

Rapport doormetingen technische aspecten laagwaardige warmte

Proefperiode: juni 2018 – mei 2020

Proef uitgevoerd door: Thomas More

Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Flanders
State of the Art



**Provincie
Antwerpen**

provincie limburg



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat



GLITCH

Titel	Rapport doormetingen technische aspecten laagwaardige warmte
Proefperiode	juni 2018 – mei 2020
Contactgegevens	Thomas More Bert De Schutter bert.deschutter@thomasmore.be
Project	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. 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



Flanders
State of the Art



Provincie
Antwerpen

provincie limburg



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat



1 Samenvatting

Vele systemen, of reststromen, geven warmte af op een relatief lage temperatuur (maximaal 40 °C). Omdat deze warmte niet zo eenvoudig in te zetten is, spreken we hier van laagwaardige warmte. De afgifte van deze warmte in de serre wordt in dit rapport onderzocht. Hiervoor is er eerst een theoretische analyse gemaakt van de afgifte van laagwaardige warmte in de serre. De belangrijkste eigenschappen van de afgiftesystemen bleken hier het materiaal en de kleur van het afgiftesysteem, de vorm van het afgiftesysteem en de luchtverplaatsing langst het afgiftesysteem te zijn. Het tweede deel van deze analyse bestaat uit een doormeting van verschillende verwarmingssystemen. Er werden 20 verschillende afgiftesystemen doorgemeten naar warmte-afgifte in gecontroleerde omstandigheden in een laboratoriumomgeving. De onderzochte afgiftesystemen waren buizensystemen bestaande uit verschillende vormen (met een groter verwarmend oppervlak), materialen en kleuren. Op basis van de hier bekomen data werden empirische formules opgesteld worden, zodat een toepassing van de onderzochte systemen goed gedimensioneerd kan worden. Op die manier kan men er zeker van zijn dat de laagwaardige warmte optimaal gebruikt wordt. Daarnaast kan men op basis van deze gegevens ook een vergelijking maken van de warmte-afgiftekaracteristieken van de geteste afgiftesystemen. Hieruit blijkt dat het verwarmend oppervlak een grote invloed heeft op de warmteafgifte. Zoals verwacht blijkt de aanwezigheid van lamellen op de buizen de warmte-afgifte te vergroten. Ook het gebruikte materiaal en de kleur van de buizensystemen blijken een grote invloed te hebben op de warmte-afgifte.

De meest veelbelovende systemen werden vervolgens ook doorgemeten in omstandigheden die korter aanleunen aan praktijkcondities. In een komkommerteelt in de serres van PSKW werden vier afgiftesystemen geanalyseerd. Hieruit bleek dat de afwijking tussen de resultaten van de metingen in gecontroleerde condities gelijkaardig zijn aan de resultaten van de metingen in praktijkomstandigheden.





2 Inhoud

1	Samenvatting.....	3
2	Inhoud.....	4
3	Inleiding.....	5
3.1	Afgifte van laagwaardige warmte in de serre.....	5
4	Warmtetransport: de theorie.....	5
4.1	Materiaal van het afgiftesysteem.....	6
4.2	Vorm van het afgiftesysteem.....	7
4.3	Een optimale dimensionering.....	7
5	Doormeting van afgiftesystemen.....	8
5.1	Beschrijving.....	8
5.1.1	Doorgemeten buizensystemen.....	8
5.2	Resultaten van de metingen in gecontroleerde omstandigheden.....	9
5.3	Resultaten van de metingen in praktijkomstandigheden.....	13



3 Inleiding

Het klimaat in de serre is van wezenlijk belang om een optimale productie te krijgen. Eén van de parameters om dit klimaat te sturen is de verwarming. Deze wordt gebruikt om de temperatuur op pijl te houden of te verhogen. Onafhankelijk van de warmtebron, of dit nu een ketel, wkk of restwarmte van een industrieel proces is, moet de warmte die wordt opgewekt afgegeven worden in de serre. Deze warmte-afgifte kan op verschillende manieren gebeuren, maar meestal wordt hiervoor een buizensysteem gebruikt dat warm water doorheen de serre transporteert en de warmte vrijgeeft. In eerste instantie gaan we dieper in op de theorie van de warmte-afgifte en geven we aan wat het belang is van een juiste dimensionering van het afgiftesysteem. Daarna worden de resultaten weergegeven van de doormeting van verschillende afgiftesystemen van laagwaardige warmte in de serre.

3.1 Afgifte van laagwaardige warmte in de serre

Vele systemen, of reststromen, geven warmte af op een relatief lage temperatuur (maximaal 40 °C). Omdat deze warmte niet zo eenvoudig in te zetten is, spreken we hier van laagwaardige warmte. Deze wordt meestal via een buizensysteem in de serre gebracht. Bij buizensystemen wordt water als transportmiddel gebruikt omdat water een hoge **soortelijke warmte** heeft, het kan dus veel warmte opslaan per kg, en omdat de warmtevrijgave vrij eenvoudig te regelen is door het gebruik van kleppen en pompen. Om de warmte-opwekker met een maximaal rendement te laten werken en een goed klimaat te kunnen krijgen in de serre is het belangrijk dat het afgifte systeem goed wordt ontworpen. Daarvoor moeten de karakteristieken van de systemen en materialen en externe invloeden zoals zoninstraling goed gekend zijn.

