

Vermogensmeting van afgiftesystemen van laagwaardige warmte in praktijkproef

Proefperiode: belichtingsseizoen 2020 – 2021

Uitgevoerd door:

Proefstation voor de Groenteteelt en Thomas More



Titel	Vermogensmeting van afgiftesystemen van laagwaardige warmte in praktijkproef
Proefperiode	De analyse bestrijkt een periode van 20 november 2020 tot 9 februari 2021
Contactgegevens	Gegevens energetische metingen en analyse: Bert De Schutter (Bert.deschutter@thomasmore.be) Kenniscentrum Energie, Thomas More Kleinhoefstraat 4, 2440 Geel (België) Gegevens tomatenteelt: Stephanie De Bie (Stephanie.De.Bie@proefstation.be) Lieve Wittemans (Lieve.Wittemans@proefstation.be) Proefstation voor de Groenteteelt Duffelsesteenweg 101, 2860 Sint-Katelijne-Waver (België)
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.



Samenvatting / Abstract

In deze praktijkproef wordt de warmte-afgifte van drie verschillende buistypes opgevolgd in een tomatenteelt. De absolute vermogens van de drie verschillende systemen op zich worden berekend. Daarnaast wordt ook een vergelijking gemaakt tussen de drie verschillende systemen.

Door de vermogens van de buizen te meten in een tomatenteelt worden de buizen gevoed met een automatisch gestuurd waterregime zoals dat ook op grote bedrijven gebeurt. Daarnaast worden ook de invloed van bijvoorbeeld andere verwarmingsnetten in de serre, en de invloed van zon en de planten op het vermogen mee gemeten. Door gedurende een periode van meerdere weken per buistype te meten, zal het vermogen bij verschillende temperaturen en stralingen in kaart worden gebracht.

Het blijkt dat het vermogen dat afgegeven kan worden met verwarmingsbuizen, op basis van deze metingen, lager ligt dan wat we berekenen. Bij het gebruik van laagwaardige warmte kan dit verschil moeilijker gecompenseerd worden door het gebruik van een hogere watertemperatuur. Het is dus belangrijk dat zeker voldoende afgifte wordt geïnstalleerd wanneer uitsluitend LT-warmte wordt gebruikt. Daarnaast zien we dat buizen met een kleine diameter efficiënter zijn dan buizen met een grotere diameter. Er moet dan wel rekening gehouden worden met een groter drukverlies bij de pompselectie, en een kleinere waterinhoud. Dit kan voordelen hebben qua draagconstructie, maar ook nadelen qua buffercapaciteit in de installatie.

Aanvullend op dit verslag is er ook een verslag dat bespreekt welke invloed de plaatsing van een LT net op het klimaat en de planten heeft. ([Gebruik laagwaardige warmte-afgiftesystemen: Effect van positionering op de temperatuurverdeling en de productie in een tomatenteelt](#))



Inhoudstafel

1	Algemene inleiding.....	5
2	Proefopzet.....	5
3	Resultaten en bespreking	8
3.1	Individuele analyse van de onderzochte buistypes.....	8
3.1.1	Buistype: PE.....	8
3.1.2	Buistype: PEx	9
3.1.3	Buistype: Vinnenbuis.....	10
3.2	Vergelijking van systemen.....	11
3.2.1	Periode 1: Vergelijking van PE en PEx	11
3.2.2	Periode 2: Vergelijking PE-leiding en vinnenbuis.....	12
3.2.3	Periode 3: Vergelijking PEx-leiding en vinnenbuis	13
4	Conclusie	14



1 Algemene 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. 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 warmte vrijgave 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. In voorgaand onderzoek (zie rapport: [Doormeting afgiftesystemen laagwaardige warmte](#)) werden daarom vermogenskarakteristieken van verschillende buistypes en materialen bepaald.

Om te onderzoeken of de resultaten die we in het labo haalden bevestigd werden in de praktijk, werd in het Proefstation Sint-Katelijne-Waver (PSKW) een proef opgestart in een belichte tomatenteelt tijdens de winterperiode 2020-2021. Het doel van dit onderzoek bestond er in om het verwarmingsvermogen van de verschillende buistypes **in praktijkomstandigheden** op te meten en deze te vergelijken met de resultaten die bekomen werden tijdens de labometingen.

2 Proefopzet

Zoals hierboven reeds werd aangehaald werd in een belichte tomatenteelt bij PSKW een proef opgezet. Hierin werden drie verschillende buistypes, die als meest veelbelovende naar voor kwamen uit onze voorgaande analyse, in de serre geïnstalleerd. De onderzochte buistypes zijn twee ronde buizen, de eerste met een diameter van 40 mm (PE) en de tweede met een diameter van 20 mm (Vernet PE (PEX)) en een vinnenbuis van diameter 28 mm met gebogen vinnen met een hoogte van 70 mm. Deze buizen werden aangesloten op het aanwezige LT-net van de installatie in de serre en onder de goten geplaatst (zie . Deze laagwaardige warmte is afkomstig van de rookgascondensor van de wkk. De verschillende buizen werden in dezelfde afdeling geplaatst, zodat de buizen vergeleken konden worden in hetzelfde klimaat. De temperatuurregeling in de serre en de watertemperatuur in de buizen werden geregeld door de klimaatcomputer.

