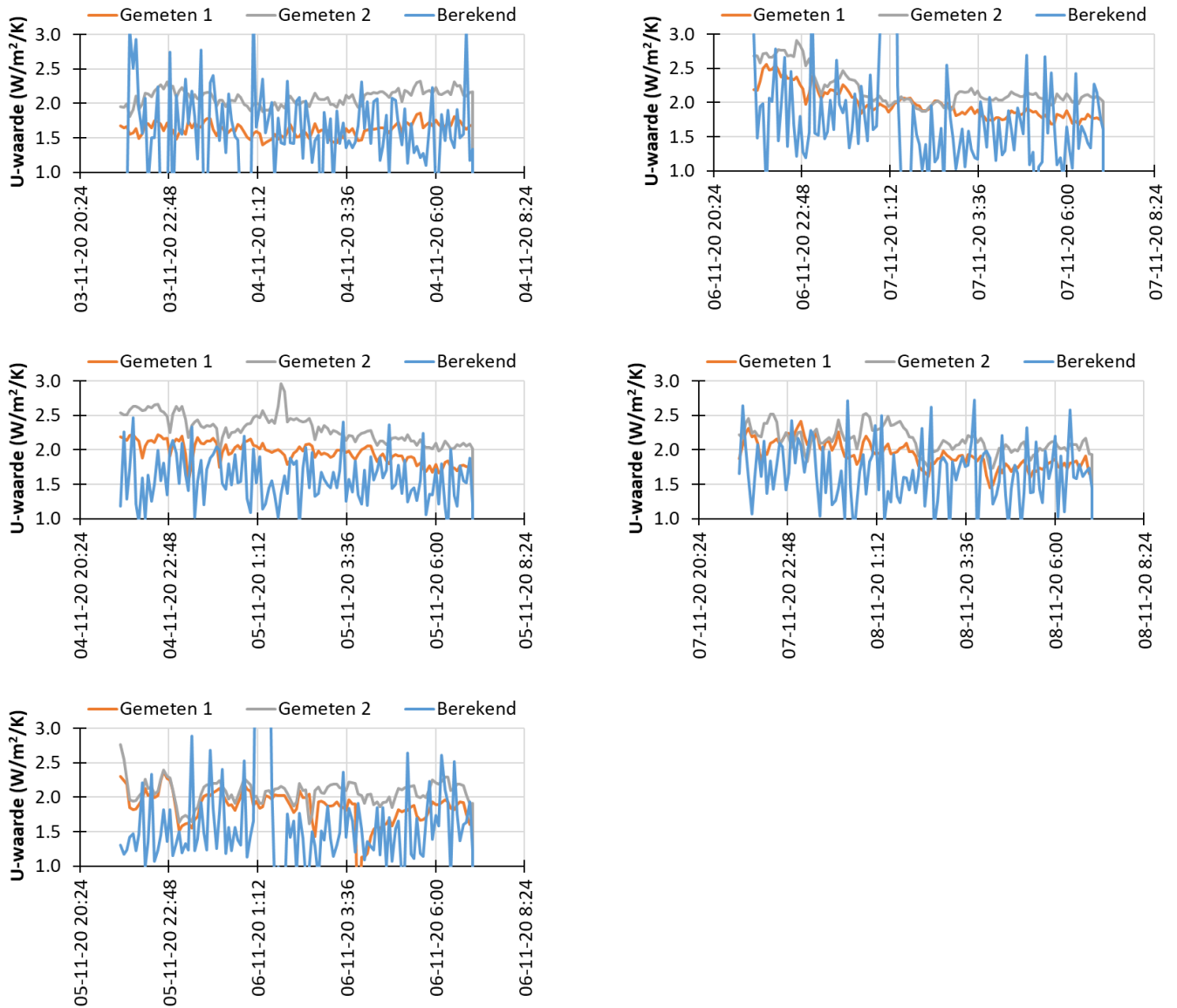
De waarden voor 5 nachten in november met het aluminium nachtscherf gecombineerd met Luxous 1147 FR zijn weergegeven in Figuur 4. Voor deze nachten waren de U-waarden:

- Gemeten 1: 1.6-2.0 W/m²/K
- Gemeten 2: 2.1-2.3 W/m²/K
- Berekend: 1.6-2.0 W/m²/K
- Gemodelleerd: 0.8-1.3 W/m²/K

Zoals we kunnen zien, liggen de waarden (zowel gemeten als berekend vanuit de nette warmtevraag) boven de gemodelleerde - verwachte - waarden.

We zien ook grote verschillen tussen de 2 warmtedoorgangssensoren. Waarschijnlijk zijn deze grote verschillen veroorzaakt door verschillen in warmtedoorgang afhankelijk van de locatie op het raam van het kasdek.

Door de grote spreiding op de data, moeten we voorzichtig zijn met de conclusies. Een meer gedetailleerde analyse is nodig om hierover uitsluitsel te geven.



Figuur 4: U waarde van het kasdek met gesloten EB nachtschermstelsel gemeten met 2 warmtedoorgangssensoren en berekend op basis van de netto warmtevraag.

