

Teeltproef II van WP 5 "Ontwikkeling klimaatneutrale glastuinbouw"

Een stap dichterbij klimaatneutrale glastuinbouw: nieuwe dagschermen en een verbeterd commercieel nachtscherm in de paprikateelt te Proefcentrum Hoogstraten

Luis Corbala (ILVO), Marlies Huysmans (PCH), Lien Bosmans (PCH), Filip Bronchart (ILVO)

Proefperiode: November 2019 – Oktober 2020

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

In samenwerking met Oerlemans Packaging N.V., Ludvig Svensson en Phormium



GLITCH

Titel	Een stap dichterbij klimaatneutrale glastuinbouw: nieuwe dagschermen en een verbeterd commercieel nachtscherm in de paprikateelt
Proefperiode	November 2019 – Oktober 2020
Contactgegevens	Proefcentrum Hoogstraten (teelt) Marlies Huysmans Marlies.Huysmans@proefcentrum.be ILVO Luis Corbalá Robles Luis.CorbalaRobles@ilvo.vlaanderen.be
Project	Dit onderzoek vond plaats binnen het Interreg project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw. Deze teeltproef maakt onderdeel uit van de ontwikkeling van klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen. https://glitch-innovatie.eu/
Steunvermelding	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.



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



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
AC	Anti-condens
PAR	Photosynthetically active radiation
RV	Relatieve vochtigheid
VA	Vinyl acetaat



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Inhoudstafel

Afkortingen	3
Inhoudstafel	4
Inleiding en samenvatting	5
Proefopzet	6
Beschrijving schermcombinatie	6
Proefbeschrijving	8
Teeltgegevens	9
Beoordelingen	9
Resultaten en bespreking	9
Teelt	9
Teeltsturing	11
Energie	12
Berekeningsmethodiek	12
Total energy use and savings	12
Energiegebruik gedurende de dag en de nacht en het daaruit volgende energiebesparingspotentieel	14
Performantie schermstelsel	17
2 PE-VA + 1 1147FR versus geen schermen	17
1 PE-VA versus geen schermen	18
1 PE-VA versus 1 SLS10 scherm	19
Gemeten en gemodelleerde U-waarde kasdek	19
Conclusies	20
Referenties	21
Bijlage A. LBU electricity calculation	23
Bijlage B. Netto vs bruto verwarming	25
Bijlage C. Gedetailleerd controleschema	28
GLITCH afdeling	28
Referentie Afdeling	35
Bijlage D. Lichtransmissie meetmethode	42
Experimental set-up	42

Inleiding en samenvatting

De Belgische landbouwsector gebruikte 29,4 PJ primaire energie in 2017 (1 PJ = 277778 MWh), wat neerkomt op bijna 2% van het totale primaire energieverbruik dat jaar (emis, 2018). De glastuinbouw was verantwoordelijk voor 14 PJ (48%) van dit primaire energieverbruik – i.e. 19,4 PJ uit fossiele brandstoffen, 0,3 PJ uit biomassa verminderd met 5,7 PJ als elektriciteitsproducent (WKK). De ontwikkeling van klimaatneutra(re) kassystemen is een onmisbare stap om de doelstelling van de Europese Unie te behalen voor de sector tegen 2030: reductie van 40% van de broeikasgasemissies.

Klimaatneutraliteit in de glastuinbouw moet volgens de Trias Energetica worden gerealiseerd door 1) energie te besparen door de warmtevraag in de kas te reduceren en 2) het resterende deel in te vullen met hernieuwbare energie. Concreet zal er op het PCH in de paprikateeltproef 2019-20 gekeken worden naar de toepassing van een energiebalancerende (EB) dagschermsysteem en een performanter nachtschermsysteem.

Het EB-dagschermsysteem bestaat uit scherm(en) met een hoge lichttransmissie en een goede isolatiewaarde gebaseerd op absorptie van warmtestraling. In de kas wordt hiermee geschermd met als doelstelling dat de energiebalans van zonnewinsten en thermische verliezen elkaar opheffen (energie balancerend) .

Vorig projectjaar (2018-19) werd een EB-dagschermsysteem getest met commercieel beschikbare PE-AC folies. In 2019 is samen met Oerlemans gezocht naar meer geschikte folies, en dit leverde PE folies met hoge VA gehalte op. Deze werden in dit tweede projectjaar (2019-20) in een EB-dagschermsysteem getest.

Daarnaast werd ook een performanter nachtschermsysteem getest. Isolerende nachtschermen bestaan uit schermen met een hoge(re) reflectiviteit voor warmtestraling. Door de hoge(re) reflectiviteit zowel aan de bovenkant als aan de onderkant worden respectievelijk koude en warmte gereflecteerd waardoor de warmte in de kas en de koude buiten blijft.

Bij een EB-nachtschermsysteem worden dergelijke nachtschermen meerlagig 's nachts toegepast waardoor de warmte-input wordt gereduceerd tot een minimum en dit met behoud van een geschikte temperatuur in de kas. In de paprikaproef van 2019-20 werd enkel een performanter enkel laags nachtschermsysteem getest op basis van commercieel beschikbare nachtschermen.

Tijdens de paprikaproef (2019-20) werd een energiebesparing van ~65% behaald met behoud van productie en kwaliteit. Een energieverbruik van 296 MJ/m² (9,5 m³ a.e./m²) werd behaald samen met een productie van 29,5 kg/m². De meeste energiebesparingen vonden plaats tijdens de nacht, waardoor er overdag meer mogelijkheden voor verbetering zijn. Een van de belangrijkste aandachtspunten voor de volgende proeven zijn de opgelegde temperatuurprofielen in de vroege ochtend en de regeling van de luchtbehandelingsunit in relatie tot scherm- en raamgebruik.

Proefopzet

Beschrijving schermcombinatie

In 2019-20 werd op PCH een combinatie van EB dag- en nachtschermsystemen getest om het warmteverlies zo klein mogelijk te houden, vooral tijdens de koude wintermaanden. Omdat deze schermssystemen bestaan uit folies die geen vocht doorlaten, werd een luchtbehandelingsunit gebruikt om te ontvochtigen. Afdeling 18 en 19 werden gebruikt voor deze proef, waarbij afdeling 18 diende als referentie en afdeling 19 als testafdeling – i.e. de GLITCH-afdeling. De referentie-afdeling was uitgerust met twee klassieke SLS 10 Ultra Plus dagschermen.

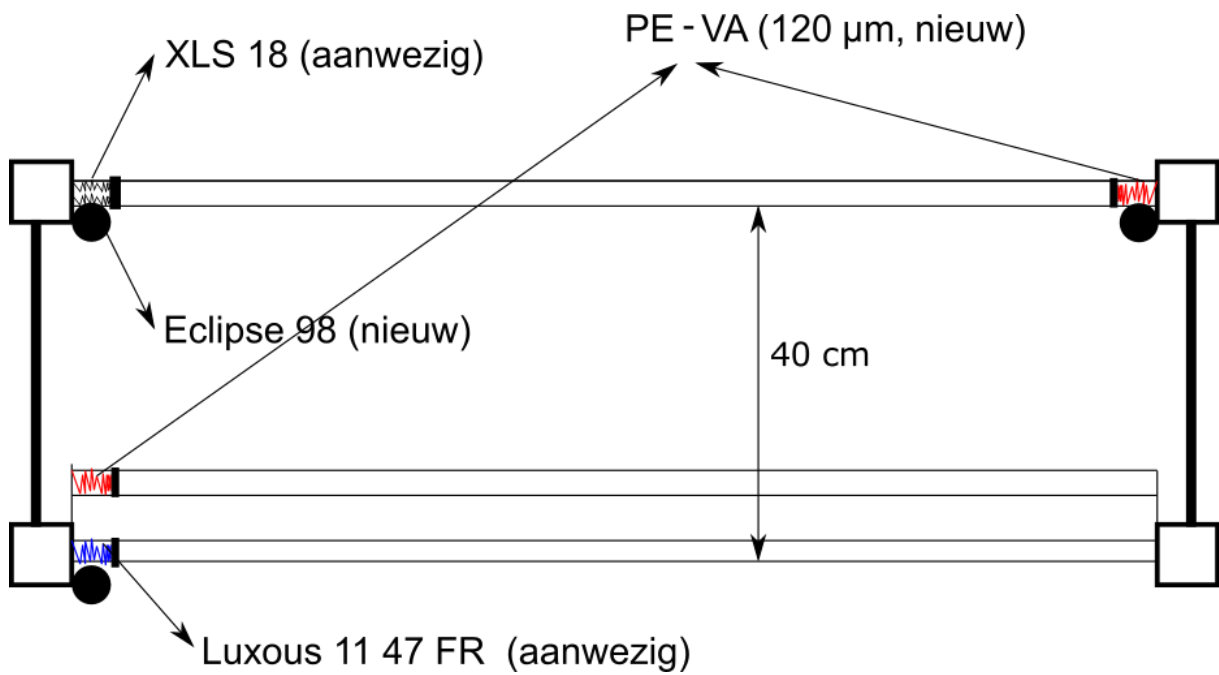
In de GLITCH-afdeling werd een EB-dagschermsysteem getest. Dit EB- dagschermsysteem bestond uit twee PE-VA folies en Luxous 1147 FR doek (Svensson) (Figuur 1). De twee PE AC folies van het vorige proefjaar werden vervangen door een dikkere PE (120 μm) met hoog gehalte aan VA (vinyl acetaat) en dezelfde anti-condens (AC) coating als de PE-AC folies in 2018-19.

De PE-VA folie werd ontwikkeld op basis van een daadwerkelijke samenwerkingsovereenkomst tussen ILVO, UGent en proefcentra met het bedrijf Oerlemans en heeft een hoge hemisferische lichttransmissie gecombineerd met hoge warmtestralingsabsorptie.

Het Luxous 1147 FR doek werd behouden uit de proef van vorig jaar. De onderste PE-VA folie en het Luxous doek liggen op verschillende draagbedden, maar op hetzelfde trekmechanisme en gaan dus steeds samen open of dicht en hierdoor noemen wij dit het duo scherm. De bovenste PE-VA folie ligt op hetzelfde draagbed als de nachtschermen, waardoor slechts één van de twee schermen dicht kan zijn (of beiden kunnen open zijn).

