

Duurzame warmtenet invoeding - Zonthermie van achter de meter
(GO-ZON)

Openbare eindrapportage

PPS toeslag, MMIP 4



Lidewij van Trigt, Arnoud van der Zee (TU Delft)

Joachim Koot (Triple Solar)

Felix Behrends (NetVerder)

18 oktober 2024

1. Gegevens project

Projectnaam	Duurzame warmtenet invoeding - Zonthermie van achter de meter
Afkorting	GO-ZON
Referentienummer	1921407
PPS-toeslag jaar	2019 (TKI1921)
Betreft TKI/Programmalijn	TKI Energie – Urban Energy
Penvoerder	Technische Universiteit Delft
Deelnemers	Triple Solar BV NetVerder BV
Startdatum	01-04-2023
Einddatum	30-9-2024
Rapportageperiode	01-04-2023 t/m 30-9-2024

Inhoudsopgave

1. Gegevens project
2. Inhoudelijke resultaten van het project
 - 2a. *Samenvatting*
 - 2b. *Inleiding*
 - 2c. *Werkwijze*
 - 2d. *Resultaten van het project*
 - 2e. *Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten*
 - Inzichten m.b.t. de bidirectionele afleverset
 - Analyse van de meetresultaten
 - Relatie tussen de regelgeving en het ontwerp van de afleverset
 - Plaatsing van de afleverset in de woning
 - Meerwaarde van zonnewarmte voor LT- en MT-warmtenetten
 - Benutten van voorspellend regelen voor warmtenetten met meerdere bronnen
 - 2f. *Discussie*
 - 2g. *Conclusies en aanbevelingen*

2. Inhoudelijke resultaten van het project

2a. Samenvatting

Het verwachte aantal gebouwen dat is aangesloten op warmte en/of koudnetten in 2050 is rond de 2 miljoen. Zon als duurzame bron voor warmtenetten zit nog in de beginfase van haar ontwikkeling. Met name achter de meter ligt nog veel onontgonnen terrein voor invoeding of teruglevering. In het project GO-Zon hebben Triple Solar, NetVerder en TU Delft waardevolle inzichten opgedaan rondom het terugleveren van zonnewarmte vanuit de woning aan een warmtenet.

GO-Zon is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Het project draagt bij aan de ambitie uit het MMIP 4 om de potentie van zonthermie verder te onderzoeken en ontwikkelen ((TKI MMIP 4, 2021 Deelprogramma 7.3: zonthermie). Dit is gedaan door:

- Het ontwikkelen van een nieuwe setup voor zonthermie in de woning
- Het koppelen en testen van deze setup aan een bestaand lage temperatuur-warmtenet

Bij The Green Village werden op het schuine dak van een jaren 70-woning, genaamd Dreamhûs, vier PVT-panelen van Triple Solar geïnstalleerd. Deze PVT-panelen leveren zowel elektriciteit als warmte en vormen een dynamische bron voor de woning. Daarnaast is een warmtepomp gekoppeld aan zowel de PVT-panelen als het innovatie-warmtenet bij The Green Village, dat als zeer lage temperatuur (ZLT) warmtenet functioneert met seizoensopslag. Het warmtenet had een temperatuur tussen 5 en 15 graden Celsius tijdens het project.

Een warmtebuffer voor warm tapwater was in de woning geïnstalleerd, waarbij de CV-ketel bijsprong als het buffervat onder 40-45 graden kwam. Een cruciaal onderdeel van het project was de ontwikkeling en het testen van een 'energy hub', een afleverset die kan schakelen tussen het warmtenet en PVT-warmte, en tevens warmte kan terugleveren aan het net. In verschillende seizoenen werd de warmte van de PVT-panelen en het warmtenet afwisselend gebruikt, afhankelijk van de efficiëntie van de bronnen.

Tijdens het project werd vooral gekeken naar de prestaties van deze bidirectionele afleverset. De term 'bidirectioneel' werd uitgebreid besproken en werd gedefinieerd als de mogelijkheid om warmte heen en terug te leveren, evenals het gebruik van zowel warmte als koeling van het warmtenet. Het project wees uit dat PVT-panelen een dynamischere warmtebron vormen dan het warmtenet, vooral in de zomer. De meetresultaten lieten zien dat de PVT-panelen 55% van de tijd werden gebruikt, maar het warmtenet leverde tweederde van de totale energie, vooral in de winter.