Klimaatsturing

Het verkregen resultaat is niet alleen toe te schrijven aan een ander type schermen. Ook de aansturing van de schermen en de sturing van het kasklimaat spelen een cruciale rol in de energiebesparing.

In tweewekelijks overleg werd het effect van het gebruik van de schermdoeken en de sturing van de schermen, de verwarming en de ramen op het energieverbruik geëvalueerd en



bijgestuurd. Voor elk moment dat er een warmtevraag was in de kas, werd de vraag gesteld of deze noodzakelijk was, of we deze hadden kunnen voorkomen en hoe we deze zouden kunnen verkleinen. De EB nachtschermen werden zoveel mogelijk ingezet. Hoewel de proef pas eind maart van start ging, hebben we gedurende het hele jaar regelmatig het schermdoek gesloten. Zelfs in de zomer ging het schermdoek 's nachts soms één of twee uurtjes dicht.

Een voorbeeld van de aansturing van de schermen wordt weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Voorbeeld sturing klimaatparameters

	Referentie (Phormitex Bright)	Luxous 1147 FR	Aluminium duo
Sluiten scherm	buisvraag van 45°C instraling <100W	buisvraag (38°C →) 20°C instraling <20W	buisvraag (38°C →) 20°C instraling <20W
Kieren scherm	Vanaf 78% RV Max 10% Op vocht 1%/RV	Vanaf 80% RV Max 5% Op vocht 1%/RV	Vanaf 82% RV Max 5% Op vocht 1%/RV
Luchting	Stappen van 6%/1%RV	Stappen van 4%/1%RV tot maximum 20% bij 85%RV aan luwzijde	Stappen van 4%/1%RV tot maximum 20% bij 87%RV aan luwzijde
Openen scherm	45 min na zonop	45 min na zonop	Astronomische zonop (=30 min voor zonop)
Minimum buis	Geen	Geen	Geen

Sluiten van de schermen

De schermen konden 's avonds sluiten wanneer er warmtevraag was. Als indicator voor de warmtevraag werd gewerkt met een instelling in de klimaatcomputer, namelijk de berekende buistemperatuur. Deze parameter is een berekende waarde, die werd gebruikt voor het aansturen van de schermen. Deze parameter wordt berekend op basis van de gemeten temperatuur in de serre en de ingestelde minimum verwarmingstemperatuur. Wanneer de kastemperatuur onder de ingestelde verwarmingstemperatuur zakt, berekent de klimaatcomputer de gewenste buistemperatuur die dit temperatuurverschil moet compenseren. Zodra er werd berekend dat er een minimum buistemperatuur nodig was, konden de schermen sluiten. De drempelwaarde voor deze parameter bedroeg 45°C in de referentie afdeling. In de afdeling met de EB nachtschermen was de drempelwaarde initieel



ingesteld op 38°C, maar deze werd verlaagd naar 20°C, om de EB nachtschermen sneller te kunnen sluiten zodra er warmtevraag was.

Daarnaast waren er nog enkele voorwaarden verbonden aan het sluiten van de schermen. De EB nachtschermen mochten pas sluiten wanneer het donker was, omdat zij geen licht doorlaten. Zo konden de planten aan fotosynthese doen zolang er nog daglicht was. Het energiedoek in de referentie afdeling laat wel licht door en mocht daarom al iets eerder sluiten.

Beheersing van het vochtgehalte in de serre

Door het sluiten van de schermen wordt de uitwisseling van vocht sterk beperkt. Dit resulteert in een oplopend vochtgehalte in de serre. Om te voorkomen dat de relatieve luchtvochtigheid (RV) te hoog zou oplopen, werden er een aantal acties genomen. In eerste instantie konden de schermen openen met een kier. De drempelwaarde van RV voor opening lag hoger in de afdeling met de EB nachtschermen zodat er zo weinig mogelijk warmte verloren kon gaan. Het Luxous-doek kon eerst open gaan. De aluminium folies gingen pas open met een kier wanneer de RV nog verder toenam. De grootte van de kier was ook kleiner in de afdeling met de EB nachtschermen. De snelheid van kieren was dezelfde voor alle schermtypes.

Wanneer er een schermkier werd getrokken, bleven de ramen in eerste instantie gesloten. Hierdoor kon de warmte in de serre worden gehouden. Het vocht in de lucht kon condenseren tegen het kasdek. Wanneer de RV toch nog verder opliep, mochten de ramen open gaan. De snelheid van raamopening was groter in de referentie afdeling.

Openen van de schermen

Wanneer de kastemperatuur hoger was dan de ingestelde ventilatietemperatuur (= maximum gewenste temperatuur) konden de schermen open gaan. Omdat de aluminium folies geen licht doorlaten, moesten ze ook open zijn zodra het 's ochtends terug licht werd. Het Luxous- en Phormitex-scherm konden langer gesloten blijven.

Voorbeeld sturing van de EB nachtschermen

Figuur 5 toont de gerealiseerde temperatuur, RV en schermopening en de ingestelde verwarmings- en ventilatietemperatuur in de afdeling met de EB nachtschermen in de nacht van 12 op 13 mei 2020. Figuur 6 toont wanneer er warmtevraag was in de serre.