4 Warmtetransport: de theorie

Warmte wordt op drie manieren getransporteerd, namelijk via convectie, conductie en warmtestraling. Deze drie komen in de praktijk steeds in combinatie voor, al varieert de verhouding ervan wel. Bij **convectie** wordt warmte getransporteerd via de stroming van een fluidum. Wanneer we spreken over verwarming door buizen gaat dit over lucht (=het fluidum) die langs de buizen stroomt en daar de warmte opneemt. Dit warmtetransport wordt dan ook bepaald door de vorm van het systeem, de temperatuur van de buis en van de lucht, stromingseigenschappen van de lucht zoals de snelheid en de vraag of we turbulente of laminaire stroming hebben, en de oppervlakte: hoe groter, hoe meer warmte afgegeven kan worden.

De tweede manier van warmtetransport is **straling**. Hierbij gebeurt de warmteoverdracht tussen twee lichamen die niet in direct contact staan met elkaar. In tegenstelling tot bij convectie en conductie is hier zelfs geen medium voor nodig, en kan dit in theorie zelfs plaatsvinden in vacuüm. Hoe groot de straling is wordt beïnvloed door oppervlakte-eigenschappen (emissiviteitsfactor), zoals onder andere de kleur, de geometrie van de objecten waartussen warmte wordt getransporteerd en het temperatuurverschil tussen de twee oppervlakken.





De laatste manier van warmteafgifte is **conductie**. Conductie is een synoniem voor geleiding, warmte wordt getransporteerd binnen éénzelfde materiaal van een warme naar een koude plaats. Een voorbeeld is de warmte die van de binnenkant van de buis wordt getransporteerd naar de buitenkant van de buis. Doordat het water in de buis een hoge temperatuur heeft zal de buitenkant van de buis dus opwarmen. De grootte van deze conductie wordt hoofdzakelijk beïnvloedt door de materiaaleigenschappen. Echter, in dit verhaal is deze factor van minder groot belang.

Uit bovenstaande theorie blijkt vooral het materiaal, de kleur en de vorm van de buizen van belang bij de warmte-afgifte in de serre. Daarom wordt er hier dieper op ingegaan.

4.1 Materiaal van het afgiftesysteem

Wanneer men het heeft over de warmte-afgifte in de serre spreken we meestal over stalen buizen. Deze zijn sterk en hebben een lange levensduur. Staal geleidt warmte heel goed, waardoor we kunnen aannemen dat de watertemperatuur nagenoeg dezelfde is als de buitenkant van de buis (buis temperatuur). Nadelig aan deze soort buizen is dat ze kunnen roesten en dus geverfd moeten worden. Ook zijn deze slechts beschikbaar in beperkte lengtes (typisch 6m), waardoor ze aan elkaar gelast moeten worden bij de installatie in de serre. Dit is een vrij tijdrovend, en dus redelijk duur proces. Vandaar wordt er naast staal ook gebruik gemaakt van PE-leidingen.

PE-leidingen zijn op rol te verkrijgen, en kunnen in de serre afgerold worden. Hierdoor moet enkel op het einde van de goot een verbinding gemaakt worden omdat het maken van korte bochten met de PE-leidingen niet mogelijk is. De prijs van de PE-leidingen is merkkelijk lager dan van stalen buizen. Bij de installatie moet wel rekening gehouden worden met de ondersteuning er van. Deze moeten voldoende ondersteund worden om het doorbuigen te beperken. Dit kan belangrijk zijn voor de lichtinval op de planten. Vandaar worden PE-leidingen meestal onder de goot gehangen of eventueel op de grond gelegd. Standaard PE buizen worden meestal in het zwart uitgevoerd. Voor toepassing in de glastuinbouw zijn echter ook witte PE-leidingen beschikbaar, die qua warmte-afgifte vrij gelijkend zijn.

Algemeen gezien worden twee soorten PE-leidingen gebruikt als verwarmingsbuis. Naast de HDPE(Hoge Dichtheid Polyetheen)-leidingen met grote diameters die momenteel in glastuinbouw gebruikt worden is het ook mogelijk om VPE(Vernet Polyethyleen)-leidingen te gebruiken. Dit type leidingen wordt momenteel veel gebruikt in vloerverwarmingssystemen. Het grote voordeel van deze buizen is dat deze meer dampdicht zijn dan de standaard HDPE-buizen. Hierdoor blijft de kwaliteit van het CV-water beter, wat zorgt voor een langere levensduur van de verschillende componenten in de installatie. Deze VPE-buizen worden meestal wel maar in kleinere diameters geproduceerd.