Een ander belangrijk aspect van het project was de analyse van technische aansluitvoorwaarden voor bidirectionele afleversets. Het project wees op knelpunten in de huidige technische richtlijnen, die niet zijn ontworpen voor systemen die warmte terugleveren aan het warmtenet. Een voorstel werd gedaan om deze afleversets eigendom te laten worden van de beheerder van het warmtenet om beter toezicht te houden op de systeemwerking en balans.

Het project deed ook aanbevelingen voor de plaatsing van afleversets in woningen, waarbij verschillende opties werden geëvalueerd. De optie waarbij de warmtewisselaar buiten de woning wordt geplaatst en de afleverset nabij de warmtepomp, bleek het meest geschikt voor toekomstige projecten zoals in het Ramplaankwartier in Haarlem.

De analyse van het GO-Zon project laat zien dat PVT-panelen een significante bijdrage kunnen leveren aan lage-temperatuur warmtenetten, met een opbrengst van 2,6 GJ/m² tot 6 GJ/m² per jaar bij nettemperaturen van respectievelijk 10 en 15°C. De studie toont aan dat PVT-panelen in combinatie met een zeer lage temperatuur warmtenet de energieopbrengst per paneel met 63% tot 142% kunnen verhogen vergeleken met een systeem dat enkel gebruikt wordt om individuele woningen van warmte te voorzien. Met name in combinatie met een Warmte Koude Opslag (WKO) kan een krachtig en efficiënt energiesysteem worden gerealiseerd.

Er zijn echter ook uitdagingen. Eén daarvan is de dubbele infrastructuur die nodig is: zowel een aansluiting op het warmtenet als de installatie van PVT-panelen. Dit brengt hogere kosten met zich mee, maar het systeem biedt ook belangrijke voordelen, zoals een verminderde afhankelijkheid van centrale opwekking, een stabielere energievoorziening,

een positieve bijdrage aan de energietransitie en minder belasting op het elektriciteitsnet. Bovendien kunnen PVT-panelen helpen om WKO-systemen in balans te houden, wat het geheel efficiënter maakt.

Uit meetresultaten blijkt dat de Energy Hub in staat is om tussen het PVT-paneel en het warmtenet te schakelen als bron voor de warmtepomp, met als doel het elektriciteitsverbruik te minimaliseren door de warmste beschikbare bron te kiezen. In 81% van de gevallen kiest het systeem de meest efficiënte bron.

Een van de belangrijkste uitdagingen is het opzetten van een systeem dat optimaal presteert op netwerkniveau (het warmtenet en alle aangeslotenen) in plaats van op individueel niveau. Hierbij zou rekening moeten worden gehouden met weersvoorspellingen, warmte- en koudevraag, en de mogelijkheid om warmte of koude op te slaan op basis van elektriciteitsprijzen of de beschikbaarheid van zonne-energie. Een goede afstemming tussen decentrale bronnen en het warmtenet is essentieel om efficiëntie en leveringszekerheid te waarborgen. Dit vraagt om verder onderzoek naar geavanceerde regeltechnieken en mogelijke integratie met het elektriciteitsnet.

Daarnaast zijn er belangrijke onderwerpen voor vervolgonderzoek. Eén daarvan is het gebruik van ZLT-warmtenetten voor koeling in de zomer, wat momenteel niet is onderzocht binnen GO-Zon, maar gezien de toenemende koelvraag in Nederland zou dit een waardevolle toevoeging zijn. Ook is er behoefte aan technische standaarden voor het aansluiten van zonnearmsystemen op warmtenetten, inclusief de mogelijkheid om warmte terug te leveren. Op dit moment ontbreekt regelgeving die teruglevering aan het warmtenet faciliteert, en dit belemmert bredere implementatie van zonnearmsystemen.

Het GO-Zon project heeft laten zien dat de combinatie van een ZLT-warmtenet en PVT-systemen technisch haalbaar is en goede prestaties levert, maar verdere optimalisatie is noodzakelijk om grootschalige uitrol financieel aantrekkelijker te maken. Er is behoefte aan betere samenwerking tussen verschillende partijen en regelgeving om de juiste omstandigheden te creëren en zo de energietransitie te versnellen.

Publicaties over het project: www.thegreenvillage.org/project/go-zon/; www.youtube.com/watch?v=6R3bjOSpao4; [LinkedIn The Green Village](#); [LinkedIn Triple Solar](#).