Er kunnen drie fasen worden onderscheiden in het gebruik van de EB nachtschermen.

Fase 1:

De EB nachtschermen konden sluiten zodra het donker was en omdat de kasttemperatuur niet boven de ventilatietemperatuur uitkwam. Kort na het sluiten van de schermen zagen we een toename in de kasttemperatuur in de grootteorde van 2°C. Dit was het resultaat van de warmte die werd vrijgezet door de bodem. Dankzij de EB nachtschermen ging deze warmte niet verloren. Omdat de kasttemperatuur boven de ingestelde ventilatietemperatuur uitkwam, werden de EB nachtschermen geopend. Kort voor middernacht daalde de kasttemperatuur onder de ventilatietemperatuur, waardoor er door de klimaatcomputer een warmtevraag werd berekend. De toename van de berekende buistemperatuur zorgde ervoor dat de EB nachtschermen opnieuw sloten.

Fase 2:

We zien dat de RV opliep tijdens de nacht, totdat de drempelwaarde werd overschreden. Het Luxous-scherm opende eerst en – omdat de RV in de serre bleef toenemen – openden ook de aluminium folieschermen. De opening van de schermen werd daarna geregeld door het niveau van RV in de serre. Rond 4u30 zakte de kasttemperatuur opnieuw onder de ingestelde verwarmingstemperatuur, waardoor er een warmtevraag was. De verwarming werd geactiveerd en de kasttemperatuur steeg terug.

Fase 3:

De aluminium schermen openden bij zonsopgang, het Luxous doek opende 45 minuten later. Zodra de aluminium folieschermen begonnen te openen, zakte de kasttemperatuur wat leidde tot een activatie van het verwarmingssysteem.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen

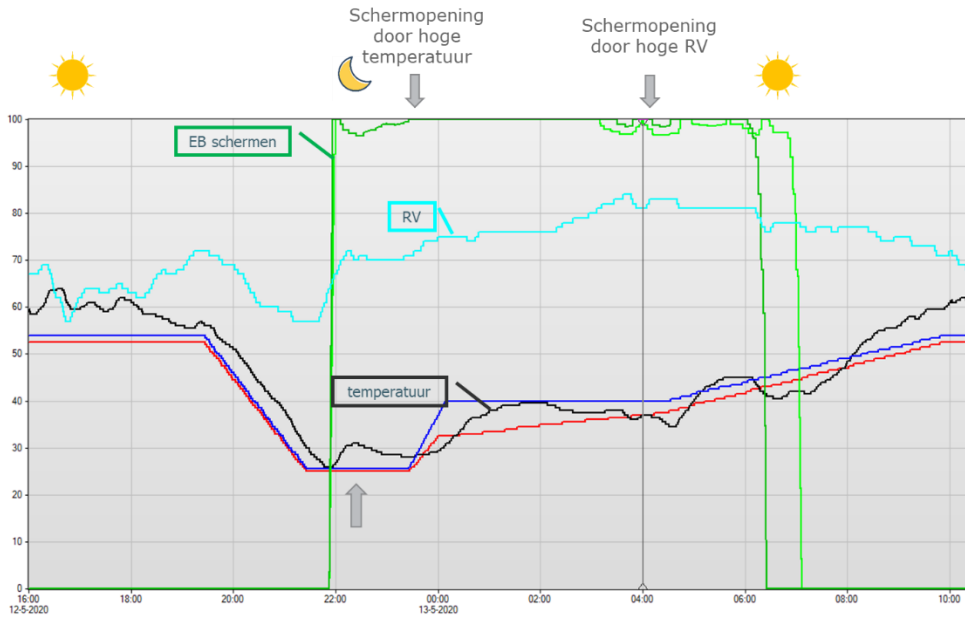


Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

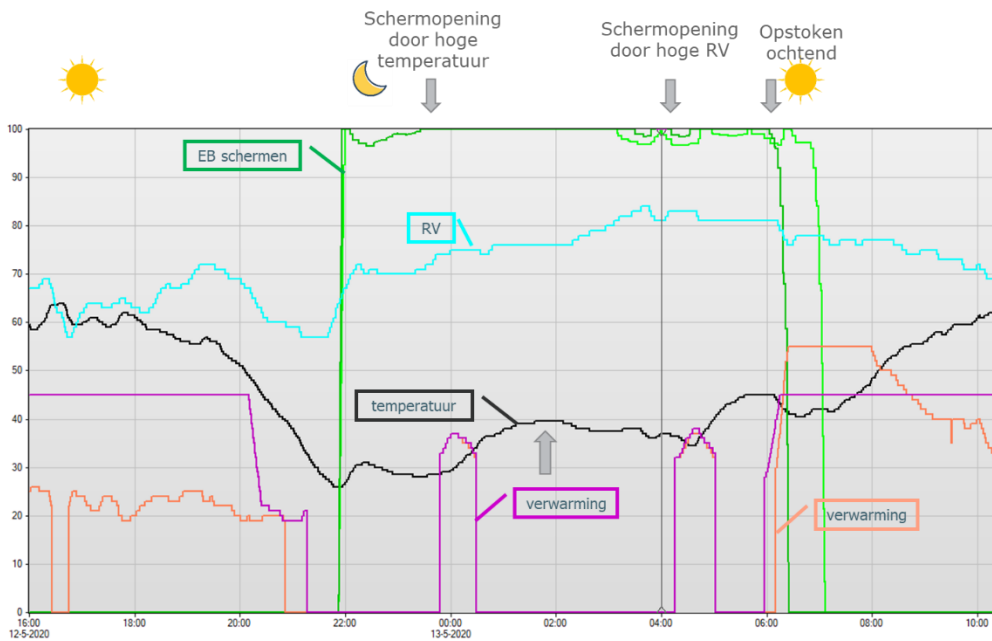
provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Figuur 5: Kasttemperatuur (zwart), RV (lichtblauw), schermopening van het Luxous 1147 FR doek (donkergroen) en de aluminium schermen (lichtgroen) en de ingestelde verwarmingstemperatuur (rood) en ventilatietemperatuur (donkerblauw) op 12-13 mei 2020