Een schematische voorstelling van de proef wordt weergegeven in Figuur 2. Er worden telkens drie goten voorzien met hetzelfde type buis. Het afgegeven vermogen wordt steeds op de middelste goot gemeten, zodat eventuele effecten van de verwarming onder de naastliggende goten geminimaliseerd wordt. Het debiet door de verschillende buizen wordt zo ingeregeld dat er bij de ontwerpparameters (Temperatuur van de buis 35 °C en temperatuur in de serre 18 °C) een temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van 10 K gehaald wordt.



GLITCH



Figuur 1: Overzicht van de geïnstalleerde buistypes. Links: vinnenbuis, Midden: PEX-buis met diameter 20mm, Rechts: PE-buis met diameter 40mm



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen

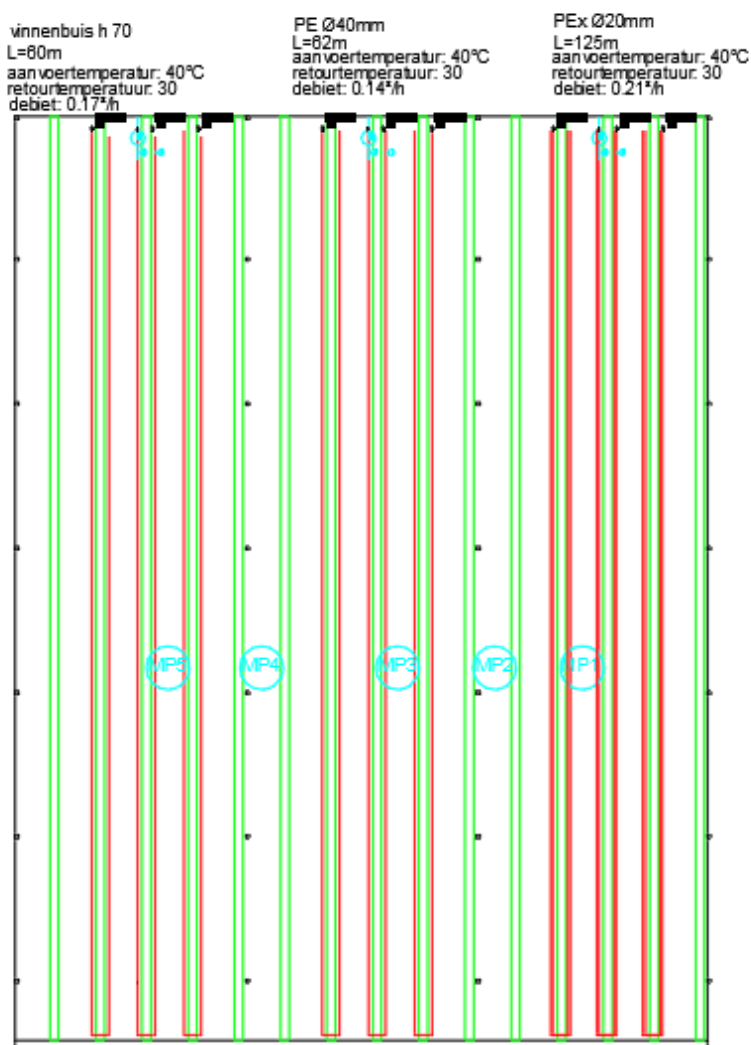


Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art



Figuur 2: Schematische voorstelling van de proef waarbij de groene lijnen de plantenrijen voorstellen en de rode lijnen de positionering van de geteste buizen.

Het vermogen dat de verschillende types buizen afgeven werd voor iedere buis gedurende twee meetperiodes gemeten en opgeslagen (zie Tabel 1). De kasttemperatuur wordt telkens in de buurt van de buizen gemeten, op vier verschillende hoogtes. In deze analyses maken we gebruik van de temperatuurmeting ter hoogte van de buizen. En de temperatuurmeting iets boven de goot. De temperatuur net boven de goot, komt het beste overeen met de gemeten kasttemperatuur met behulp van de klimaatcomputer. Deze temperatuur geeft dus een goed beeld van het vermogen dat gehaald kan worden bij een bepaalde kasttemperatuur. De temperatuur net onder de goot, bevindt zich het dichtst bij de buis. Deze geeft dus een goed beeld van de temperatuur naast de buis, welke een grote invloed heeft op de warmteafgifte van de buis.