Verder werd een nachtschermsysteem getest bestaande uit het XLS18 nachtscherm en een extra PhormiTex Eclipse 98 van het bedrijf Phormium (zie Figuur 1). De bedoeling was dit bijkomende nachtscherm te plaatsen in een dubbel dradenbed bovenaan zodat een prototype EB-nachtschermsysteem kon worden getest op basis van commercieel beschikbare schermen. Tijdens de installatie van het Eclipse 98 scherm, bleek het voorzien van een dubbeldradenbed bovenaan echter niet mogelijk. Daarom werd het Eclipse 98 doek onderaan in hetzelfde dradenbed van het bestaande XLS18 nachtscherm gehangen, met de glanzende kant naar onder zodat dit nachtscherm nu zowel warmte reflecteert onderaan als bovenaan. Gezien er hier geen spouw is, kunnen we nog niet spreken van een EB nachtschermsysteem maar enkel van een performanter nachtscherm. Dit dubbel nachtscherm heeft een dikte van 20 cm inclusief het schermprofiel.

De belangrijkste stralingseigenschappen van de EB-dagschermen en het performanter nachtscherm zijn samengevat in Tabel 1.



Figuur 1. Overzicht van het schermstelsel in afdeling 19 (GLITCH afdeling)

Tabel 1. Stralingseigenschappen van de gebruikte schermen

Scherm	Warmtestralingseigenschappen*			PAR eigenschappen**
	Transmissie	Emissie	Reflectie	Hemisferisch transmissie
PE-VA 120μm	0.41	0.48	0.12	0.86
Luxous 1147FR	0.40	0.52	0.08	0.75
XLS 18 glans	0.25	0.36	0.39	--
Eclipse 98	0.00	0.59	0.41	--

* De warmtestralingseigenschappen zijn gemeten met een vacuumbboxmeetmethode (Bronchart, 2021). **Zoals beschreven in Bijlage D.

Proefbeschrijving

De zaden werden gezaaid op 11/okt/2019 bij BPK, de planten werden op 22/nov/2019 in de serre bij PCH geplaatst. Vlak voor het planten, werden de schermen geïnstalleerd, zodat ze vanaf het begin van de proef konden ingezet worden. De serrecompartimenten worden beschreven in Tabel 2.

Tabel 2. Beschrijving van de verschillende serrecompartimenten.

	Referentie (afd. 18)	GLITCH (afd. 19)
Oppervlakte	459 m ² (19 m x 24,1 m)	490 m ² (20,3 m x 24,1 m)
Glazen dak	Blank glas, 91% lichttransmissie orthogonaal	Diffuus glas (Albarino van Saint Gobain) low haze 20% ±10 dubbel AR hemisferische lichttransmissie 90.2% volgens WUR
Luchtbehandelingsunit met kruisstroom warmtewisselaar (ontvochtiging)	---	Aanwezig
Schermsysteem	2 onafhankelijk SLS10 schermen	<ul style="list-style-type: none"> ● Onderste dagscherm (=duo scherm): <ul style="list-style-type: none"> ○ Luxous 1147FR ○ PE-VA folie ● bovenste dagscherm: <ul style="list-style-type: none"> ○ PE-VA folie ● Nachtscherm (dubbel scherm): <ul style="list-style-type: none"> ○ XLS 18 ○ PhormitTex Eclipse ○ in 1 dradenbed

De sturing werd uitgevoerd op basis van volgende metingen:

- Buiten: zonnestraling, temperatuur, relatieve vochtigheid
- Binnen: PAR, relatieve vochtigheid, temperatuur, schermpositie, raampositie.

Het toegepaste controleschema is weergegeven in Bijlage C. Etmaal en PAR-som zijn weergegeven in Bijlage E.

Om energiebesparingen te kunnen volgen, werden volgende parameters gemeten:

- Verwarmingsverbruik, elektriciteitsverbruik van luchtbehandelingsunit (zie Bijlage A), temperatuur van omringende afdelingen, warmtestroom tussen afdelingen.

Teeltgegevens

Samenvatting:

- Ras: Maveria
- Teeltsysteem: V-systeem 3 stengels per plant
- Zaaidatum: 11/10/2019
- Plantdatum: 22/11/2019
- Stengeldichtheid: 7,1 st/m²
- Eerste oogst: 18/03/2020
- Laatste oogst: 22/10/2020

Beoordelingen

- Vruchten
 - Vruchtgewicht
 - Aantal kg/m²
 - Omzet (verkoop)
 - Plantgroei
 - Binnenrot
 - Brandvlekken
- Energie
 - Referentie:
 - Verwarming afdeling
 - Warmtedoorgang zijwanden
 - GLITCH:
 - Verwarming afdeling en LBU
 - LBU elektriciteitsverbruik
 - Warmtedoorgang zijwanden
 - Besparingen dag/nacht
 - Energievraagprofiel gedurende de verschillende seizoenen
 - U-waarde kasdek (gemeten)

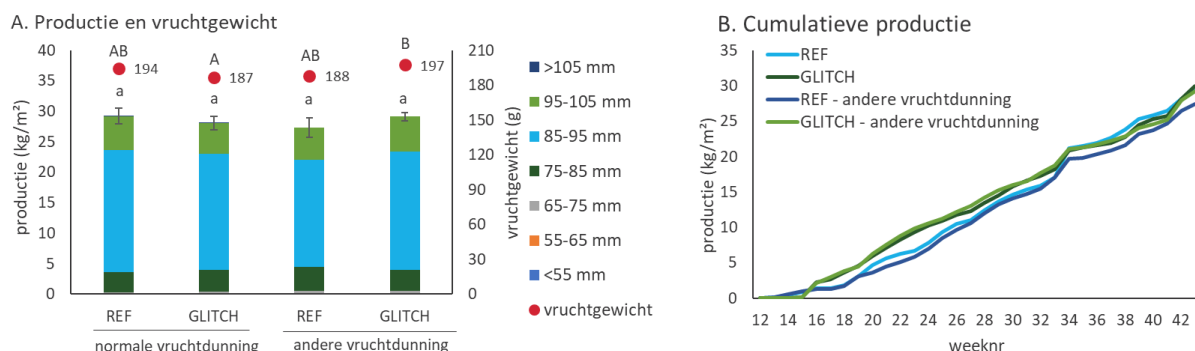
Resultaten en bespreking

Teelt

In beide afdelingen werd ook de productie, plantengroei en kwaliteit van de vruchten opgevolgd. De totale productie lag iets hoger in de GLITCH afdeling dan in de referentie, maar dit verschil was niet statistisch significant (29,5 kg/m² in de GLITCH en 28,5 kg/m² in de referentie). Dit jaar werd er ook een andere vruchtdunningsstrategie toegepast in de helft van de veldjes in de GLITCH afdeling om het effect hiervan te zien op het vruchtgewicht. Deze andere vruchtdunningsstrategie heeft inderdaad gezorgd voor iets grotere vruchten t.o.v. de standaard strategie (197g vs 187g). Deze grotere vruchten hebben geen (significante) invloed gehad op de productie (Figuur 2). Als we kijken naar de cumulatieve productie doorheen het teeltseizoen, zien we dat de productie in de GLITCH afdeling lange tijd heeft voorgelopen, maar dat de referentie-afdeling deze productie heeft bijgehaald vanaf het einde van de zomer (Figuur 2). Tot slot hebben we ook de omzet berekend voor beide afdelingen. Deze ligt 13% hoger in de GLITCH afdeling. Dit valt vooral te verklaren door een hoge productie en grote vruchten in week 16 en 17, en hoge paprikaprijzen tijdens die periode. Dit verschil is enkel

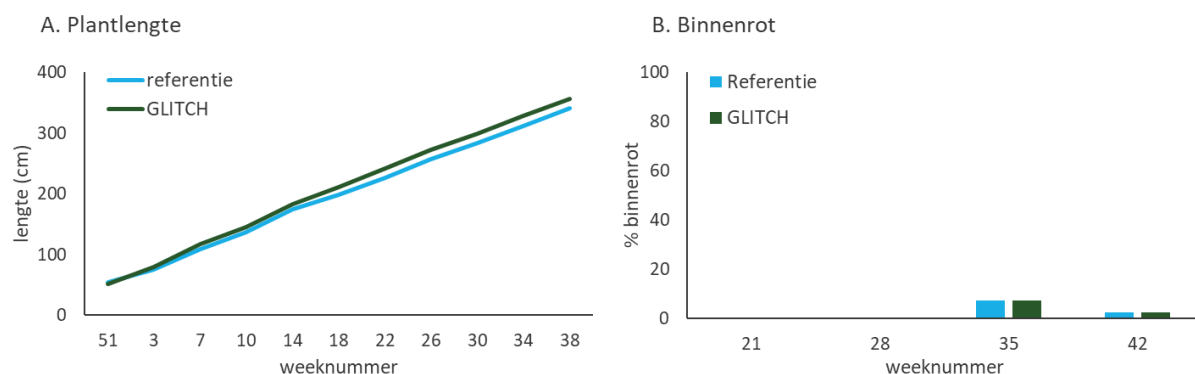
**Interreg**Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

gemaakt tijdens de eerste productieweeken, nadien was de omzet in beide afdelingen nagenoeg gelijk.



Figuur 2. Productieparameters voor de verschillende afdelingen.

Ook plantengroei werd maandelijks opgevolgd. Uit de metingen blijkt dat de planten in de GLITCH afdeling gemiddeld 15 cm groter waren dan de planten uit de referentie-afdeling (Figuur 3). Tot slot werd ook de kwaliteit van de vruchten beoordeeld. Zo werden zowel brandvlekken als binnenrot op geregelde tijdstippen opgevolgd. Brandvlekken werden dit teeltseizoen bijna niet waargenomen. Door de aangepaste schermsturing (onderste duo 90% dicht en bovenste PE-VA 10% dicht) werd voldoende licht afgeschermd. Voor het bepalen van binnenrot werden 4x per jaar de vruchten opzij gezet en opengesneden na 1 week bewaring. Dit teeltseizoen werden enkel in de zomer en het najaar enkele vruchten met binnenrot waargenomen (Figuur 3), maar dit waren slechts beperkte aantallen en was in beide afdelingen hetzelfde. Bij de vorige teeltproef hadden we wel in sommige periodes significant meer binnenrot (zie Corbala, 2020). Door de setpoint van de LBU te verlagen naar 90-92% hebben we dus binnenrot kunnen vermijden.



Figuur 3. Plantparameters voor de verschillende afdelingen

Teeltsturing

Omdat de EB dagschermen veel meer licht doorlaten dan de klassieke schermen, waren deze veel vaker gesloten. Op een koude, winterse dag, als er weinig licht was, werden de drie dagschermen in afdeling 19 dichtgetrokken. Het weinige licht dat beschikbaar is voor de

planten werd dan nog wel verminderd maar in absolute hoeveelheid ($\mu\text{mol PAR}$) is het verschil beperkt.