Naast PE en staal kunnen ook aluminium-buizen gebruikt worden. Aluminium biedt een aantal grote technische voordelen. Zo heeft aluminium een zeer goede warmtegeleidbaarheid. Hierdoor zal de buistemperatuur nog dichter bij de watertemperatuur liggen dan bij stalen buizen. Samen met een makkelijke bewerkbaarheid zorgt deze hogere warmtegeleidbaarheid



er voor dat in de praktijk ook andere vormen gebruikt kunnen worden dan typische ronde buizen. Zo kunnen er bijvoorbeeld vinnen op de buis gezet worden, waardoor het afgifteoppervlak vergroot. Dit verhoogt ook de startheid van de buis, waardoor de doorbuiging verminderd en er minder ophangpunten nodig zijn. Anderzijds kunnen de vinnen, afhankelijk van de positie ten opzichte van de plant, wel een invloed hebben op het licht dat op de planten invalt. Naast de hoge warmte-afgifte heeft aluminium ook als voordeel dat het niet roest. Er is dus geen oppervlaktebehandeling nodig om de buis te beschermen. Een oppervlaktebehandeling (bijvoorbeeld wit schilderen van geanodiseerd aluminium) kan wel een positief effect op de warmte-afgifte hebben.

4.2 Vorm van het afgiftesysteem

Naast de typische ronde buizen worden ook andere buisvormen ontwikkeld. Hier zijn meerdere redenen voor. Enerzijds probeert men het afgegeven vermogen per lopende meter omhoog te krijgen, waardoor er minder buizen geïnstalleerd zouden moeten worden, of dat hetzelfde vermogen afgegeven kan worden bij een lagere watertemperatuur. We vermoeden dat dit steeds belangrijker gaat worden omdat warmte op lage temperatuur veel efficiënter opgewekt kan worden dan warmte bij hoge temperatuur. Als men deze laagwaardige warmte wil valoriseren heeft men systemen nodig die op een performante wijze warmte afgeven. Om dit afgegeven vermogen te verhogen, wordt het verwarmend oppervlak meestal vergroot. Dit doet men door vinnen of lamellen aan de buis te bevestigen. Wanneer vinnen op de langzijde van de buis gebruikt worden, zal het aandeel tussen straling en convectie vermoedelijk gelijk blijven, als er lamellen dwars op de buis voorzien worden, zal het aandeel convectie sterk stijgen. Een andere reden om naar andere buisvormen te gaan is het beperken van de waterinhoud. Een voorbeeld hiervan zijn druppelprofielen of stervormige buizen. Hierdoor zal het systeem sneller reageren en wordt het gewicht verlaagd, wat de constructie goedkoper kan maken. Het is moeilijk om de mogelijke energiebesparing van deze systemen goed in te schatten, een systeem dat sneller reageert is over het algemeen beter in te regelen waardoor een energiebesparing waarschijnlijk is, maar dit hangt wel sterk af van de instellingen en mogelijkheden van de klimaatcomputer.

4.3 Een optimale dimensionering

Zoals hierboven reeds aangehaald is het belangrijk om het systeem goed te ontwerpen om zo een maximaal rendement van de warmte-opwekker te verkrijgen en om een goed klimaat in de serre te krijgen. Een belangrijke factor in deze dimensionering is het vermogen dat door een systeem wordt afgegeven. Dit vermogen is de som van de drie warmtestromen die hierboven uitgelegd zijn. Voor ronde, stalen buizen kan dit vrij eenvoudig bepaald worden door gebruik van formules uit een norm (EN12241). Bij buizen met een afwijkende vorm, of bestaande uit een ander materiaal, zijn deze formules niet meer geldig en is het afgiftevermogen bij verschillende temperaturen veel moeilijker te bepalen. Daarom hebben we aan de hand van een doormeting van verschillende afgiftesystemen, empirische formules opgesteld waarmee de warmteafgifte van verschillende types buizen berekend kunnen worden. Dit gebeurt door in gecontroleerde omstandigheden in het labo het afgegeven

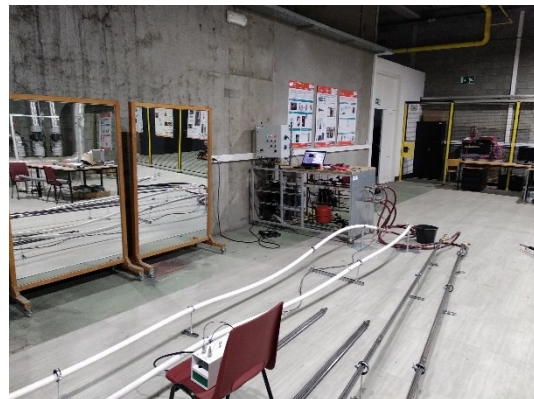


vermogen van buizen op te meten in functie van de buistemperatuur en de ruimtetemperatuur. Het nadeel van deze methode is dat er in tegenstelling tot de theoretische methode geen onderscheid gemaakt kan worden tussen convectie en straling. In glastuinbouw is dit onderscheid wel van belang aangezien planten hier anders kunnen op reageren. Wanneer de buizen onderaan in de serre gemonteerd worden (bijvoorbeeld LT-warmte onder de goot) is voornamelijk de convectie stroom belangrijk om een gelijkmatig klimaat te krijgen. Wanneer de buizen in de planten of nabij de vruchten geplaatst worden, zal voornamelijk de stralingswarmte ervoor zorgen dat de vruchten sneller afrijpen.