Tabel 1: Overzicht van de meetperiodes en de opgemeten buistypes

	Meetperiode	Buistype 1	Buistype 2
Periode1	20-11-2020 tem 21-12-2020	PE40	PEX20
Periode2	21-12-2020 tem 2-2-2021	PE40	Vinnenbuis
Periode3	2-2-2021 tem 9-2-2021	PEX20	Vinnenbuis

Er werd in deze proef geen analyse gedaan van het effect op de plant.

3 Resultaten en bespreking

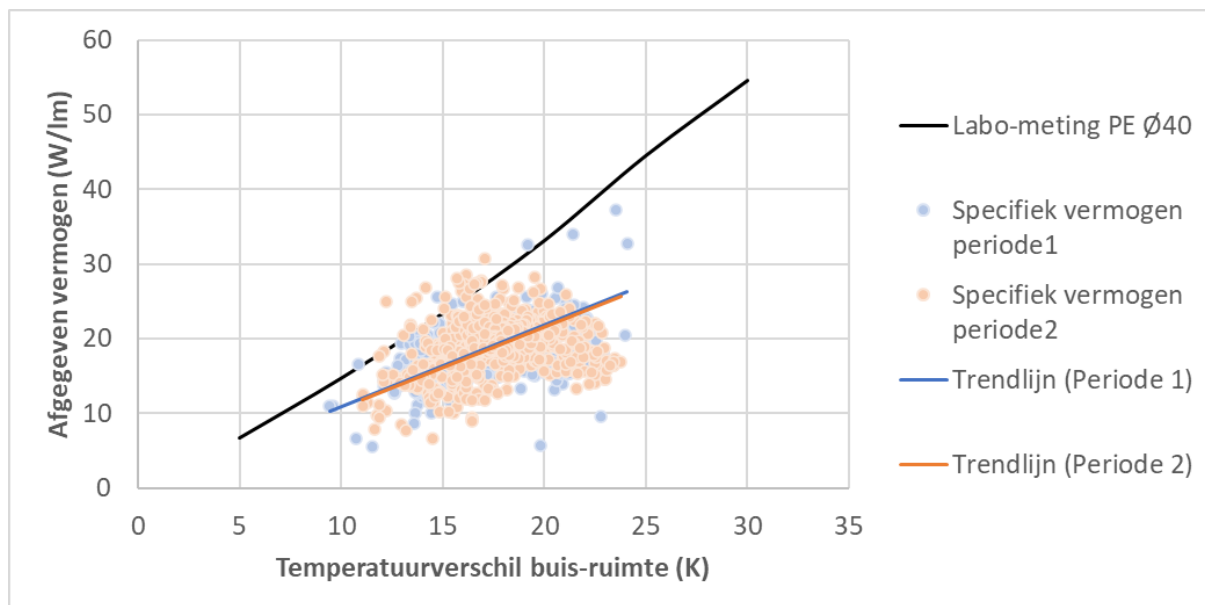
Het doel van dit onderzoek bestond er in om de bekomen resultaten uit de labo-metingen te valideren in praktijkomstandigheden. Door de specifieke proefopzet zoals hierboven beschreven is het mogelijk om de buizen zowel individueel als in relatie tot een ander buistype te vergelijken. We beginnen met de individuele analyses.

3.1 Individuele analyse van de onderzochte buistypes

3.1.1 Buistype: PE

De analyse van het afgegeven vermogen van de het PE-buistype met een diameter van 40 mm gebeurde op kwartierbasis. In Figuur 3 wordt het gemeten afgegeven vermogen weergegeven. Elk puntje geeft een meetpunt weer. De zwarte lijn geeft het verwachte vermogen weer op basis van de labo-metingen. De stippen geven de gemeten vermogens in periode 1 en 2 weer. We zien dat deze gemiddeld lager liggen dan de resultaten uit de labo-meting. Er blijkt dat hoe hoger het temperatuurverschil is tussen de buis en de ruimte (vooral bij hoge buistemperaturen), hoe groter deze afwijking is van het verwachte afgegeven vermogen. Bij kleinere verschiltemperaturen, zal het afgegeven vermogen korter in de buurt liggen van de verwachtingen op basis van de labo-metingen. Mogelijke oorzaken hiervan zijn de aanwezigheid van straling en van obstakels zoals de goten en de planten, die beiden niet aanwezig zijn in de labo-metingen. We moeten ook wel opmerken dat het in deze proef niet de bedoeling was om vermogenscurves op te stellen. Omwille van traagheid en doorlooptijd van het water in de buizen, kan het zijn dat de trendlijnen een licht vertekend beeld geven. We kunnen er echter wel van uit gaan dat het globale beeld correct is.