Om maximaal te kunnen isoleren, werd 's ochtends een kiertje getrokken van 1% in het onderste duo om zo condens op de bovenste folie te krijgen waardoor deze extra isoleert omwille van de warmtstralingsabsorptie van het (extra) laagje water op het scherm.

Het onderste duo werd gedurende de grootste deel van het teeltseizoen (voor meer details, zie bijlage C) ingesteld om te openen vanaf 60 W instraling of meer dan 12°C buitentemperatuur. Op zonnige dagen was dit duo dus meestal open.

De bovenste PE-VA folie was meestal wel gesloten. Deze folie werd ingesteld om enkel te openen als het te warm werd in de serre (2°C boven de ingestelde temperatuur) of buiten (meer dan 25°C).

's Nachts werd het nachtscherm dichtgetrokken samen met het onderste duo (dagscherm).

In de zomer, wanneer er vooral geschermd wordt om de instraling te verminderen, werd het onderste duo 90% dicht getrokken en de bovenste folie slechts 10%. Door het onderste duo (met Luxous doek) 90% te sluiten, werd meer licht afgeschermd zodat de planten beter beschermd werden tegen brandvlekken. Vorig jaar werden de schermen eerst een periode 70% (onderste duo) – 30% (bovenste PE) gesloten, maar toen werden meer brandvlekken waargenomen.

Ook de instellingen voor de temperatuur en luchtvochtigheid werden doorheen het teeltseizoen geëvalueerd en bijgestuurd indien nodig om zo maximaal energie te kunnen besparen. In beide afdelingen was in het voorjaar een koude voornacht (tot 14°C) nodig met als doelstelling de planten te laten zetten. Door de diffuse plastic aan de zijwanden, die geplaatst werd om de energieverliezen via de zijwanden te reduceren waardoor de meetfout op de gemeten energieverbruik kleiner werd, kregen de planten in beide afdelingen minder licht en hadden ze het moeilijk om te zetten. In de referentie gebeurde de zetting iets sneller dan in de GLITCH afdeling. Hier werd dus vanaf half februari de temperatuur van de voornacht langzaam opgetrokken. In deze afdeling werd dan vanaf 1u 's nachts opgestookt naar de gewenste dagtemperatuur (21-22°C). Vanaf eind augustus, naar het einde van de teelt toe, werd er terug vlakker gestuurd. In de GLITCH afdeling werd in januari een lagere dagtemperatuur aangehouden (18°C). Om de zetting toch meer te bevorderen, werd de dagtemperatuur eind januari opgetrokken naar 22°C. In deze afdeling werden van februari tot eind april slechts twee temperaturen ingesteld: een dag- en een nachttemperatuur. Nadien werd er ook nog een korte voornacht ingesteld. De nachttemperatuur van 17°C werd ingesteld tot 12u 's middags om zo 's ochtends opwarming door de zon mogelijk te maken. Ook hier werd vanaf eind augustus opnieuw vlakker gestuurd. De RV in de GLITCH afdeling werd in het begin van het teeltseizoen ingesteld op 92% en werd vanaf half april verlaagd naar 90%. Bij een te hoge RV werd de LBU ingeschakeld om te ontvochtigen. Tijdens zeer vochtige nachten werd ook een kier getrokken in het onderste duo en het nachtscherm, en gingen de ramen open, zodat het overtollige vocht kon afgevoerd worden. In de referentie-afdeling werd er niet specifiek gestuurd naar een bepaalde RV. Een gedetailleerde beschrijving van de klimaatinstellingen van beide afdelingen is weergegeven in bijlage 3.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



GLITCH

Eind mei hebben we enkele problemen vastgesteld met de PE-VA-folie. Zo blijkt dat de buitenlagen van de folie een te laag smeltpunt hebben, waardoor de folie bij hoge zoninstraling aan elkaar blijft plakken als ze samengevouwen is. Hierdoor waren de voorziene trekkracht en aanhechting van de schermen onvoldoende en kwamen de schermen van het onderste duo los. Daarom werd er beslist om de onderste PE-Va-folie te verwijderen en het trekmechanisme te versterken. De bovenste folie plakte niet aan elkaar, maar was op sommige plaatsen gescheurd en werd vervangen. Het trekmechanisme werd ook hier versterkt om het openen en sluiten van de folies te verbeteren. Vanaf begin juni ging de proef dus verder met slechts twee dagschermen.

Energie

Berekeningsmethodiek

Het hieronder vermelde energieverbruik is het netto energieverbruik van elk compartiment, d.w.z. de warmteoverdracht over de zijwanden werd verwijderd van de totale warmtevraag (bruto). De berekening van dit netto energieverbruik gebeurde volgens de methodiek toegelicht in Bijlage A.

Total energy use and savings

Het energieverbruik gedurende het groeiseizoen wordt weergegeven in Tabel 3 en Figuur 4. De totale energiebesparing is toegenomen ten opzichte van vorig jaar, namelijk 65% vergeleken met 40% energiebesparing. In 2019-20 konden we een totaal energieverbruik bereiken van minder dan $10 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ (296 MJ/m^2), en een bijbehorend energieverbruik van $0,3 \text{ m}^3 \text{ a.e./kg}$ ($=10 \text{ MJ/kg}$; 10 GJ/ton).



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



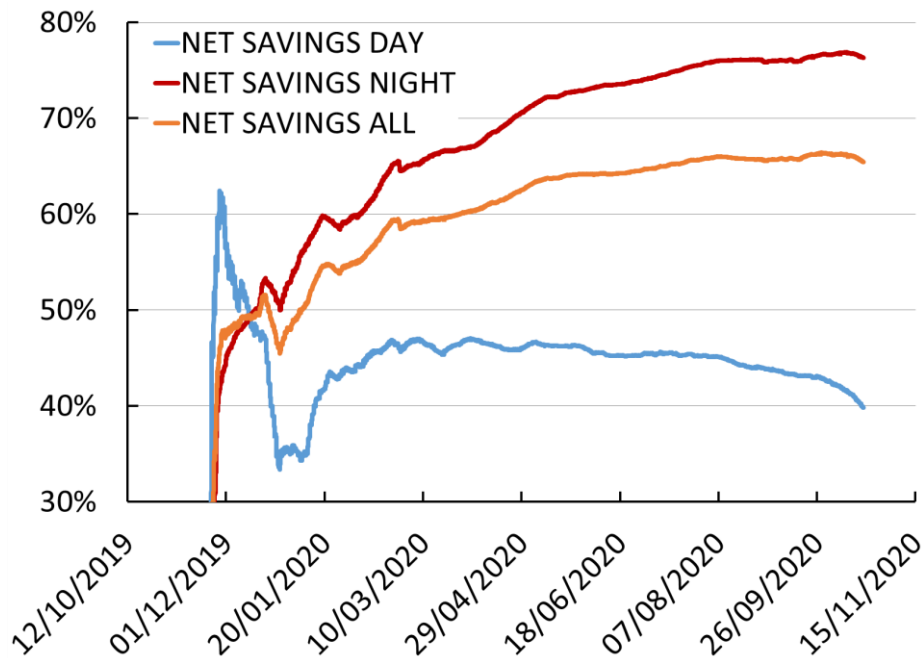
Flanders
State of the Art



Tabel 3. Overzicht van energievraag en –besparingen voor teelt paprika 2020. Vorig teeltjaar is opgegeven als referentie.

	Energiegebruik (MJ/m ²) [m ³ a.e./m ²]			Productie (kg/m ²)	Energie/productie (MJ/kg) [m ³ a.e./kg]
	Dag	Nacht	Totaal	Totaal	Totaal
2019-20					
Referentie	254,5 [8,1]	601,2 [19,1]	855,7 [27,2]	28,5	30,0 [0,96]
GLITCH	153,2 [4,9]	142,6 [4,5]	295,8 [9,4]	29,5	10,0 [0,32]
Besparingen	40%	76%	65%	--	67%
2018-19	Dag	Nacht	Totaal	Totaal	Totaal
Reference			858 [27,2]	26,6	--*
GLITCH			510 [16,2]	26,4	--*
Besparingen			40%	--	--*

* Het energieverbruik werd berekend voor 2018-19 via extrapolatie omdat de oogst vroegtijdig eindigde. Verder ontbraken enkele weken energiegegevens en dit is ook meegenomen in de energieberekeningen. Er wordt dus geen directe koppeling gemaakt met de productiviteit, aangezien het energieverbruik voor dat jaar indicatief is.

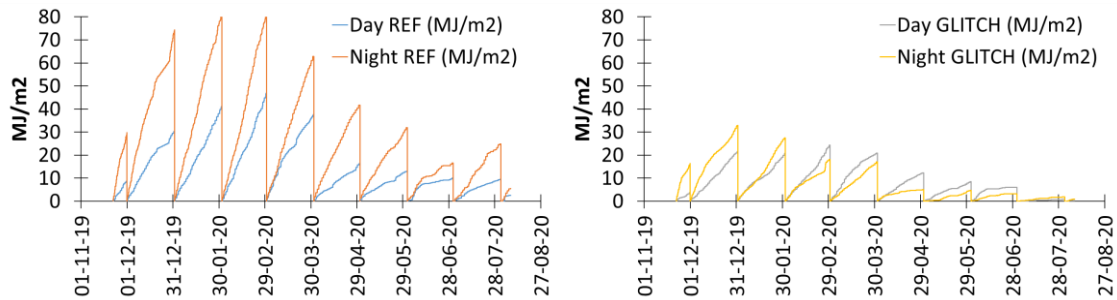


Figuur 4. Cumulatieve energievraagreductie sinds begin van de teelt gedurende de dag, nacht en de volledige dag.



Energiegebruik gedurende de dag en de nacht en het daaruit volgende energiebesparingspotentieel

In de referentie-afdeling en de GLITCH afdeling vindt respectievelijk 70% en 48% van het energieverbruik plaats tijdens de nacht. Deze wordt per maand weergegeven in Figuur 5. Dit komt ook tot uiting in de energiebesparing die 's nachts en overdag gerealiseerd werd. Gedurende de dag gebruikte de GLITCH-kas 40% minder energie dan de referentiekas. In de nachtperiode was dit 76%. Als we dag en nacht samen nemen, wordt de bovengenoemde energiebesparing van 65% behaald.