Voor meer informatie over het project GO-Zon kunt u contact zoeken met de initiatiefnemers:

TU Delft, Lidewij van Trigt (L.vanTrigt@tudelft.nl) en Arnoud van der Zee (A.E.vanderZee@tudelft.nl)

Triple Solar, Joachim Koot (joachim.koot@triplesolar.eu) en Frank van Maanen (frank.van.maanen@triplesolar.eu)

NetVerder, Felix Behrends Behrends (felix.behrends@netverder.nl) en Edwin van Vliet (edwin.vanvliet@netverder.nl)

2b. Inleiding

Warmte- en koudenetten hebben grote potentie om bij te dragen aan het aardgasvrij maken van de gebouwde omgeving. Het verwachte aantal gebouwen dat is aangesloten op warmte en/of koudenetten in 2050 is rond de 2 miljoen. Deze netten hebben duurzame bronnen nodig. Deels centrale bronnen, maar ook decentrale bronnen zijn belangrijk om voldoende warmte en koude te 'produceren'. De zon als bron is geen nieuwkomer in duurzame energie, maar zon voor warmtenetten zit nog wel in de beginfase van haar ontwikkeling. Met name achter de meter ligt nog veel onontgonnen terrein voor invoeding. Hiervoor zijn onderzoek en ontwikkeling nodig ten behoeve van (1) verbetering van de prestaties van invoeding van achter de meter, (2) simpelere implementatie en (3) bredere toepassing. Dit project geeft inzichten in de ontwerpmethoden voor teruglevering van achter de meter en biedt proof-of-concept van een zonthermisch invoedsysteem van achter de meter.

Initiatiefnemers

Triple Solar maakt al 15 jaar PVT-warmtepomppanelen. Het gaat om collectoren die warmte onttrekken van buiten (luchttemperatuur en zon). Dit levert warmte op met relatief lage temperatuur; in Nederland is dat tussen -20 en +60 graden Celsius. De warmte kan worden opgewaardeerd met een warmtepomp. Triple Solar heeft voor appartementen en kleine woningen zelf een WP ontwikkeld en op de markt gebracht. Deze WP is geoptimaliseerd voor PVT als bron.

NetVerder is het onderdeel van de Stedin Groep dat verantwoordelijk is voor onder andere warmtenetten. De organisatie richt zich eerst vooral op advies, beheer en serviceverlening in kleinschalige zonnewarmtenetten. Als er een bedrijfsmatig logische rol te vervullen is zal NetVerder pas instappen in prosumer-projecten als warmtebedrijf.

TU Delft heeft de ambitie bij te dragen aan het oplossen van mondiale uitdagingen door technologieontwikkeling met onderzoek en door nieuwe generaties maatschappelijk verantwoorde ingenieurs op te leiden. Binnen dit project verzorgde TU Delft de project-coördinatie. Het project kon gebruik maken van fieldlab The Green Village (TGV) op de campus van TU Delft voor het realiseren van de proefopstelling, het uitvoeren van de tests en de organisatie van een kennisevenement. Studenten hebben een bijdrage geleverd aan het bestuderen van theoretische vraagstukken en de data-analyse van de bedrijfstoestanden van de test.

Testopstelling

Bij The Green Village zijn op een jaren 70 woning (genaamd Dreamhûs) 4 PVT-panelen van Triple Solar op het schuine dak gelegd. Deze panelen leveren zowel elektriciteit als warmte aan de woning. Wind, zon, neerslag, etc. hebben invloed op de warmte-opbrengst, waarmee dit een zeer dynamische bron vormde. De aangesloten warmtepomp kon – naast de warmte uit de PVT-panelen - ook warmte afnemen uit het innovatie-warmtenet van The Green Village. De temperatuur van dat warmtenet was gedurende het project vrij constant tussen 5 en 15 graden Celsius, omdat is gekozen om de warmtebron van het net niet te laten leveren. Daardoor functioneerde het net als een zeer lage temperatuur (ZLT) warmtenet met seizoensopslag. Dat lijkt ook de meest interessante use case voor dit soort systemen.



Foto: PVT-paneel van Triple Solar

In de woning was een warmtebuffer geplaatst voor warm tapwater. De CV sprong in deze testopstelling bij als de temperatuur in het buffervat onder 40 of 45 graden kwam en als het buffervat leeg was.