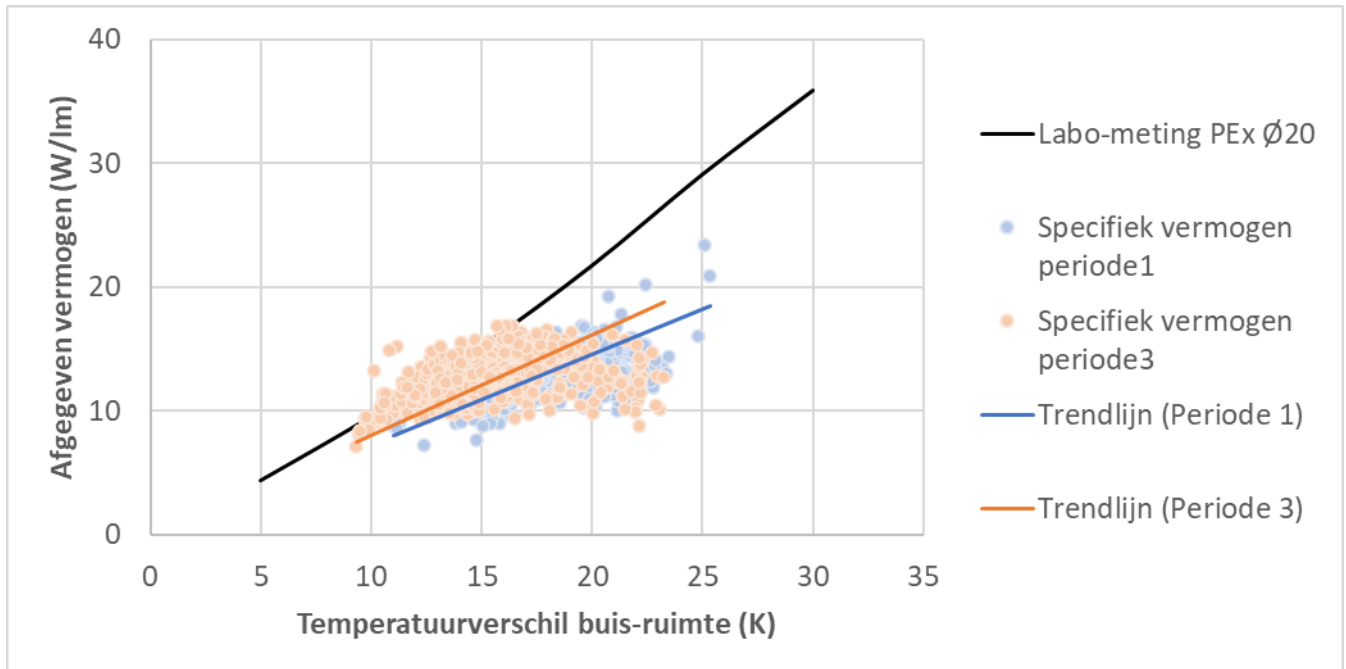
Figuur 3: Vergelijking metingen in praktijkproef en labo-metingen bij het gebruik van een PE-buis met diameter 40 mm.

Als we het afgegeven vermogen bekijken met als referentietemperatuur de kasttemperatuur, zien we dat er gemiddeld 32.6% minder vermogen afgegeven kan worden dan dat we op basis van de labometingen hadden verwacht. Dit verschil kan belangrijk zijn om mee te nemen bij het ontwerp van de installatie. Wanneer we als referentietemperatuur de ruimtetemperatuur ter hoogte van de buis nemen, bedraagt het verschil met het labo 33.1% omdat de temperatuur onder de goot gemiddeld iets lager lag dan die ter hoogte van de plant.

3.1.2 Buistype: PEx

De analyse van het afgegeven vermogen van de het PEx-buistype met een diameter van 20 mm gebeurde op kwartierbasis. In Figuur 4 wordt het gemeten afgegeven vermogen weergegeven. Elk puntje geeft een meetpunt weer. De zwarte lijn geeft het verwachte vermogen weer op basis van de labo-metingen. De stippen geven de gemeten vermogens in periode 1 en 3 weer. We zien dat deze gemiddeld lager liggen dan de resultaten uit de labo-meting. Bij een temperatuurverschil van 10 °C zien we dat het vermogen van de labo metingen nagenoeg overeenkomt met de praktijkmetingen. Echter, bij grotere temperatuurverschillen blijkt dat het gemeten afgegeven vermogen minder snel stijgt dan in labo-omstandigheden. Oorzaken hiervan zijn gelijkaardig aan de analyse van de PE-buis hierboven.

Gemiddeld gezien blijkt dat bij de dunnere PEx-buisjes ook minder vermogen afgegeven werd in praktijkomstandigheden dan tijdens de labometingen. Het verschil (-26%) is hier wel kleiner dan bij de PE buis van 40mm. Als we als referentietemperatuur de ruimtetemperatuur ter hoogte van de buis nemen, bekomen we een afwijking van -26.9%. Deze afwijking is iets groter door de lagere temperatuur onder de goot.