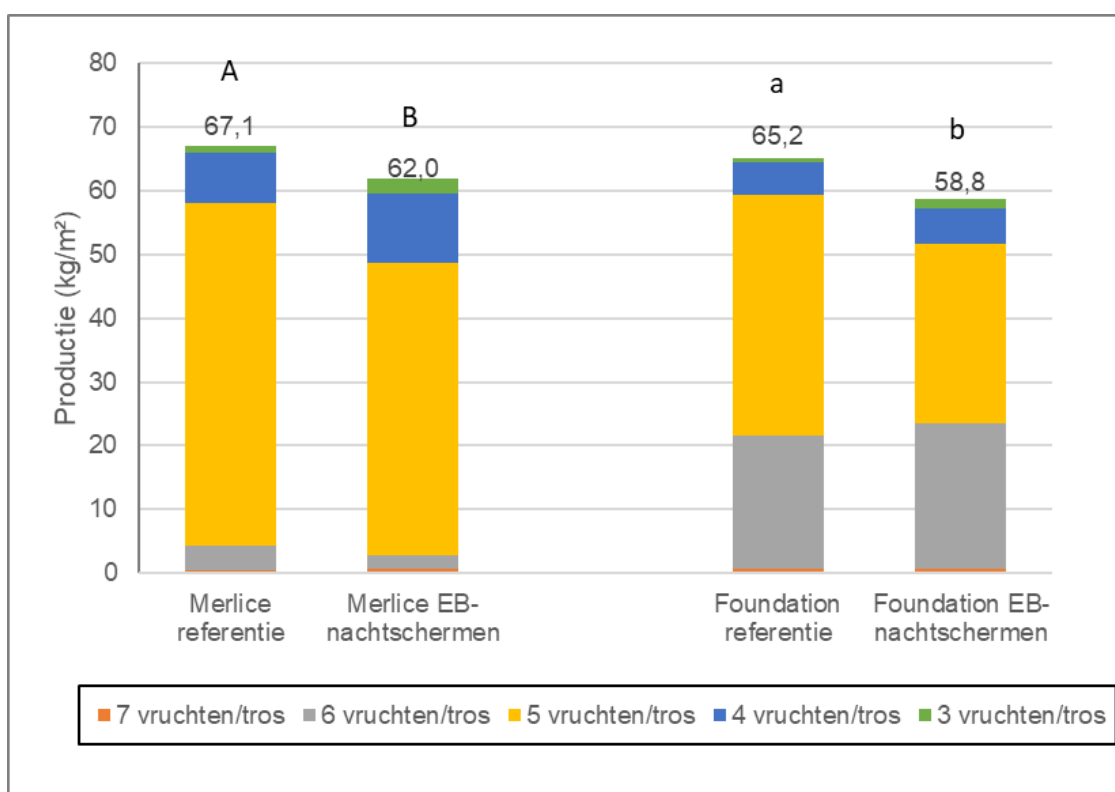


Figuur 6: Kasttemperatuur (zwart), RV (lichtblauw), schermopening van het Luxous 1147 FR doek (donkergroen) en de aluminium schermen (lichtgroen) en de temperatuur van het groeinet (oranje) en de berekende biustemperatuur voor sluiting van de schermen (paars) op 12-13 mei 2020

Opbrengst

De producties van Merlice en Foundation onder de EB nachtschermen vielen lager uit dan in de referentieafdeling (Figuur 7, Tabel 3). Een eerste verklaring hiervoor ligt in het vruchtgewicht. Zowel Merlice als Foundation startten onder de EB nachtschermen met een lager vruchtgewicht, wat resulteerde in een tragere productiestart (Tabel 5). Het vruchtgewicht van Merlice maakte vanaf augustus wel een inhaalbeweging en was gemiddeld over het hele jaar nagenoeg gelijk tussen de twee afdelingen: 163 g in de referentie en 162 g bij de EB nachtschermen. De referentie van Foundation heeft het zeer goed gedaan met een gemiddeld vruchtgewicht van 159 g. Het vruchtgewicht van Foundation onder de EB nachtschermen eindigde 19 g lager.