Triple Solar ontwikkelde voor dit project een eerste prototype van een afleverset die geschikt is voor zonnewarmtenetten. Deze zogenaamde 'energy hub' kiest de meest gunstige warmtebron (warmtenet of PVT-warmte) voor de warmtepomp en maakt ook warmteteruglevering aan het warmtenet mogelijk. Belangrijk in het onderzoek was het demonstren van de werking van de energy hub.

In de zomer leverden de PVT-panelen warmte voor warm tapwatergebruik in de eigen woning (opslag in een buffervat) en aan het warmtenet (aan de aanvoerleiding). In de lente vormden de PVT-panelen de bron voor de warmtepomp. In het koude seizoen haalde de warmtepomp warmte vanuit het warmtenet om die op te waarderen naar de juiste temperatuur.

Het open-innovatie warmtenet bij The Green Village is in beheer van NetVerder. GO-Zon is het eerste project dat aansluit op dit warmtenet. NetVerder heeft in dit project technische aansluitvoorwaarden ontwikkeld voor de situatie van een zonnewarmtenet. Ook dit soort activiteiten zijn cruciaal onderdeel van het innovatieproces. Want het standaardmodel van

de aansluitvoorwaarden dat wordt gebruikt bij traditionele warmtenetten is niet geschikt. Een standaard voor aansluitvoorwaarden met teruglevering op het warmtenet ontbreekt door onbekendheid en een lage adaptatiegraad.

2c. Doelstelling

Het project draagt bij aan de ambitie uit het MMIP 4 om de potentie van zonthermie verder te onderzoeken en ontwikkelen (TKI MMIP 4, 2021 Deelprogramma 7.3: zonthermie). Dit is gedaan door:

- Het ontwikkelen van een nieuwe setup voor zonthermie in de woning
- Het koppelen en testen van deze setup aan een bestaand lage temperatuur-warmtenet

2c. Werkwijze

Het project kende 3 werkpakketten:

- WP1 ontwerp en testvoorbereidende activiteiten
- WP2 installatie en het testen van de verschillende bedrijfstoestanden
- WP3 marktconsultatie

Projectverloop

De eerste periode van het project (Q2 2023) is gebruikt voor het beantwoorden van enkele vragen vanuit TKI over de insteek van het project en de aanpassing van het projectplan en begroting.

In juni 2023 vond de officiële kickoff plaats met het consortium. In augustus werd de consortiumovereenkomst definitief gemaakt en getekend.

In juli 2023 kreeg het project groen licht voor gebruik van een van de zogenaamde Dreamhûs-woningen bij The Green Village (Van den Broekweg 28) na een presentatie door Triple Solar aan de Dreamhûs-projectgroep.

Het zwaartepunt van het werk lag in het eerste half jaar van het project bij het bouwen van de bidirectionele afleverset en het detailontwerp van de testopstelling in de woning (WP1) en vervolgens het voorbereiden en uitvoeren van het installatiewerk in de woning (WP2).



Foto's: medewerkers van Triple Solar aan het werk met de installatie in de woning (fotografie: Robert Kroonen)

NetVerder maakte intussen samen met partner DEP (voorheen Qirion) het warmtenet gereed voor de test. Onder andere is het warmtenet opnieuw gespoeld om eventuele vervuiling te verwijderen en is er getest op lekdichtheid in de woning. Daarnaast is het warmtenet in bedrijf gesteld volgens parameters die het testen van de bidirectionele afleverset mogelijk maakten.



Foto: werkzaamheden aan het warmtenet door vertegenwoordigers van TU Delft, NetVerder en DEP

Eind december waren alle installatiewerkzaamheden gereed. De projectpartners hebben ervoor gekozen de warmtepomp nog niet in te schakelen ter voorkoming van eventuele storingen tijdens de Kerstdagen. Vanaf januari 2024 is het systeem operationeel gemaakt. In de eerste maand werden er vooral verbeteringen doorgevoerd in het systeem en issues verholpen. In de periode februari tot en met september 2024 heeft het systeem in de woning gedraaid en konden data worden verzameld over de verschillende bedrijfstoestanden (winter, lente, zomer).