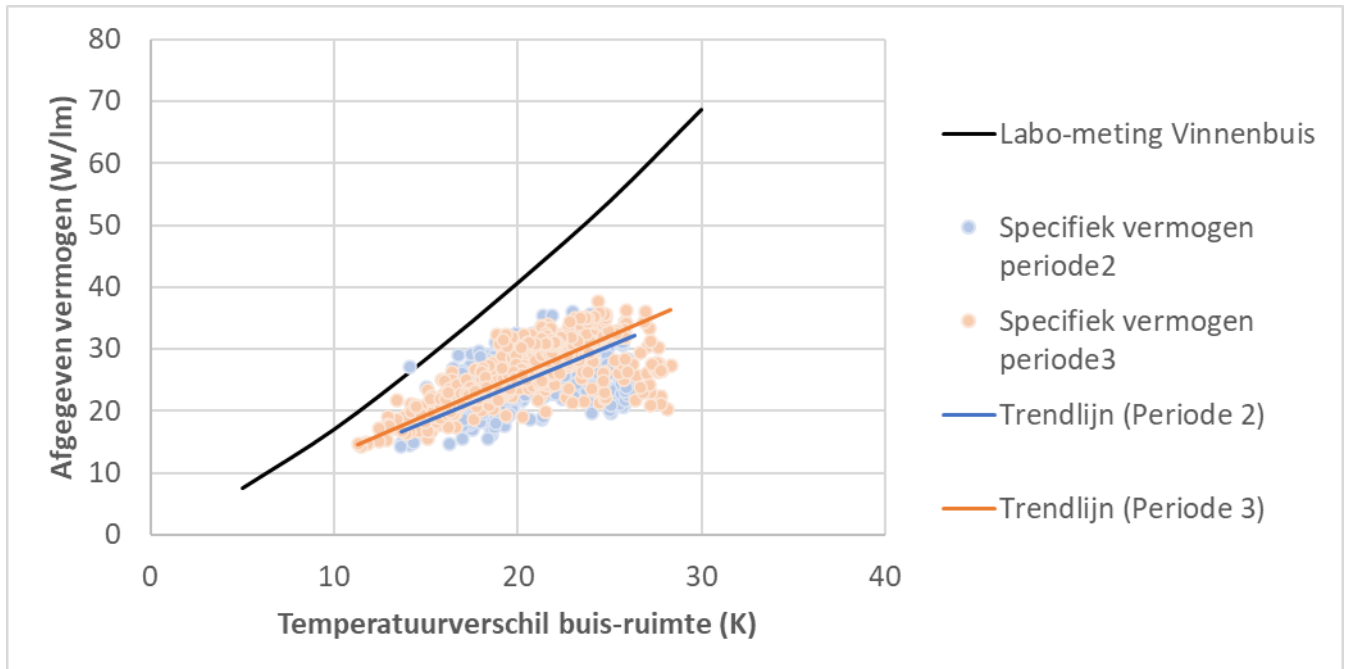


Figuur 4: Vergelijking metingen in praktijkproef en labo-metingen bij het gebruik van een PEx-buis met diameter 20 mm.

3.1.3 Buistype: Vinnenbuis

Voor de vinnenbuis kunnen we een analyse maken gelijkaardig aan deze van de PE-buis en de PEx-buis (zie Figuur 5). Het afgegeven vermogen is lager dan wat we vanuit de labo-metingen verwachtten. Ook neemt deze minder snel toe bij een groter temperatuurverschil tussen de buis en de ruimte. De geobserveerde afwijking is groter dan bij de PE- en de PEx-buis. Wanneer we de kasttemperatuur ter hoogte van de plant als referentie nemen, ligt het gemiddeld vermogen 41.8% lager. Dit grote verschil kan voor een deel verklaard worden doordat de temperatuur onder de goot hoger ligt dan de temperatuur ter hoogte van de plant. Als we de temperatuur onder de goot als referentie nemen, ligt het gemeten vermogen 25.7 % lager dan het vermogen dat we verwachten uit de labo metingen wat kleiner is dan bij het geobserveerde verschil bij de PE- of PEx-buistypes.