Figuur 5. Maandelijks cumulatieve energievraag gedurende de dag en nacht in de referentie (links) en de GLITCH afdeling (rechts)

Deze besparingspercentages is niet wat je in eerste plaats zou verwachten: de GLITCH afdeling is uitgerust met een EB-dagschermstelsel waardoor je dus zou verwachten dat overdag de hoogste energiebesparing wordt gerealiseerd en het totale energieverbruik van de kas vooral 's nachts zou plaatsvinden.

Dus, wat zijn de barrières die grotere energiebesparingen overdag tegenhouden?

Daarvoor werden de opgemeten en berekende energiedata gegroepeerd naar een gemiddelde per week om de algemene tendensen te kunnen bestuderen (zie Figuur 6).

Hieruit blijkt dat de belangrijkste oorzaak is het temperatuursprofiel: voor en na zonsopgang wordt de kas die komt vanuit een nachttemperatuur opgewarmd tot een opgelegde dagtemperatuur en dit kost veel energie (zie in blauwe ovals in Figuur 6). In het algemeen wordt gedacht dat deze geleidelijke opgelegde opwarming noodzakelijk is om condensatie op de vruchten te voorkomen en de kas op de gewenste dagtemperatuur te brengen. Het eerste argument is geen geldig argument omdat ook met de zon door het toepassen van schermkieren een geleidelijke opwarming kan nagestreefd worden.

Bijkomend werd ook vastgesteld dat het gebruik van de luchtbehandelingsunit voor ontvochtiging tijdens warme dagen - weergegeven in rode ovals tot een bijkomende en niet nodige energievraag leidt. Dit komt door 2 redenen

1. omdat de binnenkomende lucht met de luchtbehandelingsunit nadat het eerst werd opgewarmd door de kruisstroomwarmtewisselaar kan bijgewarmd tot de kastemperatuur worden ook op de momenten dat de kas geen warmtevraag meer heeft. De sturing van de bijverwarming moet dus afhankelijk gemaakt worden van de temperatuur in de kas en/of het gebruik van schermen in de kas.



GLITCH

2. De LBU bleef draaien op basis van RV zelfs als de ramen open staan. Oplossing: de LBU moet uitgeschakeld worden vanaf de ramen openstaan.

Deze vaststellingen zullen geïntegreerd worden in de teeltproef van 2021 door het telen met de natuur mee en het beter afstellen van LBU.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen

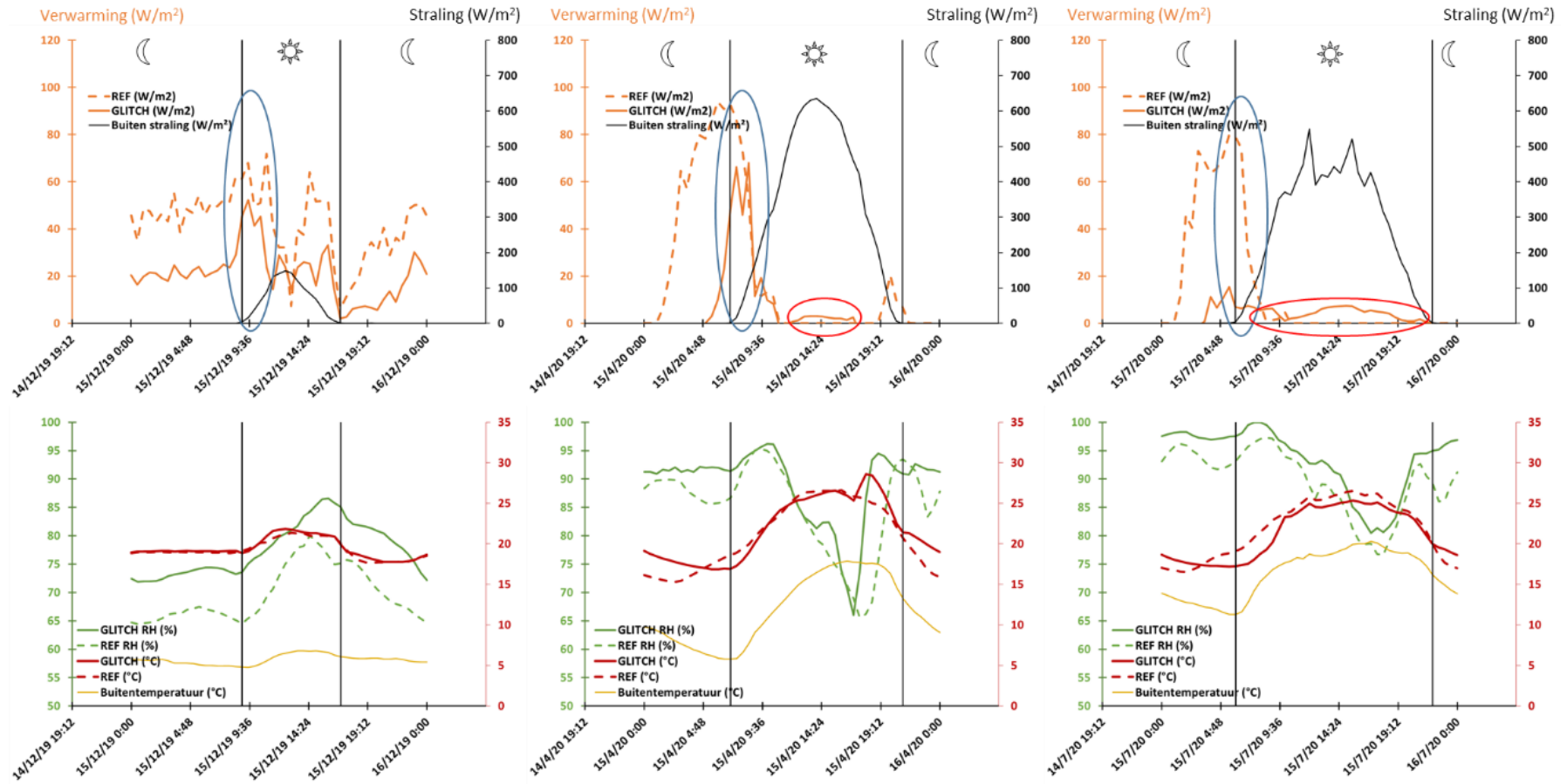


Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Figuur 6. De grafieken geven de gemiddelde waarden weer over een periode van 1 week. De linkse grafiek betreft de week vóór 14/12/2019, de middelste grafiek de week vóór 14/04/2020 en de rechtse grafiek de week vóór 14/07/2020. Bovenaan wordt de gemiddelde warmtevraag weergegeven (W/m^2), onderaan de gemiddelde temperaturen. De omcirkelde gebieden duiden aan dat een belangrijk deel van de warmtevraag in de kas veroorzaakt wordt door het opgelegde temperatuurprofiel gedurende de ochtend.

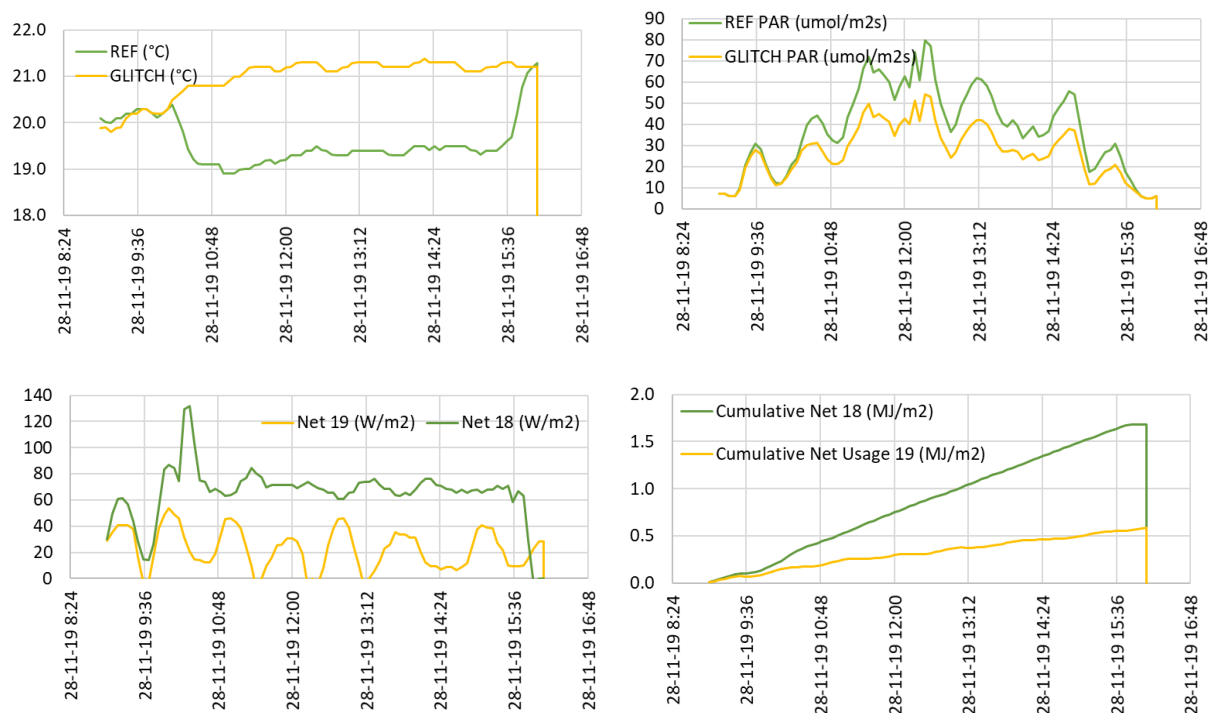
Performantie schermstelsysteem

Schermprestaties worden bepaald gedurende lange perioden wanneer een bepaalde schermconfiguratie wordt gebruikt in zowel de GLITCH- als de referentieafdeling. De gerapporteerde waarden zullen bij verschillende momenten verschillen, maar laten wel het potentieel van het schermstelsysteem zien (in vergelijking met een referentie).

2 PE-VA + 1 1147FR versus geen schermen

Hiervoor is een voorbeeld genomen van 28-nov-2019. De buitentemperatuur was ongeveer 9°C en de zonnestraling bleef onder de 50 W/m². Gedurende deze periode was er een temperatuurverschil van ca. 1,5 °C tussen beide afdelingen. De temperatuurdaling in de referentie afdeling aan het begin van Figuur 7 (linksboven) laat zien wanneer er geen schermen meer werden gebruikt.