5 Doormeting van afgiftesystemen

5.1 Beschrijving

In eerste instantie werd de warmte-afgifte van afgiftesystemen van verschillende fabrikanten doorgemeten in gecontroleerde omstandigheden. Het voordeel van dergelijke metingen is dat er geen externe beïnvloedende factoren aanwezig zijn zoals het zonlicht, of de aanwezigheid van planten, welke wel voorkomen in praktijkomstandigheden. Hierdoor kunnen de warmte-afgifte karakteristieken van deze afgifte-systemen beter vastgesteld worden. Van alle doorgemeten systemen wordt het afgiftevermogen bepaald. Deze metingen gebeuren door een calorimetrie uit te voeren (zie figuur 1 voor een overzicht van het meettoestel en de meetopstelling). Deze calorimetrie gebeurt in een 'donkere ruimte' bij een luchttemperatuur van ± 20 °C. In deze analyse wordt de aanvoertemperatuur gevarieerd tussen 25°C en 60°C. Zo kan voor elk afgiftesysteem een empirische formule bepaald worden om de warmte-afgifte ervan te bepalen bij verscheidene temperatuurverschillen en kan de gemiddelde warmteafgifte eenvoudig vergeleken worden. Daarna wordt een selectie van de gemeten systemen ook in praktijkomstandigheden doorgemeten. Zo kan nagegaan worden of de labometingen representatief zijn voor wat we in de praktijk zien.



Figuur 1: Meettoestel om warmteafgifte van buizen te meten (links) en meetopstelling van de metingen in gecontroleerde omstandigheden (rechts)

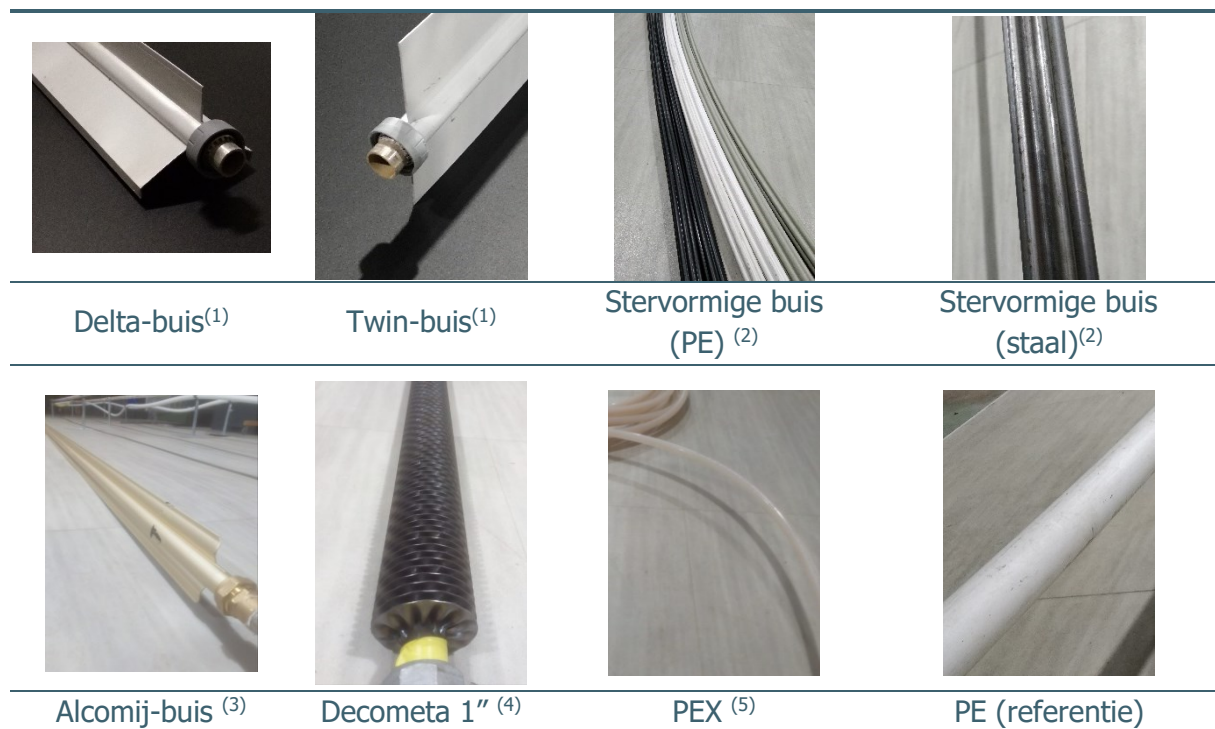
5.1.1 Doorgemeten buizensystemen

In totaal zijn 20 verschillende afgiftesystemen doorgemeten. Twee types van buizen werden vergeleken, namelijk buizen die kunnen dienen als vervanging voor de buisrails en buizen die