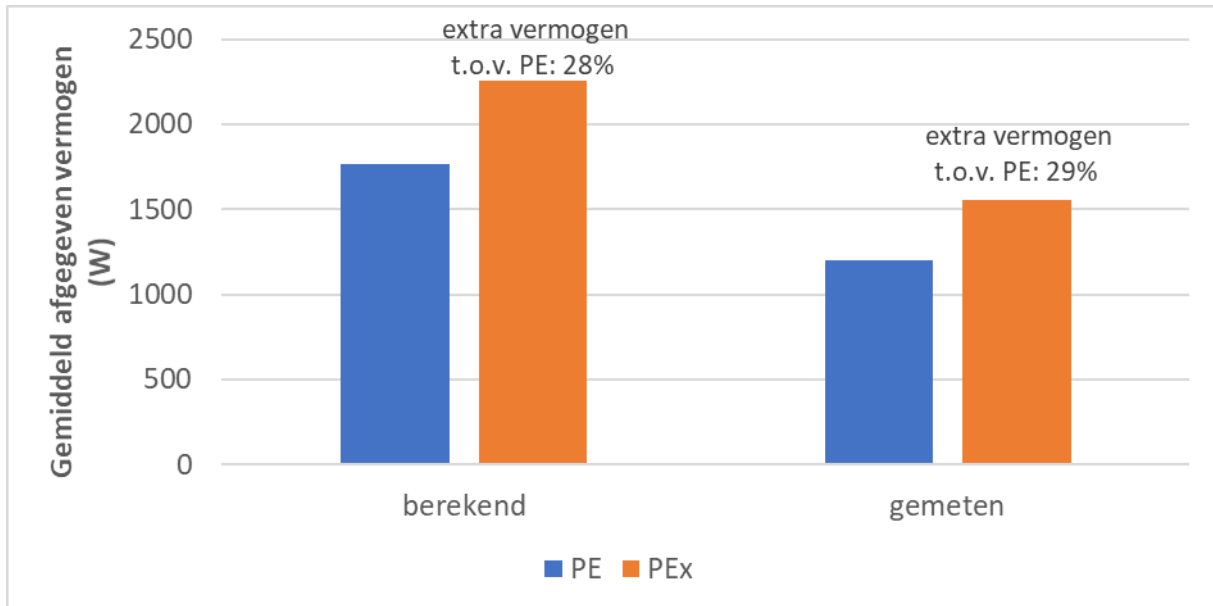


Figuur 5: Vergelijking metingen in praktijkproef en labo-metingen bij het gebruik van een vinnenbuis met gebogen vinnen van 70 mm hoogte.

3.2 Vergelijking van systemen

3.2.1 Periode 1: Vergelijking van PE en PEx

Wanneer we de resultaten van de labo-metingen gebruiken om het afgegeven vermogen van de buissystemen in periode 1 te voorspellen verwachten we dan de PE-leiding (diameter 40 mm) een gemiddeld vermogen van 1760 W zou afgeven terwijl de PEx-leiding (diameter 20 mm) 2254 W zou afgeven. Dit komt neer op een grotere afgifte van 28%. Dit komt voornamelijk omdat de PEx-leiding dubbel is uitgevoerd, waardoor de leidinglengte dubbel zo lang is. In de metingen zagen we dat voor beide systemen het gemeten vermogen een stuk lager ligt (1202 W voor de PE- en 1555W voor de PEx-leiding). Dit komt neer op een verschil van 29% dat de geïnstalleerde PEx-leiding meer afgeeft dan de geïnstalleerde PE-leiding. Dit wordt ook samengevat in Figuur 6.



Figuur 6: Vergelijking van de afgifte van de PE-leidingen en de PEX-leidingen tijdens meetperiode 1.

Naast het vermogen is het ook belangrijk om rekening te houden met andere technische parameters om een onderbouwde keuze te maken. Wanneer we het drukverlies bekijken voor een fictieve situatie waarin we uitgaan van een gootlengte van 150 m en een temperatuur verschil van 10 K tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het water, bekomen we een drukverschil in de PE-leiding van 6.5 Pa/m, tegenover een drukverschil van 108 Pa/m bij de PEX-buis van 20 mm, als we de twee kringen per goot parallel zouden plaatsen. Als we deze in serie zouden plaatsen, bekomen we zelfs een drukverlies van 363 Pa/m. Dit is aanzienlijk hoger dan de leiding van 40 mm, waardoor we een pomp met een grotere opvoerhoogte zouden moeten plaatsen, met meer elektriciteitsverbruik tot gevolg.

Naast het drukverlies kan ook de waterinhoud van de leidingen van belang zijn. Als de waterinhoud groter wordt, zal het gewicht van de buizen stijgen, met mogelijke gevolgen voor de kasconstructie. Als we 2 leidingen van 20 mm vergelijken met 1 leiding van 40 mm zien we dat bij de leiding met een diameter van 40 mm, de waterinhoud 1.82 l per meter goot bedraagt, bij de leiding met een diameter van 20mm is dit slechts 0.8l per meter goot.