Het feit dat de schermdoeken tijdens de installatie een aantal dagen dicht bleven, waardoor de bestuiving door de hommels ondermaats was, leidde bovendien in het begin van de proef tot slecht gezette tomaten. Daarnaast nam het grotere scherpakket van de aluminium folies wat meer licht weg. Theoretisch gezien hadden we hierdoor een productieverlies van ongeveer 2% verwacht. Maar de opbrengst in €/m² lag 6% lager voor Merlice en 8% lager voor Foundation geteeld onder de EB nachtschermen in vergelijking met de referentie.



Figuur 7: Productie in de referentie afdeling en de afdeling met de EB nachtschermen bij Merlice en Foundation



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Tabel 3: Opbrengst, aantal vruchten en gemiddeld vruchtgewicht per object.

	Opbrengst (kg/m ²)	Relatief tov referentie	Vruchten per m ²	Vrucht- gewicht (g)
Merlice referentie	67,1 a	100	411	163 a
Merlice EB nachtschermen	62,0 b	92	382	162 a
Foundation referentie	65,2 a	100	410	156 a
Foundation EB nachtschermen	58,8 b	90	420	140 b

Tabel 4: Sortering per object (%).

	7 vr/tr	6 vr/tr	5 vr/tr	4 vr/tr	3 vr/tr	los	gebarsten	groen	neusrot
Merlice ref.	0,3 a	6 a	77 a	15 a	1,3 b	0,7 a	0 a	0,7 a	0
Merlice EB ns	0,3 a	3 a	71 a	19 a	3,7 a	2,2 a	0 a	0,8 a	0
Foundation ref.	0,6 a	26 a	64 a	8 a	0,6 b	0,5 b	0 a	0,6 b	0
Foundation EB ns	0,2 a	32 a	53 a	9 a	2,6 a	1,4 a	0 a	1,6 a	0

Tabel 5: Cumulatieve productie per week (kg/m2)

	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26
Merlice ref.	0,0	0,4	3,0	4,6	6,4	8,4	10,4	12,5	15,0	17,9	19,7	23,6
Merlice EB ns	0,1	0,6	2,3	3,8	5,4	7,4	9,3	10,6	13,0	16,9	19,1	22,5
Foundation ref.	0,2	2,0	3,7	5,6	7,5	9,8	11,9	14,9	17,5	20,0	22,7	26,1
Foundation EB ns	0,5	1,6	2,9	3,9	5,7	8,0	9,1	11,1	13,0	15,9	17,8	20,7

	W27	W28	W29	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37
Merlice ref.	26,6	29,2	31,1	32,8	34,8	37,4	39,9	42,4	45,3	47,1	48,5
Merlice EB ns	26,2	29,2	31,2	33,5	35,4	37,8	41,0	44,1	46,9	48,9	50,7
Foundation ref.	29,1	31,1	32,7	34,5	36,5	38,7	41,2	43,3	45,5	47,6	48,8
Foundation EB ns	23,0	25,0	26,6	28,7	30,3	32,7	35,2	36,9	39,5	41,6	42,8

	W38	W39	W40	W41	W42	W43	W44	W45	W46	W47	W48
Merlice ref.	50,2	51,9	53,1	53,9	55,7	57,2	58,2	59,6	60,7	62,9	67,1
Merlice EB ns	53,5	55,1	56,4	57,4	59,6	61,0	62,0	63,6	64,7	67,4	72,1
Foundation ref.	50,1	51,5	52,5	53,5	54,8	56,1	57,0	58,5	60,0	62,1	65,2
Foundation EB ns	44,1	45,5	46,4	47,2	48,7	50,3	51,4	52,3	54,2	56,0	58,6



Plantontwikkeling

De planten in de afdeling met de EB nachtschermen waren langer, maar dit verschil is niet significant. Het aantal aangelegde trossen is hetzelfde (Tabel 6). De maandelijkse gewasbeoordelingen tonen geen verschillen voor groeikracht en gewasgeslotenheid (Tabel 7). De vruchtzetting verliep beter in de referentie dan in de afdeling met de EB nachtschermen.

Tabel 6: Resultaten plantmetingen per object (totaal).

	Plantlengte (cm)	Behanglengte (cm)	Aantal trossen
Merlice referentie	913 a	227 a	29,0 a
Merlice EB nachtschermen	940 a	229 a	29,5 a
Foundation referentie	931 a	218 a	27,9 a
Foundation EB nachtschermen	955 a	229 a	27,4 a

Tabel 7: Resultaten gewasbeoordelingen per object (gemiddelde van maandelijkse beoordeling).

	Groei-kracht	Gewas- geslotenheid	% trossen met achterblijvende vruchten	% onvolledige trossen
Merlice referentie	5,9 a	5,1 a	10 b	2 b
Merlice EB ns	5,8 a	5,2 a	15 a	6 a
Foundation referentie	5,1 a	4,1 a	7 b	3 a
Foundation EB ns	5,2 a	4,2 a	9 a	5 a
	Score 0-10	Score 2-10	%	%

Kwaliteit

Op het vlak van kwaliteit waren de verschillen beperkt en meestal niet significant (Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11). Hoewel niet significant verschillend, zien we wel systematisch een betere score voor krimpseurtjes bij de tomaten uit de referentie afdeling. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan het lagere vruchtgewicht, wat meestal samengaat met een lagere incidentie van krimpseurtjes.