kunnen dienen voor de afgifte van laagwaardige warmte. Wanneer we spreken over buizen die kunnen dienen als buisrail spreken we enkel over een stervormige buis met een diameter van 51 mm. Een voorwaarde is namelijk dat er met een kar over gereden kan worden. Wanneer we dan spreken over de warmteafgifte per lopende meter blijkt dat de stervormige buis 3% minder warmte afgeeft ($\pm 1,2$ W/lm) dan de huidige gebruikte stalen buis met $\varnothing 51$ mm.

Voor de afgifte van laagwaardige warmte werden verschillende vormen, kleuren en materialen onderzocht. De onderzochte vormen worden weergegeven in Figuur 2. Om de invloed van de kleur na te gaan werden zowel zwarte, witte als grijze buizen onderzocht. De verschillende onderzochte materialen zijn staal, Poly-ethyleen (PE), Polypropyleen Random Copolymeer (PPR), Aluminium en vernet poly-ethyleen (VPE).



Figuur 2: Overzicht van de verschillende systemen van warmte-afgifte die doorgemeten zijn.

Specificaties van de onderzochte afgiftesystemen kunnen bekomen worden bij (1) Slaats Asten bv, (2) Rury Walczaka, (3) Alcomij BV, (4) Decometa NV, (5) Henco Industries NV. Het consortium staat steeds open om andere afgiftesystemen of merken op gelijkaardige manier te analyseren

5.2 Resultaten van de metingen in gecontroleerde omstandigheden

De resultaten van de buizen die kunnen dienen om laagwaardige warmte af te geven in de serre zijn samengevat in tabel 1 en 2. Als referentie wordt hier gebruik gemaakt van een witte PE-buis met $\varnothing 40$ mm, welke vaak in de serre gebruikt wordt voor de afgifte van laagwaardige warmte. Uit de tabellen kan worden afgeleid dat het verschil in warmteafgifte sterk bepaald wordt door het gebruikte materiaal. Het blijkt dat de aluminium buizen meer warmte kunnen afgeven dan de stalen buizen en deze kunnen op hun beurt meer warmte afgeven dan buizen



bestaande uit PE of PPR. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat het verwarmend oppervlak groter is bij de aluminium buizen door het gebruik van vinnen. Dit blijkt dan ook uit de resultaten die getoond worden in tabel 2, waar de gewone, ronde PE-buizen veel warmte afgeven per m² verwarmend oppervlak in vergelijking met de overige buizensystemen. Naast vorm en materiaal blijkt ook de kleur van de buizen een belangrijke invloed te hebben. Witte buizen geven meer warmte af dan ongelakte buizen en ook bij de kunststof buizen blijkt de kleur een belangrijke invloed te hebben. In vergelijking met gewone ronde buizen geven de stervormige buizen ook minder warmte af per lopende meter.

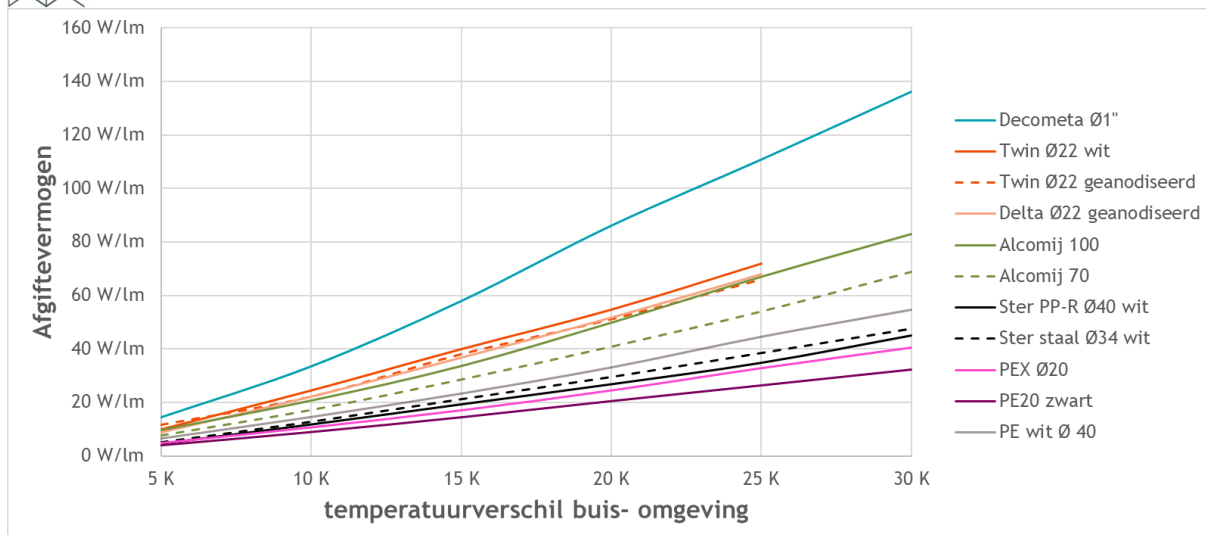
Tabel 1: Resultaten van de metingen in gecontroleerde omstandigheden. Verschil in W/lopende meter steeds in vergelijking met witte PE-leiding van Ø 40mm (gemiddelde over de verschillende temperatuursregimes).