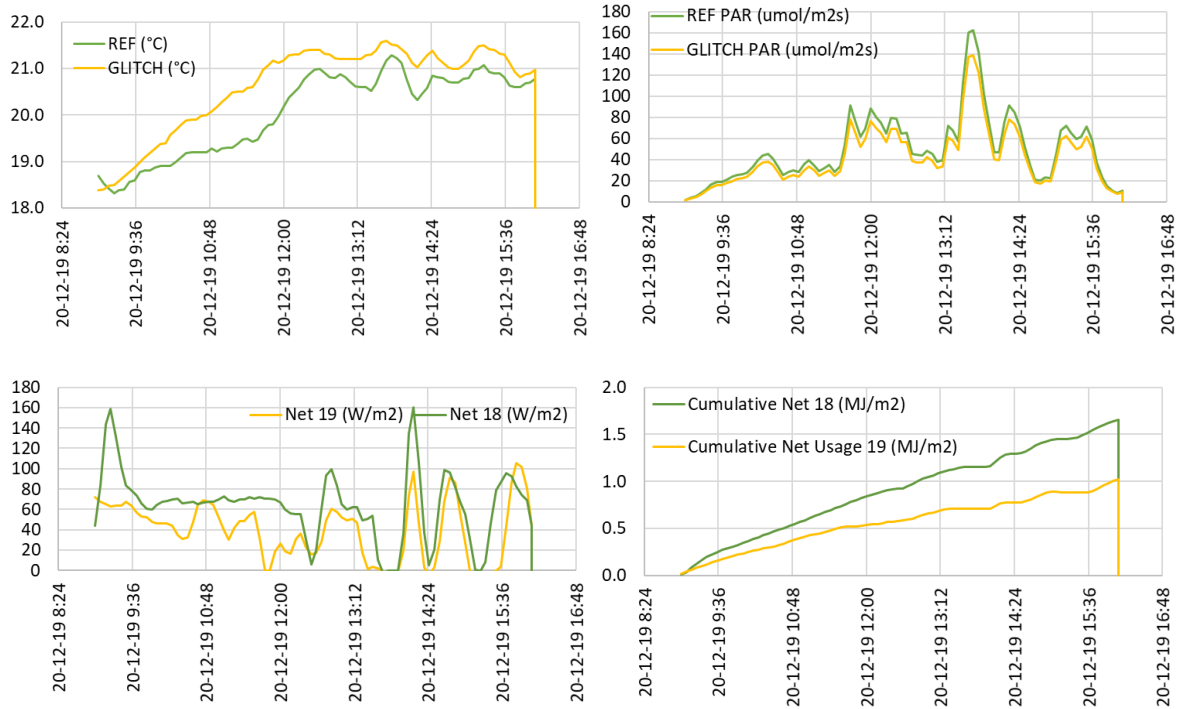
Tijdens deze periode werd een energiebesparing van 65-70% behaald - met behoud van een hogere temperatuur in het GLITCH-compartiment. Desalniettemin had het GLITCH-compartiment qua lichtinval in de kas 31-35% minder PAR-straling. Dit is in een moment met lage zonnestraling, en dit procentuele verschil vertegenwoordigt een absoluut verschil van ongeveer 20 µmol/m²/s.



Figuur 7. Vergelijking gedurende de dag tussen kasttemperatuur (linksboven), lichtintensiteit (rechtsboven), momentane energievraag (linksonder) en cumulatieve energievraag (rechtsonder) bij het gebruik van 3 dagschermen in de GLITCH afdeling versus geen schermen in referentieafdeling.

1 PE-VA versus geen schermen

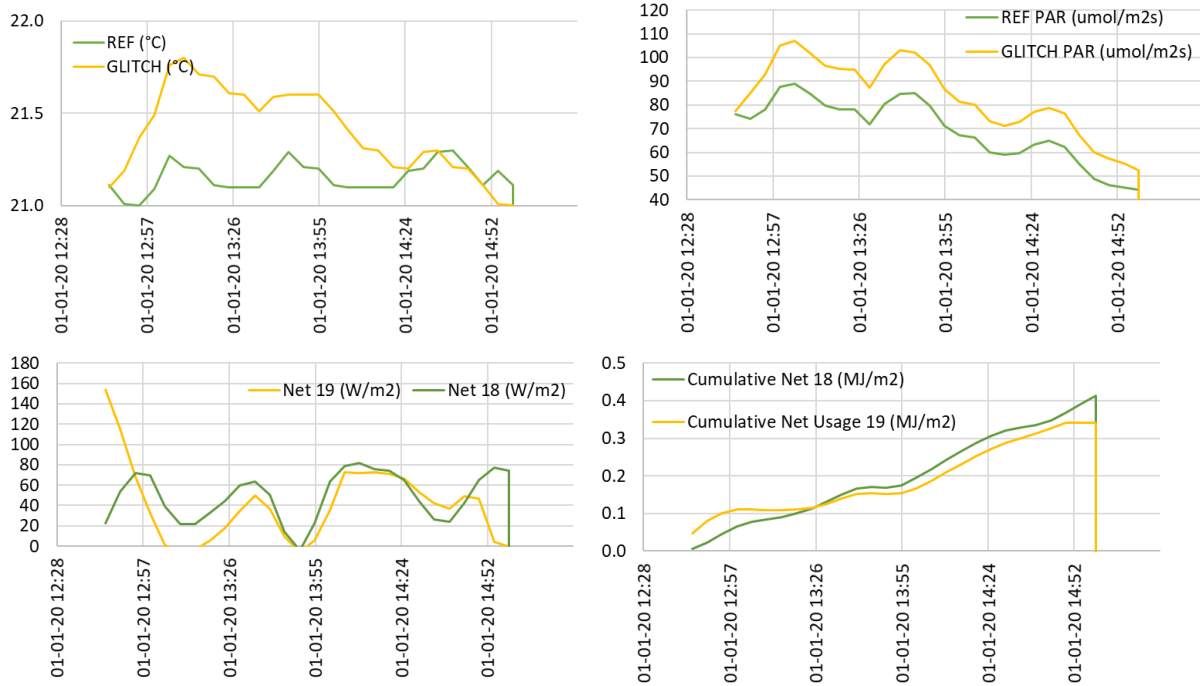
Een voorbeeld is genomen op de 20-dec-2019. De buitentemperatuur was 11-13°C en de zonnestraling was meestal onder de 60 W/m² met een moment boven de 100. In deze periode werd een besparing van ca. 40% behaald met een verlies van ca. 15% PAR-licht (d.w.z. minder dan 20 μmol/m²/s in absolute termen).



Figuur 8. Vergelijking gedurende de dag tussen kasttemperatuur (linksboven), lichtintensiteit (rechtsboven), momentane energievraag (linksonder) en cumulatieve energievraag (rechtsonder) bij het gebruik van 1PE-VA scherm in de GLITCH afdeling versus geen schermen in referentieafdeling.

1 PE-VA versus 1 SLS10 scherm

Een voorbeeld is genomen op de 01-jan-2020. Buitentemperatuur was ca. 3°C en zonnestraling was meestal 70-90 W/m². Tijdens deze periode wordt een energiebesparing van ca. 20% bereikt, hoewel het energieverbruik gedurende de hele periode redelijk vergelijkbaar was. Ook een lichtwinst van ca. 20% PAR-licht (d.w.z. minder dan 20 μmol/m²/s in absolute termen).



Figuur 9. Vergelijking gedurende de dag tussen kasttemperatuur (linksboven), lichtintensiteit (rechtsboven), momentane energievraag (linksonder) en cumulatieve energievraag bij het gebruik van 1PE-VA scherm in de GLITCH afdeling versus geen schermen in referentieafdeling.

Gemeten en gemodelleerde U-waarde kasdek

Op het kasdek van de GLITCH-afdeling is een warmtedoorgangsensor geïnstalleerd. Met deze 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).

In de onderstaande tabel worden verschillende U-waarden weergegeven (gemeten en gemodelleerd). De gemodelleerde waarden zijn een range die aangeeft wat er verwacht kan worden in functie van de buitentemperatuur en verschillende graad van bewolking (van volledig bewolkt tot volledig heldere hemel).

Tabel 4. Gemeten en gemodelleerde U-waarde kasdek

Date	T_in (°C)	T_out (°C)	RH_in (%)	RH_out (%)	U_measured (W/m ² /K)	U_model (W/m ² /K)
<u>2 PE-VA + 1 1147FR</u>						
15/01/2020						
0	18	10	92	86	2.2-2.4	1.9-3.0
22/01/2020						
0	19	5	91	100	1.7-1.9	1.8-2.5
<u>1 PE-VA</u>						
21/01/2020						
0	19	0	90	100	2.3-2.5	3.4-4.4
04/02/2020						
0	22	5	91	89	3.2-3.5	3.5-4.6
<u>Nachtschermduo + 1 PE-VA + 1 1147FR</u>						
15/01/2020						
0	17	5	84	100	1.6-1.9	1.4-2.0
25/01/2020						
0	18	1	85	100	1.1-1.3	1.4-1.8

Voor het geval van de 2 PE-VA + 1 1147FR ligt de gemeten U_waarde binnen de gemodelleerde waarden. Deze metingen worden meestal gedaan tijdens momenten van lage zonnestraling - d.w.z. het effect van de zon op metingen kan worden verwaarloosd. Dit komt door de bedieningsinstellingen: deze schermen gaan dicht als de zonnestraling laag is (zie hoofdstuk Teeltsturing).

In het geval van 1PE-VA scherm zijn de metingen minder betrouwbaar. Dit komt omdat dit scherm wordt gebruikt op momenten met hogere straling - d.w.z. het effect van de zon kan niet worden genegeerd. Daarom wordt verwacht dat de gemeten waarden kleiner zijn dan de werkelijke waarden. Op de dag van 21/01/2020 bedroeg de zonnestraling ongeveer 100 W/m². Hier kunnen we zien dat de waarden zeker onder de verwachtingen liggen (gemodelleerde waarden). Maar op de dag van 04/02/2020 was de zonnestraling iets lager, dus het effect van de zon zal naar verwachting kleiner zijn. Voor de nachtsituatie zijn de waarden ook in overeenstemming met de verwachte waarden.

Conclusies

Het gebruik van een EB-dagschermsysteem en performanter nachtscherf resulteerde in

- Behoud van productie en kwaliteit
 - De producties in beide afdeling waren ongeveer even groot (29,5 kg/m² in de GLITCH en 28,5 kg/m² in de referentie).
 - De GLITCH afdeling had een beter financieel resultaat dan de referentie door hogere productie in het voorjaar gecombineerd met hoge prijzen.
 - De vruchten vertoonden geen extra binnenrot t.o.v. de referentie.
 - De planten in de GLITCH afdeling waren 15 cm langer dan in de referentie.