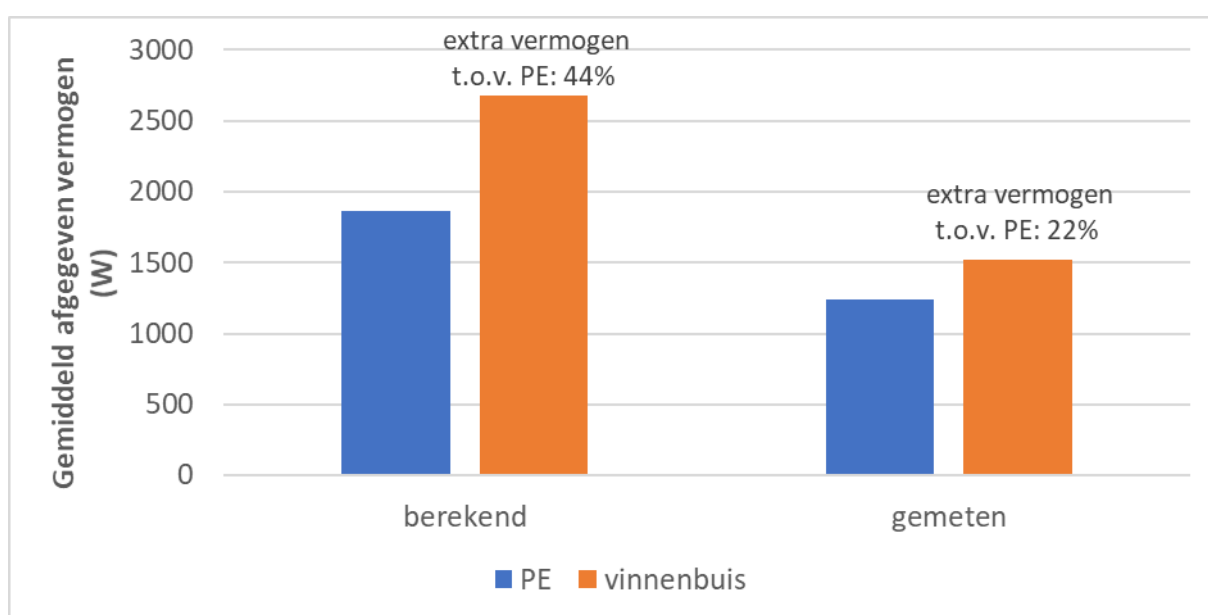
3.2.2 Periode 2: Vergelijking PE-leiding en vinnenbuis

Wanneer we de resultaten van de labo-metingen gebruiken om het afgegeven vermogen van de buissystemen in periode 2 te voorspellen, verwachten we dat de PE-leiding (diameter 40 mm) een gemiddeld vermogen van 1860 W zou afgeven terwijl de vinnenbuis 2680 W zou afgeven. Dit komt neer op een grotere afgifte van 44%. Dit komt voornamelijk omdat de extra vinnen op de leiding zorgen voor een groter contactoppervlak en een betere luchtstroom langs de buis. In de metingen zagen we dat voor beide systemen het gemeten vermogen een stuk lager ligt (1243 W voor de PE- en 1523W voor de vinnenbuis). Dit komt neer op een verschil van 22% dat de geïnstalleerde vinnenbuis meer afgeeft dan de geïnstalleerde PE-leiding. Dit



wordt ook samengevat in Figuur 7. We zien dus dat het vermogen van de vinnenbuis in de praktijktest in vergelijking met de labo-metingen sterker afgenomen is dan bij de PE-leiding. De reden hiervoor is vermoedelijk dat de afgegeven warmte moeilijk verdeeld wordt door het dichte gewas, waardoor de ruimtetemperatuur in de buurt van de buis stijgt, en de buis bijgevolg minder warmte kan afgeven.

Bij de vinnenbuis zal de watersnelheid in de buis nog groter zijn omdat het verwarmend oppervlak zeer groot is tegenover de diameter. Hierdoor zou het drukverlies 171 Pa/m bedragen bij een gootlengte van 150 m. Hierdoor zou de circulatiepomp aanzienlijk meer energieverbruiken dan bij een PE-buis met diameter 40 mm waar het drukverschil 6.5 Pa/m bedraagt. De waterinhoud per meter goot ligt bij de vinnenbuis nog lager, namelijk 0.4 l per meter goot.