Naam	Diameter (mm)	Materiaal	Vorm	Verschil (W/lm)	Verschil (%)
Decometa Ø1"	25	Staal	Lamellen	58.8	151%
Twin Ø28 wit	28	Aluminium	2 vinnen	24.0	62%
Alcomij 100	22	Aluminium	2 gebogen vinnen	19.5	50%
Twin Ø28 geanodiseerd	28	Aluminium	2 vinnen	19.7	51%
Twin Ø22 wit	22	Aluminium	2 vinnen	16.7	43%
Twin Ø22 geanodiseerd	22	Aluminium	2 vinnen	12.7	33%
Delta Ø22 geanodiseerd	22	Aluminium	3 vinnen	13.3	34%
Staal Ø 51 wit	51	Staal	Rond	10.6	27%
Delta Ø22 wit	22	Aluminium	3 vinnen	11.5	30%
Alcomij 70	22	Aluminium	2 gebogen vinnen	9.1	23%
Ster staal Ø51 wit	51	Staal	Ster	8.6	22%
PE Ø40 wit	40	PE	Rond	0.0	0%
Staal Ø 38 wit	38	Staal	Rond	-1.7	-4%
Ster staal 34 wit	34	Staal	Ster	-4.7	-12%
Ster PE Ø40 zwart	40	PE	Ster	-7.1	-18%
Ster PP-R Ø40 wit	40	PP-R	Ster	-7.5	-19%
Ster PP-R Ø40 zwart	40	PP-R	Ster	-7.6	-20%
Ster PP-R Ø40 grijs	40	PP-R	Ster	-8.8	-23%
PEX Ø20	20	VPE	Rond	-10.1	-26%
PE Ø20 zwart	20	PE	Rond	-15.5	-40%

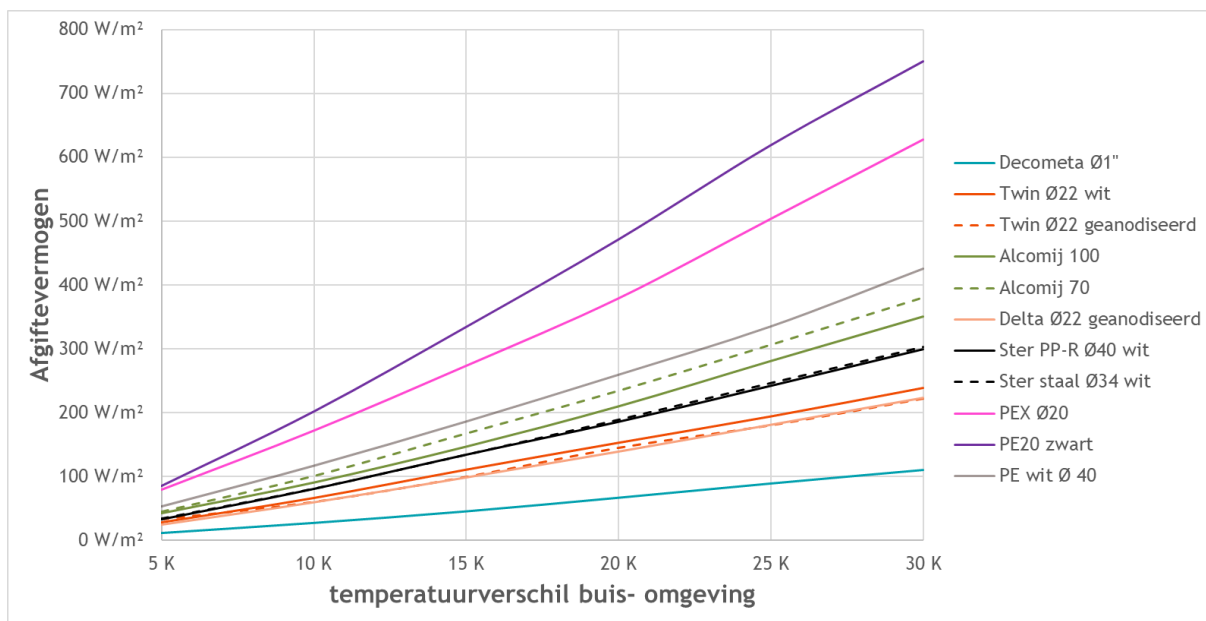


Tabel 2: Resultaten van de metingen in gecontroleerde omstandigheden. Verschil in vermogen per oppervlakte steeds in vergelijking met witte PE-leiding van Ø 40mm (gemiddelde over de verschillende temperatuurregimes).