GLITCH

- Hoge energiebesparing (~ 65%)
 - Energievraag bleef onder de $10 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ in het GLITCH-compartiment
 - Het energieverbruik was $0,32 \text{ m}^3 \text{ a.e./kg}$ in vergelijking met $0,96$ voor de referentie.
- De hoogste energievraagreductie was gedurende de nacht.
 - Tijdens de nachtperiode werd 76% bespaard ten opzichte van de referentie
 - Overdag waren de besparingen 40%.
 - Dit ondanks een EB dagschermsysteem en een 'niet' erg performant nachtschermsysteem. Dit komt in hoofdzaak door het opgelegde temperatuurprofiel (opstoken in de ochtend) .
- Om de energievraag verder te reduceren bij het gebruik van EB schermssystemen, vergt aangepaste controlestrategieën:
 - De ochtendopwarming moet meer synchroon lopen met de verwarming die door de zon kan worden aangeleverd - d.w.z. het temperatuurprofiel verschuiven.
 - De aansturing van de luchtbehandelingsunit (LBU) moet afhankelijk zijn van de temperatuur in de kas en van het openen van schermen en/of ramen.
- De opgemeten warmteflux doorheen het kasdek stemt overeen met de gemodelleerde warmteflux.
 - Het EB-dagschermsysteem resulteert in een kas met een gemiddelde U waarde van $2 \text{ W}^2/\text{K}$.
 - Het dubbel scherm onderaan en het nachtschermbovenaan resulteert in een kas met een gemiddelde U-waarde van $1.5 \text{ W/m}^2/\text{K}$.
 - Deze U waarde is afhankelijk van de bewolgingsgraad.
- Schermen met beter(e) isolerende eigenschappen en hoge(re) lichtdoorlatendheid zijn ontwikkeld en geïmplementeerd. Toch zijn er nog stappen nodig om tot een marktrijp product te komen.

In het algemeen bewees dit praktijkonderzoek dat dankzij het ontwikkelen van schermen met hogere lichtdoorlaatbaarheid en/of optimalere warmtestralingseigenschappen (zie oa. rapport Bronchart, 2021) grote energiebesparingen mogelijk zijn. Het belang van deze praktijkresultaten is niet alleen wetenschappelijk (proof of concept) maar dient ook tot bewustwording van de sector: er is een groot verschil tussen schermen en door een doordachte keuze en beperkte investering kan nog veel (klimaat)winst geboekt worden.

Zo werden ook de huidige gerealiseerde besparingspercentages (-65% , $<10 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$) gerealiseerd met inzet van suboptimale schermen en onder een suboptimale klimaatregeling. We hopen dit in de toekomst verder te optimaliseren en te stranden met deze techniek bij een $<5 \text{ m}^3 \text{ a.e./m}^2$ kas voor een volwaardige paprika teelt. Hiermee komt intensieve klimaatneutrale glastuinbouw meer en meer binnen handbereik en dit is ten voordele van een duurzame glastuinbouwsector.

Referenties

Bronchart, F., De Paepe, M., Dewulf, J., Schrevels, E., & Demeyer, P. (2013).
Thermodynamics of greenhouse systems for the northern latitudes: analysis



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



GLITCH

evaluation and prospects for primary energy saving. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 119, 121–133.

Bronchart, F., Corbala, L. (2021). Van het meten van de warmtestralingseigenschappen van schermen tot het berekenen van de isolatiewaarde van een schermstelsel GLITCH INTERREG Vlaanderen Nederland. <https://glitch-innovatie.eu/>

Corbala, L., Huysmans M., Bronchart, F. (2020) Testen van een marktbeschikbaar energy balancing dagschermsysteem in een paprikateelt. GLITCH INTERREG Vlaanderen Nederland, <https://glitch-innovatie.eu/>

emis. (2018). Rapporten Energiebalans Vlaanderen. Retrieved from <https://emis.vito.be/nl/rapporten-energiebalans-vlaanderen>



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

Bijlage A. LBU electricity calculation

The electricity used by the LBU was not measured continuously. This electricity was accounted for on a weekly basis by direct measurement of an electricity meter attached to the unit. These measurements are shown in Figure A.1.

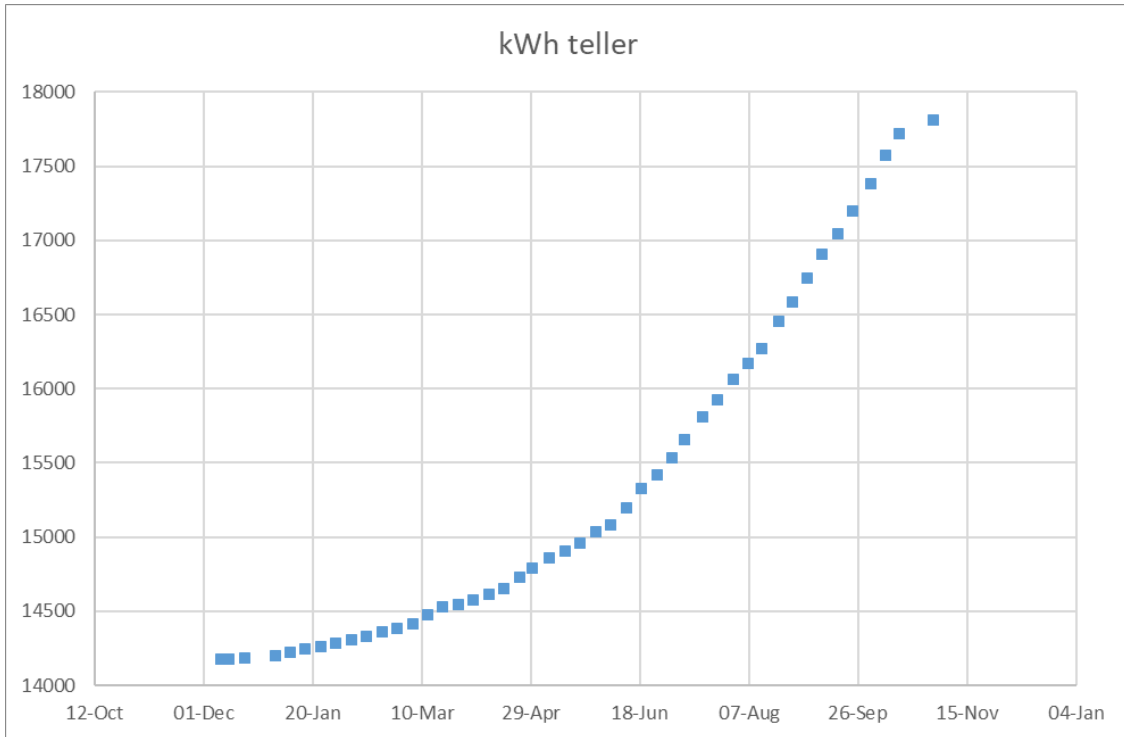


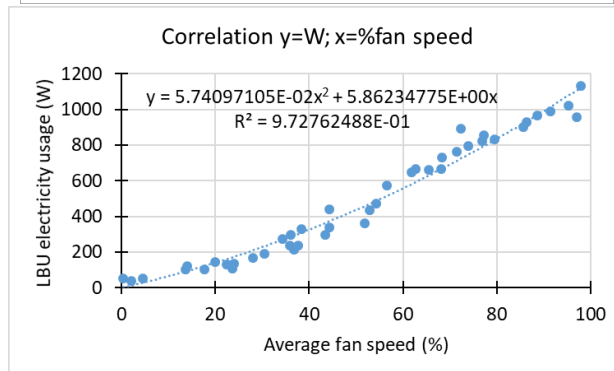
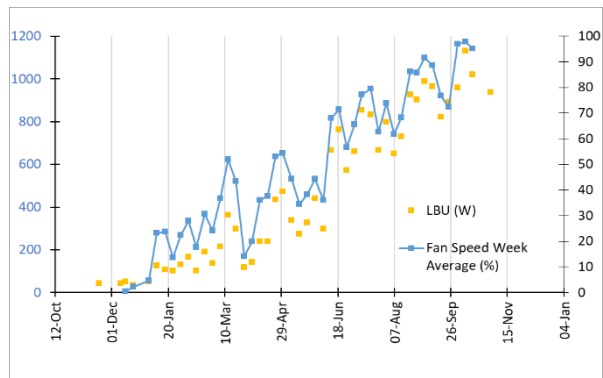
Figure A.1 Electricity meter measurements throughout the experimental period.

Control strategy development requires the point values above to be translated into a continuous element throughout the trial. This, to be able to assess energy usage throughout the day correctly. Therefore, the derivative was taken to obtain Watts. Furthermore, this was then related to the average speed of the LBU fan during that week (Figure A.2). The equation describing this relationship was found to be:

$$LBU_{electricity} = 0.05741 * (\%Fan\ speed)^2 + 5.86235 * (\%Fan\ speed)$$



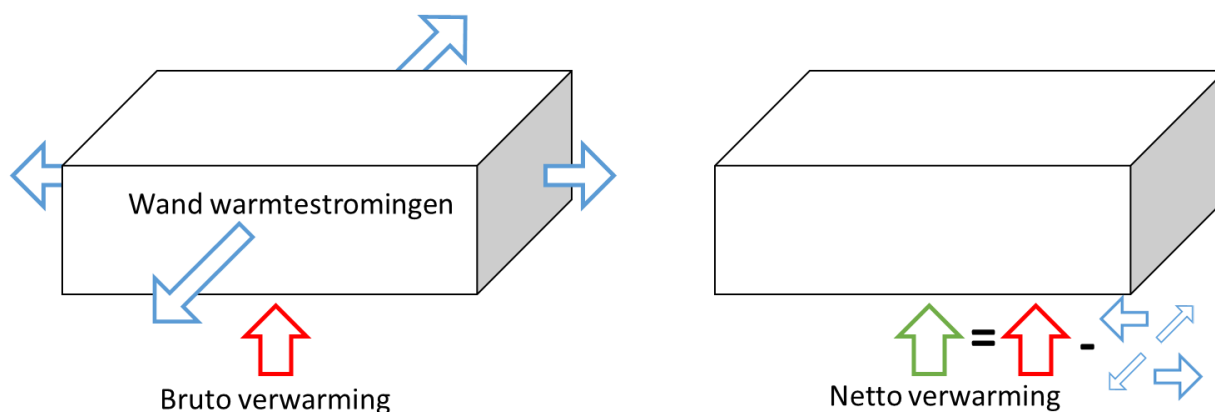
GLITCH



This equation has an $R^2 = 0.973$. Correlations with better fit could be found, but they would fail to show a 0W for 0% velocity.