Tabel 8: Troskwaliteit per object (score op 10, gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Trosvorm	Visgraat	Opvolging	Vlakke ligging	Schakeling	Frisheid	Grofheid
Merlice referentie	9,1 a	9,3 a	7,5 a	9,8 a	10,0 a	6,2 a	6,3 a
Merlice EB ns	8,4 a	8,6 a	6,2 a	9,2 a	9,5 a	6,3 a	6,2 a
Foundation referentie	9,1 a	10,0 a	8,8 a	7,8 a	10,0 a	6,2 a	6,6 a
Foundation EB ns	8,9 a	9,8 a	8,0 a	8,3 a	9,8 a	6,0 a	6,2 a



Tabel 9: Vruchtvorm per object (% , gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Geribd	Gemoot	Niet geribd	Hoekig	Hooggrond	Gemiddeld	Laaggrond
Merlice referentie	0 a	5 a	95 a	4 a	47 a	53 a	0 a
Merlice EB ns	0 a	9 a	91 a	7 a	41 a	55 a	4 a
Foundation referentie	0 a	4 a	96 a	7 a	35 b	65 a	0 a
Foundation EB ns	0 a	7 a	93 a	7 a	40 a	55 a	5 a

Tabel 10: Vruchtqualiteit per object (gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Gevlamde vruchten	Bewaartip	Krimpscheurtjes	Gele kronen
Merlice referentie	0 a	3 a	7,4 b	10,0 a
Merlice EB ns	1 a	2 b	7,8 a	10,0 a
Foundation referentie	0 a	1 a	6,8 a	9,8 a
Foundation EB ns	1 a	0 a	7,8 a	9,8 a
	%	%	Score 2-10	Score 2-10

Tabel 11: Hardheid en Brix-waarde per object (gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

	Hardheid 3 dagen na oogst	Hardheid 10 dagen na oogst	Brix-waarde
Merlice referentie	78 a	69 a	4,0 a
Merlice EB ns	74 b	68 a	4,0 a
Foundation referentie	76 a	68 a	4,6 a
Foundation EB ns	73 b	67 a	4,6 a
	0-100	0-100	°


Interreg

 Vlaanderen-Nederland
 Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling


Conclusies

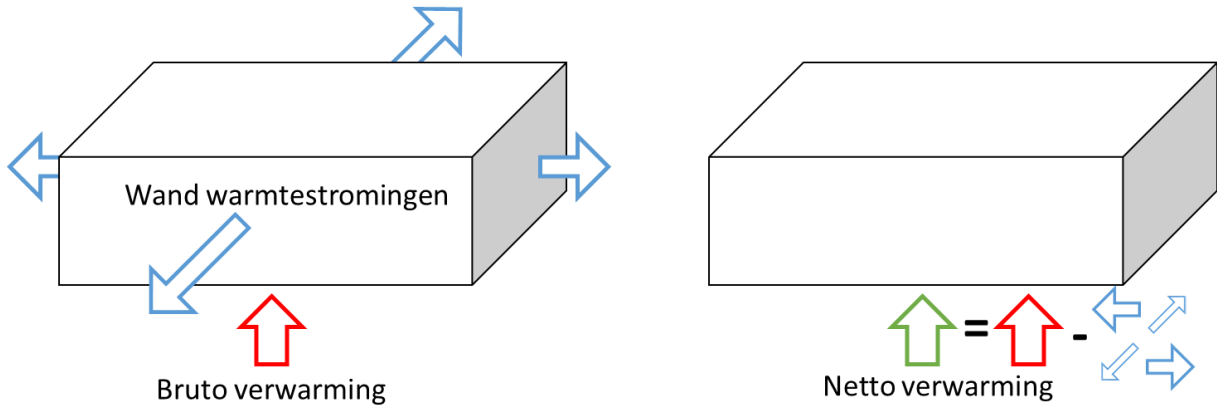
De serre beter isoleren is een belangrijke eerste stap om energie te besparen. Energie-balancerende nachtschermen blijken hierbij veelbelovend en kunnen ons een stap dichterbij de klimaatneutrale kas brengen. Door middel van deze schermen, gecombineerd met een aangepaste klimaatsturing, konden we het voorbije teeltseizoen tijdens de nachtperiode 71% energie besparen in een tomatenteelt. Teelttechnisch is er nog optimalisatie nodig. Ook de folies gebruikt voor de EB nachtschermen kunnen nog verder worden doorontwikkeld.