Naam	Verschil (W/m ²)	Verschil (%)
PE20 zwart	181.3	79%
PEX Ø20	110.2	48%
PE wit Ø 40	0.0	0%
staal Ø 38 wit	-6.7	-3%
staal Ø 51 wit	-7.3	-3%
Alcomij 70	-23.5	-10%
Ster staal Ø51 wit	-41.4	-18%
Alcomij 100	-41.9	-18%
Ster PE Ø40 zwart	-59.6	-26%
Ster PP-R Ø40 grijs	-61.4	-27%
Ster staal Ø34 wit	-64.4	-28%
Ster PP-R Ø40 wit	-66.8	-29%
Ster PP-R Ø40 zwart	-68.0	-30%
Twin Ø22 wit	-97.5	-43%
Twin Ø28 wit	-102.7	-45%
Twin Ø22 geanodiseerd	-106.0	-46%
Delta Ø22 geanodiseerd	-108.3	-47%
Delta Ø22 wit	-111.4	-49%
Twin Ø28 geanodiseerd	-113.4	-49%
Decometa Ø1"	-170.4	-74%

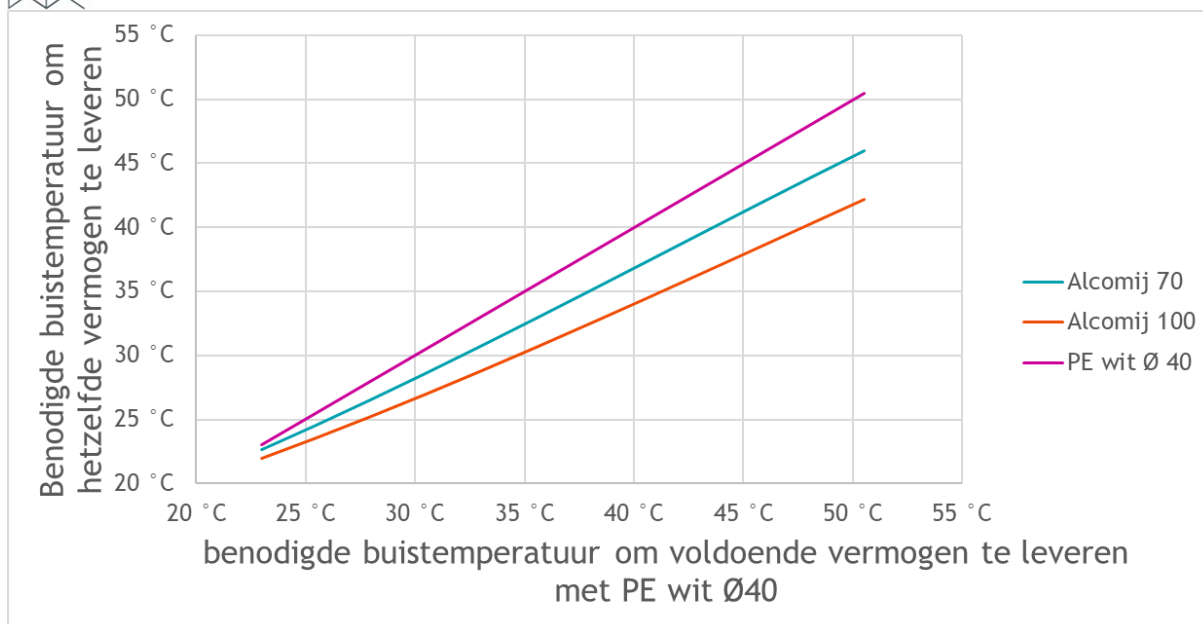


Figuur 3: Afgiftevormen per lopende meter van verschillende buistypes bij verschillende temperatuurverschillen tussen de buis en de omgeving



Figuur 4: Afgiftevormen per m² verwarmend oppervlak van verschillende buistypes bij verschillende temperatuurverschillen tussen de buis en de omgeving

Het belang van de bovenstaande tabellen en figuren wordt weergegeven in Figuur 5. Doordat de Alcomij-buizen een groter vermogen kunnen afgeven per lopende meter in vergelijking met de referentie is de benodigde buistemperatuur om een bepaald vermogen af te geven lager dan bij de referentie.