Bijlage B. Netto vs bruto verwarming

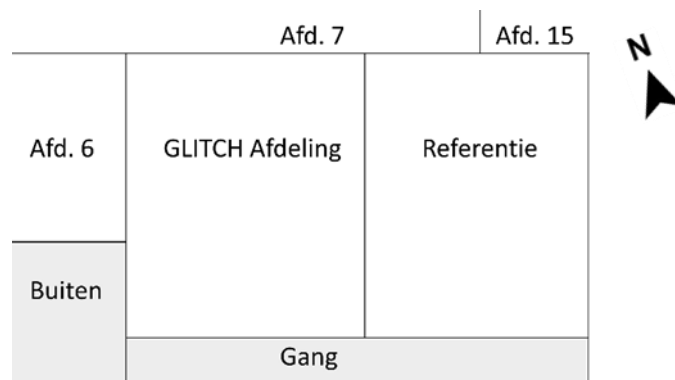
In commerciële serres is het grondoppervlak veel groter dan het muuroppervlak – energieverliezen naar buiten treden voornamelijk op via het dak. Bij de compartimenten die voor de GLITCH-proef werden gebruikt, is het grondoppervlak (490 m²) kleiner dan de wandoppervlakte (622 m²) - en is er dus meer warmteverlies 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 B1)



Figuur B1. Bruto tot netto verwarmingsvereisten.

Figuur B 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 B2. 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 viewings 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 B3)

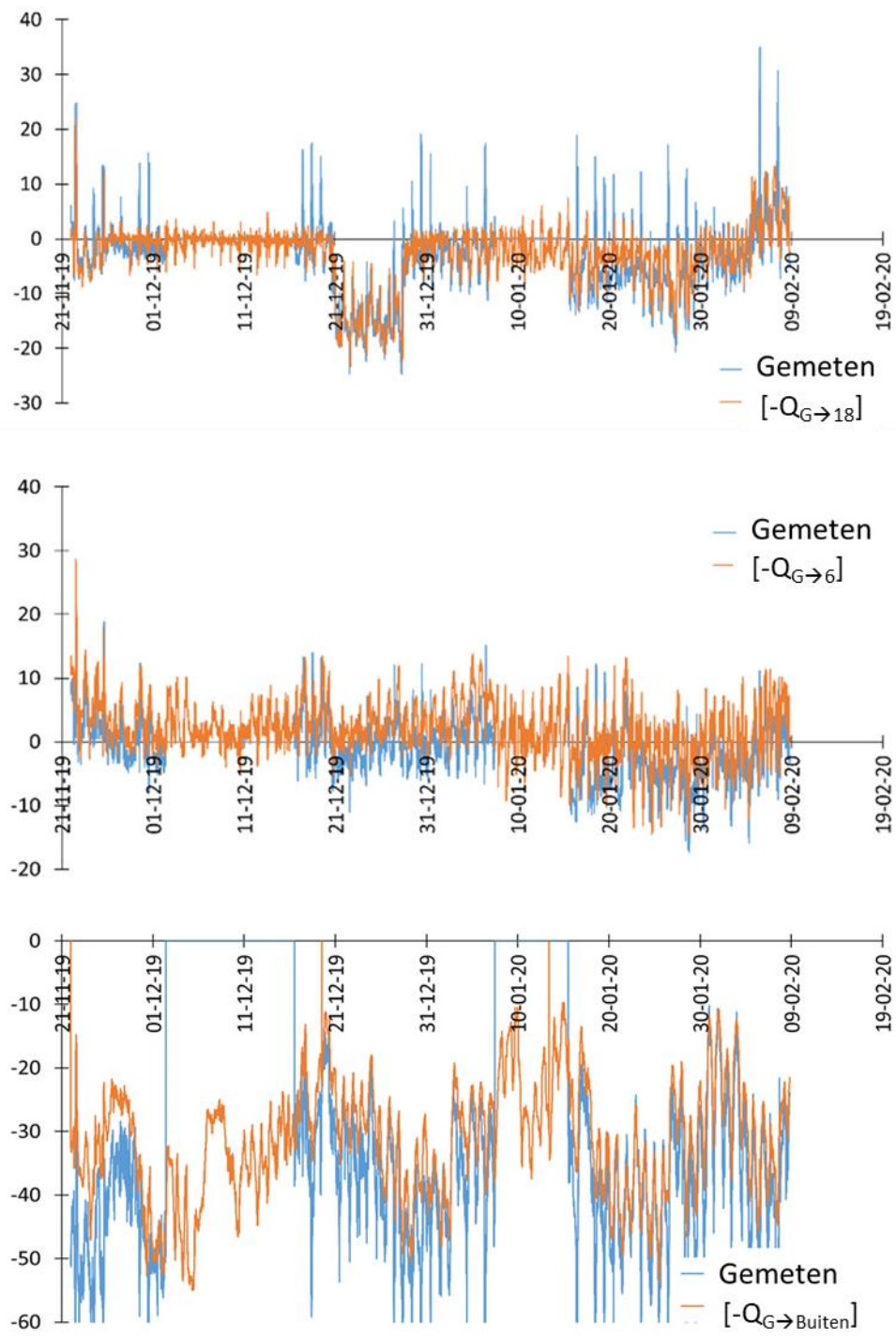


Figuur B3. Aangepaste hukseflux sensoren.

De vergelijking van sensormetingen en de voorspellingen met behulp van de bovengenoemde waarden wordt getoond in Figuur B4. 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.



GLITCH



Figuur B3. Vergelijking van sensormetingen en de berekende voorspelling

Bijlage C. Gedetailleerd controleschema

GLITCH afdeling

2019-2020		afdeling 19					
		temperatuur		schermen		ramen	setpoint LBU
periode	tijd	tem p (°C)	type	overdag	nacht	% open	RV (%)
vanaf 25/11/2019	overdag nacht	21 20	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscherm	open >200W of >20°C buiten s ochtends een kier van 1% open >70W of >12°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentem p > 25°C	92
vanaf 16/12/2019	overdag nacht	21 20	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscherm	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >22°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentem p > 25°C	92
vanaf 20/12/2020	overdag voornacht nacht	21 16 18	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscherm	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >22.5-30°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentem p > 25°C	92
vanaf 3/01/2020	overdag voornacht nacht	21 14 18	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscherm	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >22.5-30°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentem p > 25°C	92



GLITCH

vanaf 10/01/2020	overdag voornacht nacht	18.5 14.5 16.5	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscher	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >22.5-30°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentemp > 25°C	92
vanaf 26/01/2020	overdag voornacht nacht	22 14.5 17.1	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscher	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >26,5-27,5°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentemp > 25°C	92
vanaf 31/01/2020	overdag voornacht nacht	22 14.5 17.1	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscher	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >26,5-27,5°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentemp > 25°C	92
vanaf 5/02/2020	overdag (4:54u - 14u) nacht (14u - 4:54u)	22 14.5	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscher	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentemp > 25°C	92
vanaf 6/03/2020	overdag (3u - 15u) s nachts (15u - 3u)	22 14.5	duo (onder) PE-EVA (boven) nachtscher	open >60W of >12°C buiten s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten open	dicht open dicht	open als binnentemp > 25°C	92





GLITCH

vanaf 18/03/2020	overdag (4u - 16u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht	open als binnentemp > 25°C	92
	s nachts (16u - 4u)	15	PE-EVA (boven) nachtscherm	s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W open	open dicht		
vanaf 1/04/2020	overdag (4u - 16u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht	open als binnentemp > 25°C	92
	s nachts (16u - 4u)	15	PE-EVA (boven) nachtscherm	s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W open	open dicht		
vanaf 20/04/2020	overdag (4u - 16u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht	open als binnentemp > 25°C	90
	s nachts (16u - 4u)	15	PE-EVA (boven) nachtscherm	s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W open	open dicht		
vanaf 27/04/2020	overdag (7u - 16u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90
	s nachts (16u - 4u)	15	PE-EVA (boven)	s ochtends een kier van 1%	kier als RV > 95%	s nachts 5% kieren als RV > 95%	
	ochtend (4u - 7u)	17		open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W kier als RV > 95%	open		
			nachtscherm	open	dicht, kier als RV > 95%		



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



GLITCH

vanaf begin mei	overdag (8u - 16u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90
	s nachts (16u - 4u)	15	PE-EVA (boven)	90% dicht > 600W	kier als RV > 95%	s nachts 5% kieren als RV > 95%	
	ochtend (4u-8u)	17		open >23-25°C binnen of >25°C buiten	open		
			nachtscherm	open	dicht, kier als RV > 95%		
vanaf 22/06/2020	overdag (10u - 19u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90
	voornacht (19u - 0u)	15	PE-EVA (boven)	90% dicht > 600W	kier als RV > 95%	s nachts 10% kieren als RV > 95%	
	nacht (0u - 10u)	17		open >23-25°C binnen of >25°C buiten	open		
			nachtscherm	open	dicht, kier als RV > 95%		



AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN



Vlaanderen is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

provincie limburg gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders State of the Art



GLITCH

vanaf 9/07/2020	overdag (10u - 19u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90	
	voornacht (19u - 0u)	15		90% dicht > 600W	kier als RV > 95%			
	nacht (0u - 10u)	17		s ochtends een kier van 1%	open			s nachts 20% kieren als RV > 95%
vanaf 31/07/2020	overdag (10u - 19u)	21	PE-EVA (boven)	open >60W of >12°C buiten	dicht, kier als RV > 95%	overdag open als binnentemp > 25°C	90	
	voornacht (19u - 0u)	15		10% dicht > 600W	open			s nachts 20% kieren als RV > 95%
	nacht (0u - 10u)	17		kier als RV > 95%	dicht, kier als RV > 95%			
			nachtscherm	open				



GLITCH

vanaf eind augustus	overdag (10u - 19u)	21	duo (onder)	open >60W of >12°C buiten	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90
	voornacht (19u - 0u)	15		90% dicht > 600W	kier als RV > 95%		
	nacht (0u - 10u)	17		s ochtends een kier van 1% open >23-25°C binnen of >25°C buiten	open		
vanaf 8/9/2020	overdag (12u - 19u)	21	PE-EVA (boven)	open >70W of >12°C buiten	dicht	overdag open als binnentemp > 25°C	90
	voornacht (19u - 0u)	15		90% dicht > 600W	kier als RV > 95%		
	nacht (0u - 12u)	17		open >23-25°C binnen of >25°C buiten	open		
			nachtscherm	open	dicht, kier als RV > 95%		