Referenties

Bronchart, F., Corbala, L. (2021) Rapport energy balancing dag- en nachtschermontwikkeling. GLITCH INTERREG Vlaanderen Nederland. <https://glitch-innovatie.eu/>

Bijlage A. Netto vs bruto verwarming

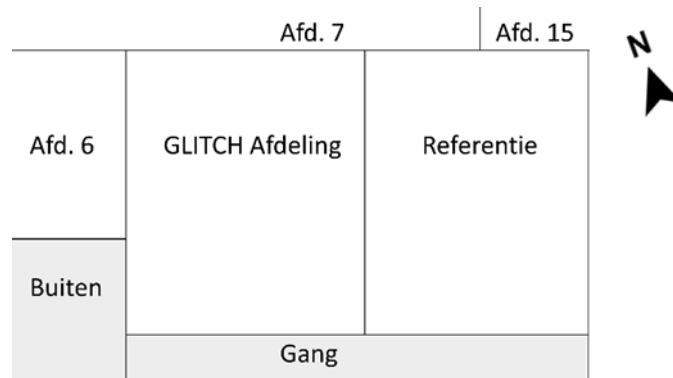
In commerciële serres is het grondoppervlak veel groter dan het muuroppervlak – energieverliezen naar buiten treden voornamelijk op via het dak. Bij de compartimenten die voor de GLITCH-proef werden gebruikt, is het grondoppervlak (490 m²) kleiner dan de wandoppervlakte (622 m²) - en is er dus meer warmteverlies langs de zijwanden dan in een commerciële serre. Om de warmtevereisten in het GLITCH- en Referentiecompartiment van onze proef te kunnen vergelijken met commerciële serres, moeten we deze randeffecten uit de resultaten verwijderen. Dit is de vertaling van bruto verwarming naar netto verwarming (Figuur A1)



Figuur A1. Bruto tot netto verwarmingsvereisten.

Figuur A2 situeert de GLITCH en referentie afdeling t.o.v. van hun omgeving. A2. De netto verwarmingsvereisten in de GLITCH afdeling zijn daarom:

$$Q_{GLITCH_{netto}} = Q_{GLITCH_{bruto}} - Q_{G \rightarrow Ref} - Q_{G \rightarrow Afd.7} - Q_{G \rightarrow Afd.6} - Q_{G \rightarrow Buiten} - Q_{G \rightarrow Gang}$$



Figuur A2. Situering van de GLITCH- en referentiecompartiment op het PCH.

Voor de berekeningen van de warmtedoorgang tussen de verschillende afdelingen:

$$Q_{G \rightarrow i} = U_i * A_{wall_i} * (T_G - T_i)$$

Waar i ofwel een aangrenzend compartiment, de gang of de buitenkant is.

Hierbij werden volgende U waarden gebruikt:

- Tussen gang en de afdeling: $U_{corridor} = 1.2863 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$. Deze waarde is lager omdat een folie voorzien is om de warmteoverdracht te verminderen.
- Tussen 2 compartimenten: $U_{afd} = 3 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$,
- Tussen afdeling en buiten: $U_{buiten} = 2.5 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$. Ook hier is een folie voorzien maar de overdracht naar buiten is groter door buitenwind en lagere stralingstemperaturen.

Deze coëfficiënten zijn gebaseerd op warmteoverdracht berekeningen waarbij viewing factors gebruikt werden.

De temperaturen in elk van de aangrenzende compartimenten en buiten werden gemeten door een priva meetbox verbonden met de klimaatcomputer. Er staat echter geen priva meetbox in de gang, daar werd de temperatuur gemeten, maar tijdens zonnige momenten leverde dit geen betrouwbare metingen op. Daarom is voor de gang een temperatuurprofiel geïmplementeerd.

Om de juistheid van deze berekening van de netto warmte te beoordelen, werd de warmtestroom door compartimenten experimenteel gemeten m.b.v. warmtedoorgangssensoren van hukseflux. Deze sensoren van hukseflux werden aangepast zodat deze toegepast kunnen worden voor het meten van de warmtedoorgang door glas (Figuur A3)