Figuur 5: Benodigde buistemperatuur om hetzelfde vermogen te leveren als de referentie (PE wit Ø40)

5.3 Resultaten van de metingen in praktijkomstandigheden

Op basis van de resultaten van de metingen uitgevoerd in gecontroleerde omstandigheden werden een aantal systemen geselecteerd om in praktijkomstandigheden door te meten. In praktijkomstandigheden is er namelijk de invloed van zonlicht en een veranderende omgevingstemperatuur dat een invloed kan hebben op de warmteafgifte van de systemen. Er werd gekozen om verschillende buisvormen mee te nemen in de analyse. De decometa-buis werd niet meegenomen in de verdere analyse omdat deze per afgegeven vermogen een hoge kostprijs heeft. De analyse werd uitgevoerd met hetzelfde meettoestel als de metingen in gecontroleerde omstandigheden en werd op dezelfde manier opgebouwd (variatie van aanvoertemperatuur van 25 °C tot 60 °C). Figuur 6 toont de opstelling van de metingen in praktijkomstandigheden. De metingen zijn uitgevoerd in een komkommerteelt bij Proefstation voor de Groenteteelt in Sint-Katelijne-Waver.



Figuur 6: Overzicht van de metingen uitgevoerd bij PSKW

De resultaten van deze metingen kan je terugvinden in Tabel 3. Hieruit blijkt dat de twin-buizen per lopende meter meer energie afgeven dan de courant gebruikte PE-buizen. Echter, wanneer men kijkt per warmte-afgevend oppervlak blijkt deze de minst efficiënte te zijn. Dit is echter niet verwonderlijk aangezien de uiteinden van de vinnen ongetwijfeld een kleiner temperatuurverschil hebben met de omgeving dan de buizen zelf.

Tabel 3: Resultaten van praktijkmetingen (afgifte per lengte-eenheid)

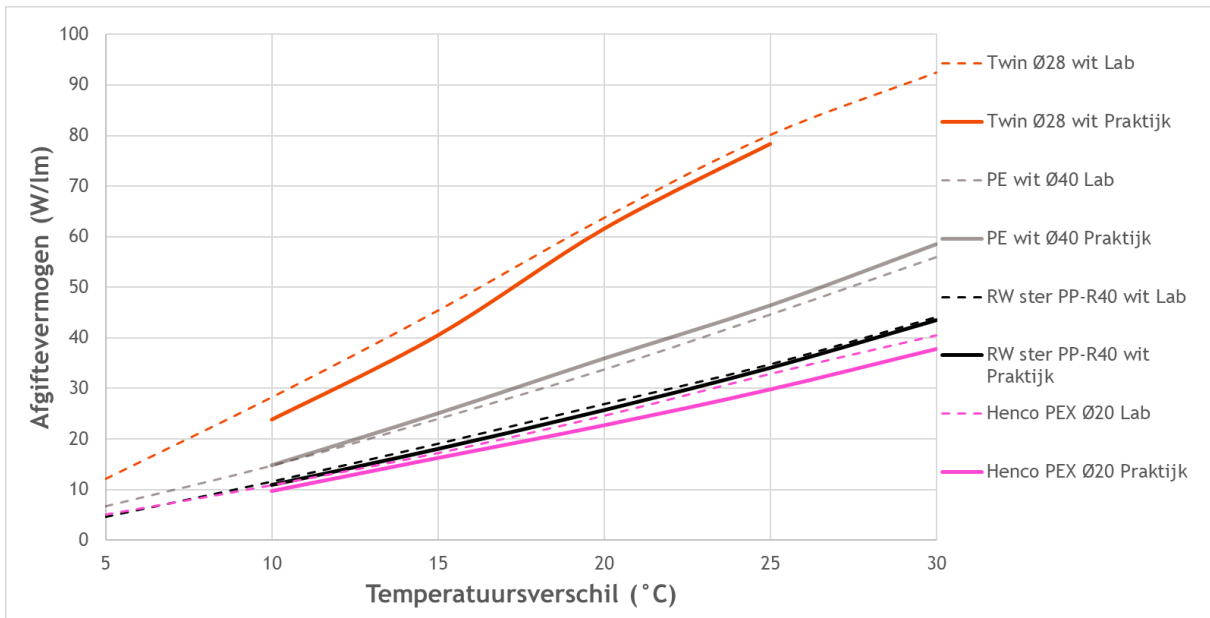
	Verschil (W/lm)	Verschil (%)
Twin Ø28 wit	20	59 %
PE wit Ø40	0	0 %
Ster PP-R Ø40 wit	-8	-28 %
PEX Ø20	-10	-34 %

Wanneer we de vergelijking maken tussen de metingen in gecontroleerde omstandigheden en in de praktijk (Figuur 7) kunnen we zien dat de verschillen klein zijn en dat de labo-metingen dus een goede indicatie geven van hoe de afgifte-systemen in praktijkomstandigheden reageren. Bij de hier onderzochte buizensystemen was de afwijking het grootste voor de PEX-buizen en de Twin-buizen, waarbij de metingen in het labo gemiddeld 7.9% afwijken van de



GLITCH

praktijkmetingen. Deze afwijking is te verklaren op basis van de aanwezigheid van zonlicht en voortdurend veranderende omgevingsomstandigheden.



Figuur 7: Afgiftevermogen per lopende meter van verschillende buistypes bij verschillende temperatuurverschillen tussen de buis en de omgeving in praktijkomstandigheden