GLITCH

vanaf 22/9/2020	overdag (5:45u - 19u)	21	duo (onder)	open >70W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht als buitentemp <15°C kier als RV > 95%	overdag open als binnentemp > 25°C	9 0
	voornacht (19u - 0u)	17.5	PE-EVA (boven)	open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W	open	s nachts 20% kieren als RV > 95%	
	nacht (0u - 5:45u)	17.5					
vanaf eind september	overdag (5:45u - 19u)	21	duo (onder)	open >70W of >12°C buiten 90% dicht > 600W	dicht als buitentemp <15°C kier als RV > 95%	overdag open als binnentemp > 25°C	9 0
	voornacht (19u - 0u)	17.5	PE-EVA (boven)	open >23-25°C binnen of >25°C buiten 10% dicht > 600W	open	s nachts 20% kieren als RV > 95%	
	nacht (0u - 5:45u)	17.5					



Referentie Afdeling

<i>periode</i>	<u>temperatuur</u>		<u>schermen</u>		
	<i>tijd</i>	<i>temp (°C)</i>	<i>type</i>	<i>overdag</i>	<i>nacht</i>
vanaf 25/11/2019	overdag	21	SLS10 onder SLS10 boven	open >100W of >8°C buiten	dicht niet gebruikt
	nacht	20		niet gebruikt	
vanaf 16/12/2019	overdag	21	SLS10 onder	open >100W of >8°C buiten	dicht niet gebruikt
	nacht	20	SLS10 boven	niet gebruikt	
vanaf 20/12/2020	overdag	21	SLS10 onder SLS10 boven	open >100W of >8°C buiten	dicht niet gebruikt
	voornacht	16		niet gebruikt	
	nacht	18			
vanaf 3/01/2020	overdag	21	SLS10 onder SLS10 boven	open >100W of >8°C buiten	dicht niet gebruikt
	voornacht	14		niet gebruikt	
	nacht	18			



GLITCH

vanaf 10/01/2020	overdag	20.5	SLS10 onder	open >100W of >8°C buiten	dicht
	voornacht	14	SLS10 boven	niet gebruikt	niet gebruikt
	nacht	16			
vanaf 26/01/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >100W of >8°C buiten	dicht
	voornacht	14	SLS10 boven	niet gebruikt	niet gebruikt
	nacht	17			
vanaf 31/01/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >100W of >9°C buiten	dicht
	voornacht	15	SLS10 boven	open >30W of >3°C buiten	dicht als te koud
	nacht	17			
vanaf 5/02/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >100W of >9°C buiten	dicht
	voornacht	17	SLS10 boven	open >30W of >3°C buiten	dicht als te koud
	nacht	19			
vanaf 6/03/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 16:30u)	15		30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	nacht deel 1 (vanaf 0:45u)	17	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	nacht deel 2 (vanaf 4:45u)	20			





GLITCH

vanaf 18/03/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 16:30u)	15			
	nacht deel 1 (vanaf 0:45u)	17	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	nacht deel 2 (vanaf 4:45u)	20			
vanaf 1/04/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 19:30u)	15			
	nacht deel 1 (vanaf 2:30u)	17.9	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	nacht deel 2 (vanaf 5:30u)	21			
vanaf 20/04/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 20u)	15			
	nacht (vanaf 1:45u)	20	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	ochtend (vanaf 7:40u)	21			



Interreg



EUROPESE UNIE

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



GLITCH

vanaf 27/04/2020	overdag	22	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 20u)	15			
	nacht (vanaf 1:45u)	20	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	ochtend (vanaf 7:40u)	21			
vanaf begin mei	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 19:30u)	15			
	nacht deel 1 (vanaf 1:30u)	17	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	nacht deel 2 (vanaf 4:00u)	20.9			



Interreg



EUROPESE UNIE

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



GLITCH

vanaf 22/06/2020	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 19:30u)	15			
	nacht (vanaf 1:15u)	17.3	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
	ochtend (vanaf 4u)	20.9			
vanaf 9/07/2020	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:50u)	15			
	nacht (vanaf 1:30u)	17.7	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt



AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



GLITCH

vanaf 31/07/2020	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:50u)	15			
	nacht (vanaf 1:30u)	17.7	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt
vanaf eind augustus	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten 30% dicht bij >500W	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:10u)	19.5			
	nacht (vanaf 2:30u)	19.5	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	niet gebruikt





GLITCH

vanaf 8/9/2020	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:10u)	19.5		30% dicht bij >500W	
	nacht (vanaf 2:30u)	19.5	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	
vanaf 22/9/2020	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:10u)	19.5		30% dicht bij >500W	
	nacht (vanaf 2:30u)	19.5	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	
vanaf eind september	overdag	21	SLS10 onder	open >50W of >7°C buiten	niet gebruikt
	voornacht (vanaf 18:51u)	20		30% dicht bij >500W	
	nacht (vanaf 3:11u)	21	SLS10 boven	70% dicht bij >500W	

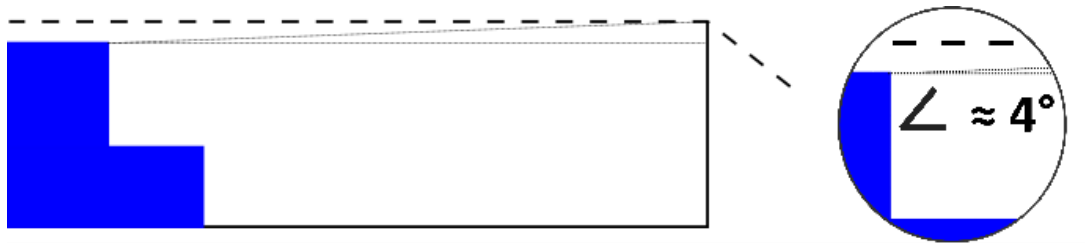


Bijlage D. Lichtransmissie meetmethode

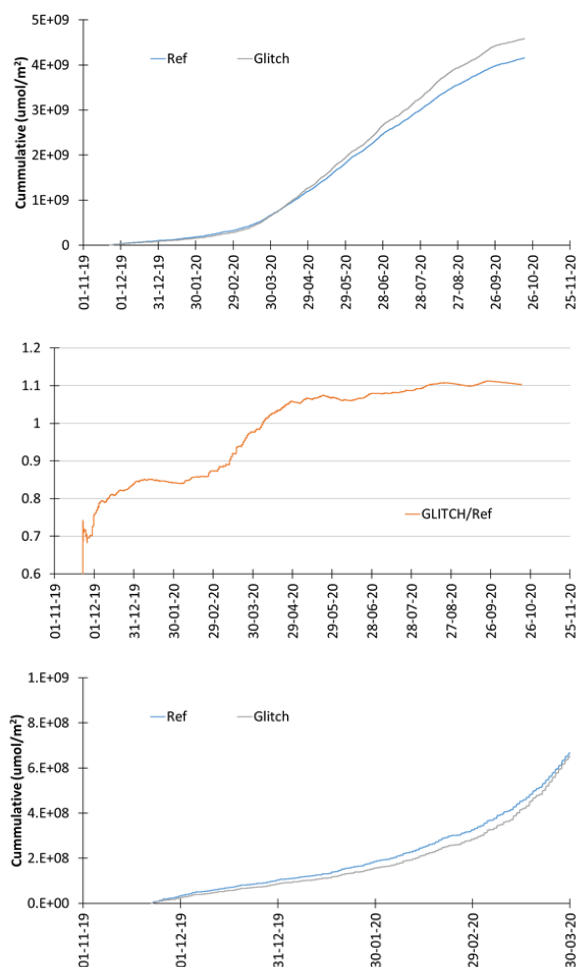
Experimental set-up

Photosynthetically active radiation (PAR) transmissivity was measured using two pyranometers (LI-COR; LI-200R). One open to the sky radiation and one in a *black* box underneath the sample screen. The ratio between these two measurements being the transmissivity of the screen – taken as a 1 minute average from measurements every second. In order to avoid reflections as much as possible inside the *box*, spectral black adhesive foil was placed on the surfaces – expected to have an emissivity higher than 98% in the PAR range. The box was constructed so that the angle of 'shadow' from the *box* on the sensor was below 4° ; with the sample being at 1 cm distance from the sensor's surface.

The whole system was positioned in the middle of a field in order to prevent shadowing effects in the horizon. From the viewpoint of the system, the horizon was covered by no more than 4° .



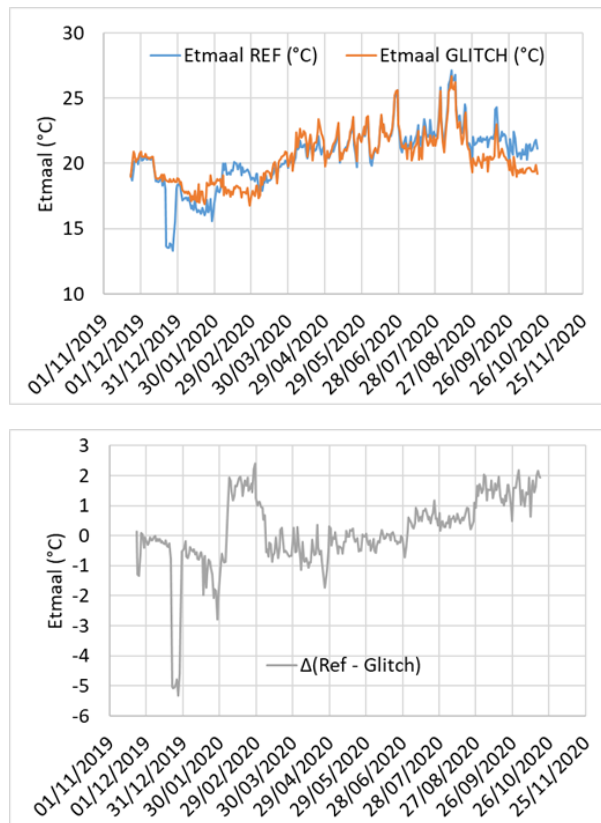
Bijlage E. PAR licht som en etmaal



Figuur E1. Boven, PAR-licht som. Midden, verhouding tussen de PAR-lichtsommen. Onderaan, zoom in op de eerste maanden van het teeltperiode.



GLITCH



Figuur E2. Boven, etmaal temperatuur GLITCH en referentie afdelingen. Onderaan, verschil tussen de twee.