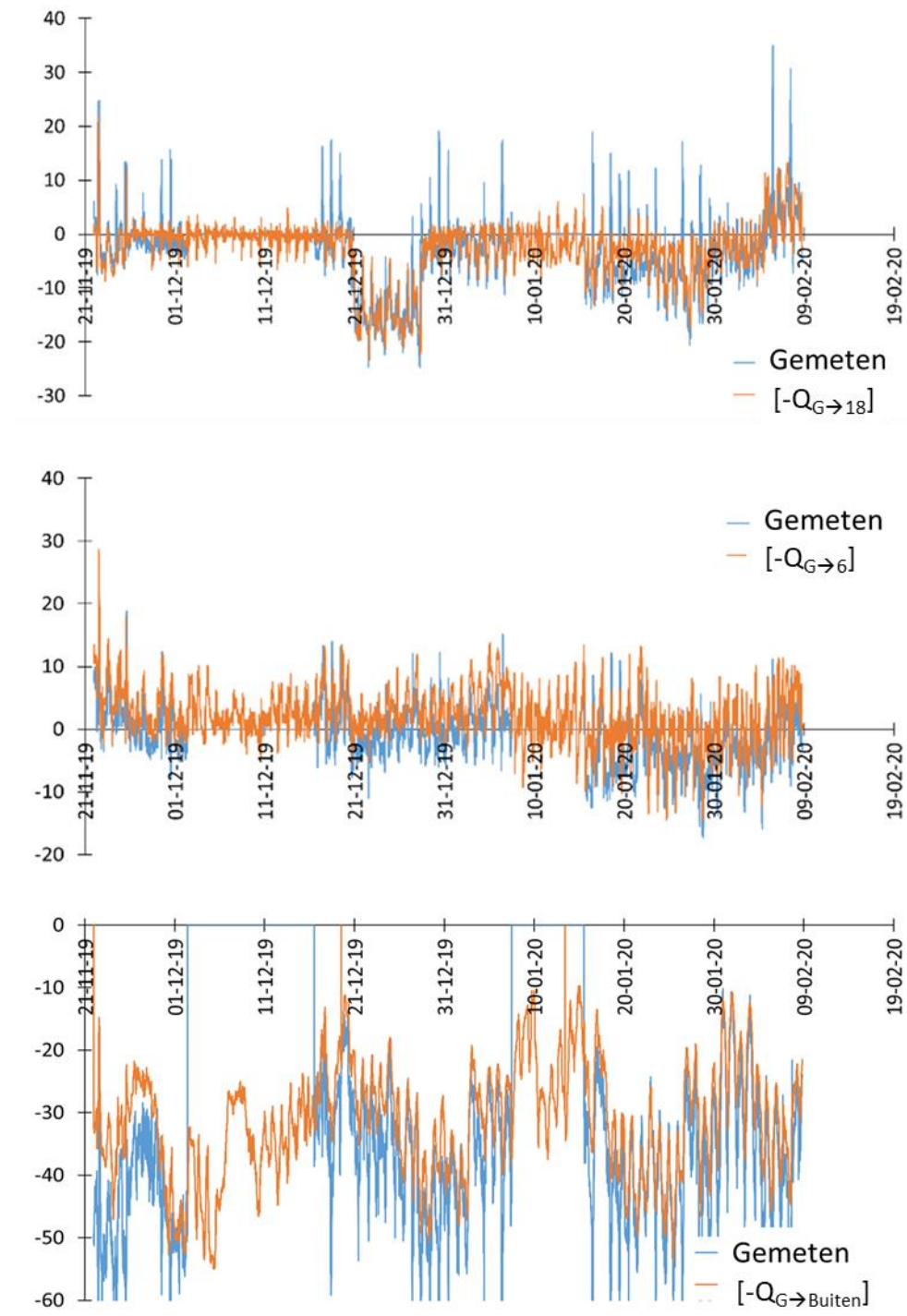


Figuur A3. Aangepaste hukseflux sensoren.

De vergelijking van sensormetingen en de voorspellingen met behulp van de bovengenoemde waarden wordt getoond in Figuur A4. Er werd geconcludeerd dat de berekende waarden en de gemeten waarden vergelijkbaar genoeg zijn voor de evaluatie van het netto energieverbruik



in de afdelingen. Daarom werd de warmteflux tussen compartimenten berekend met de hierboven vermelde U-waarden en het temperatuurverschil tussen afdelingen.



Figuur A3. Vergelijking van sensormetingen en de berekende voorspelling





Bijlage B. U-waarde berekeningen

The calculated U-value from the greenhouse (glass+screen system) can be derived from the heat balance of the compartment:

$$\begin{aligned} (M_{humidair}c_{phumidair} + M_{water}c_{pwater}) \frac{dT}{dt} + l23 \frac{d(M_{vapor})}{dt} \\ = Q_{roof} + Q_{walls} + Q_{ground} + Q_{heating} \\ U_{roof} = \frac{Q_{roof}}{A(T_{out} - T_{in})} \end{aligned}$$

Humid air density, c_p and mass calculation

The kg_{vapor}/m^3

$$\begin{aligned} p_{vapor}^*(Pa) &= \left(\frac{101325}{760}\right) * 10^{8.0713 - \frac{1730.6}{233.43 + T(^{\circ}C)}} \\ p_{vapor} &= RH * p_{vapor}^* \\ \rho_{vapor} \left(\frac{kg}{m^3}\right) &= \frac{p_{vapor}}{R_{vapor} * T(K)} \end{aligned}$$

The kg_{air}/m^3

$$\begin{aligned} p_{dryair} &= 101325 - p_{vapor} \\ \rho_{dryair} \left(\frac{kg}{m^3}\right) &= \frac{p_{dryair}}{R_{dryair} * T(K)} \end{aligned}$$

Humid air density

$$\rho_{humidair} = \rho_{vapor} + \rho_{dryair}$$

C_p humid air

$$c_{phumidair} = 1.005 + 1.82 \left(\frac{\rho_{vapor}}{\rho_{dryair}}\right)$$

Humid air mass

$$M_{humidair} = 7m * 720m^2 * \rho_{humidair}$$

Vapor mass

$$M_{vapor} = 7m * 720m^2 * \rho_{vapor}$$

M_{water} assumed as 5kg per squared-meter c_p 4.18 kJ/kg/K

R_{air} =287.05 J/kg/K

R_{vapor} =461.52 J/kg/K

Q_{ground} was calculated with Hukseflux measurements.

Q_{walls} were calculated with temperature differences between compartments (h= 3 between compartments; 1.283 to hallway)

$l23 = 2500.67 - 71 * T(^{\circ}C) / 30$ [kJ/kg]



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