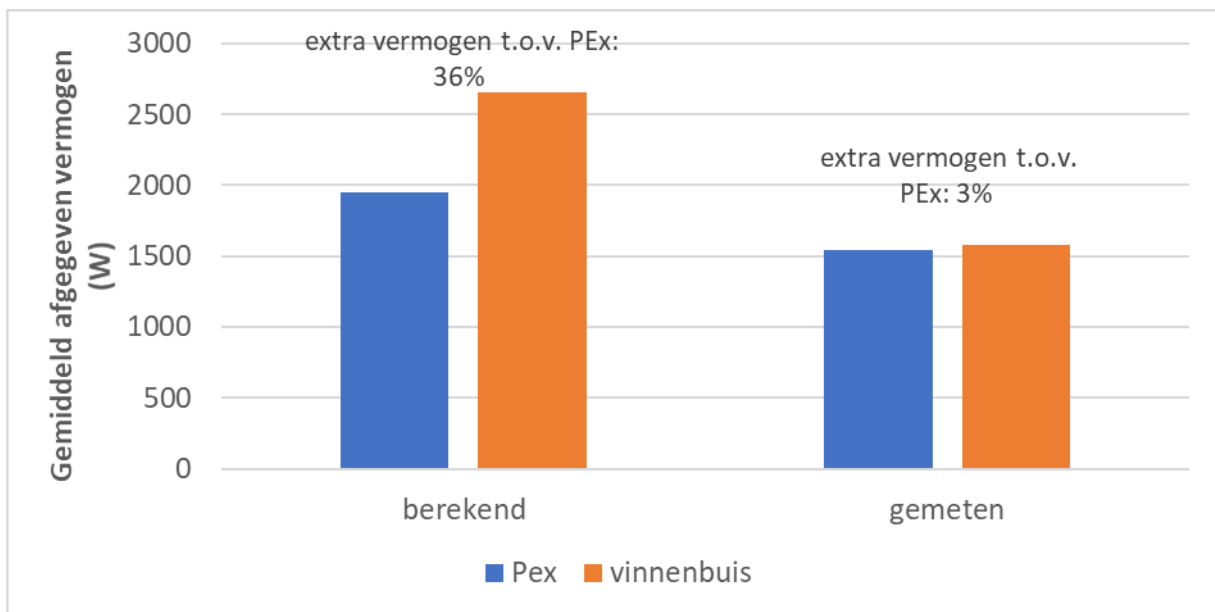
Figuur 7: Vergelijking van de afgifte van de PE-leidingen en de vinnenbuis tijdens meetperiode 2

3.2.3 Periode 3: Vergelijking PEx-leiding en vinnenbuis

Wanneer we de resultaten van de labo-metingen gebruiken om het afgegeven vermogen van de buissystemen in periode 3 te voorspellen, verwachten we dat de PEx-leidingen (diameter 20 mm) een gemiddeld vermogen van 1948 W zou afgeven terwijl de vinnenbuis 2654 W zou afgeven. Dit komt neer op een grotere afgifte van 36%. Dit komt voornamelijk omdat de extra vinnen op de leiding zorgen voor een groter contactoppervlak en een betere luchtstroom langs de buis. In de metingen zagen we dat voor beide systemen het gemeten vermogen een stuk lager ligt (1539 W voor de PEx- en 1581 W voor de vinnenbuis). Dit komt neer op een verschil van slechts 3% dat de geïnstalleerde vinnenbuis meer afgeeft dan de geïnstalleerde PEx-leidingen. Dit wordt ook samengevat in Figuur 8. We zien dus dat het vermogen van de



vinnenbuis in de praktijktest in vergelijking met de labo-metingen sterker afgenomen is dan bij de PEx-leiding. De reden hiervoor is vermoedelijk gelijkaardig aan wat we reeds beschreven bij de analyse van periode 2. De afgegeven warmte wordt moeilijker verdeeld door het dichte gewas, waardoor de ruimtetemperatuur in de buurt van de buis stijgt, en de buis bijgevolg minder warmte kan afgeven. De drukverliezen per meter blijven dezelfde als in de vorige vergelijking, waardoor de PE-buis (108 Pa/m) 37% minder drukverlies zal hebben dan de vinnenbuis (171 Pa/m). De inwendige diameter van de buizen is gelijk, waardoor ook de waterinhoud per m buis gelijk zal zijn. Doordat er van de vinnenbuis slechts 1 lm/meter goot voorzien werd, en van de PEx 2 lm/meter goot, zal de waterinhoud per meter goot dus maar de helft bedragen.



Figuur 8: Vergelijking van de afgifte van de PE-leidingen en de vinnenbuis tijdens meetperiode 3

4 Conclusie

Het vermogen dat afgegeven kan worden met verwarmingsbuizen, ligt op basis van deze metingen lager dan wat we berekenen. Bij het gebruik van laagwaardige warmte kan dit verschil moeilijker gecompenseerd worden door het gebruik van een hogere watertemperatuur. Het is dus belangrijk dat zeker voldoende afgifte wordt geïnstalleerd wanneer uitsluitend LT-warmte wordt gebruikt. Daarnaast zien we dat buizen met een kleine diameter efficiënter zijn dan buizen met een grotere diameter. Er moet dan wel rekening gehouden worden met een groter drukverlies bij de pompselectie, en een kleinere waterinhoud. Dit kan voordelen hebben qua draagconstructie, maar ook nadelen qua buffercapaciteit in de installatie. Als laatste zien we in de metingen ook dat het vermogen van buizen met vinnen bij het gebruik van laagwaardige warmte relatief laag ligt ten opzichte van de labo-metingen, waardoor de buizen niet efficiënter zijn dan het gebruik van twee ronde buizen met een kleine diameter.