Het projectteam heeft de volgende werksessies, activiteiten en bijeenkomsten georganiseerd in het kader van marktconsultatie (WP3) kennisopbouw en -borging:

Wie	Wat
TU Delft in samenwerking met een student	Uitwerken plaatsingsopties voor woningen in Ramplaankwartier Haarlem, inclusief een grove kostenindicatie. Inhoudelijke afstemming met Triple Solar en NetVerder
Alle projectpartners	Werksessie om de relatie tussen de regelgeving, normen en het ontwerp van de afleverset uit te diepen
TU Delft en Triple Solar in samenwerking met een student-assistent	Analyse van de meetresultaten van verschillende bedrijfstoestanden (op basis van de data van de testopstelling bij The Green Village)
Alle projectpartners	Werksessie meerwaarde van zonnewarmte voor LT- en MT-warmtenetten. Wat werkt het best bij welk type warmtenet?
Alle projectpartners	Kennisevenement over warmtenetten met zonnewarmte
NetVerder en Triple Solar	Interne werksessies over benutten van voorspellend regelen voor warmtenetten met meerdere bronnen

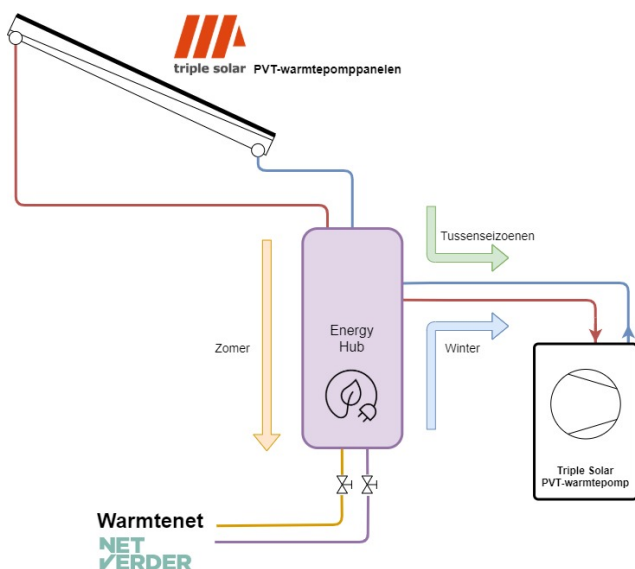
2d. Resultaten van het project

Inzichten m.b.t. de bidirectionele afleverzet

Een interessante discussie tijdens het kennisevenement in juni ging over de definitie van bidirectioneel in relatie tot de afleverzet. Betekent bidirectioneel dat warmte heen en terug kan? Of is die term ook van toepassing als men zowel warmte als koeling uit een warmtenet trekt? De wens werd uitgesproken voor standaardisatie in terminologie in de energietransitie. In de (internationale) academische wereld spreekt men van *bidirectioneel* als het mogelijk is om zowel uit de warme als koude leiding af te nemen en als het mogelijk is om warmte terug te leveren aan het net.

Er is sprake van *niet-bidirectioneel* als bij ZLT-warmtenetten de warmere leiding wordt gebruikt voor zowel verwarmen als koelen (bijv. voor koeling bij vloerverwarming).

In een zogenaamd *unidirectioneel* 5e generatiesysteem wordt de retourleiding gebruikt als dumpleiding. De ene aansluiting geeft daar warmte aan af en een ander zal een lagere temperatuur afgeven. Dat kan ertoe leiden dat de temperatuur van de retourleiding relatief hoog is, bijvoorbeeld 15 graden.



Omdat in het project Go-Zon warmte wordt teruggeleverd op de warme leiding van het warmtenet, kunnen we spreken van een bidirectionele afleverzet. Die is gerealiseerd door een hydraulisch schakeling in te bouwen met een aantal driewegkleppen (zie afbeelding). Met het eerste paar kleppen kan gekozen worden of het broncircuit van de warmtepomp circuleert over de PVT-panels of over de afleverzet. De afleverzet is voorzien van een warmtewisselaar, om een hydraulische scheiding te kunnen maken tussen het warmtenet en de PVT-panels, onder meer vanwege het verschil in bronmedium (glycol in het panelenveld en gewoon water in het warmtenet). Een tweede set driewegkleppen in de afleverzet maakt het mogelijk om de stroomrichting van de flow door de warmtewisselaar aan de warmtenetzijde om te draaien. Zo kan zowel aan de warme als de koude leiding worden geleverd.

Er zijn een aantal voorwaarden te formuleren waaraan een bidirectionele afleverzet moet voldoen om een meerwaarde te bieden in de warmteketen.

Een grote meerwaarde, vanuit een energetisch oogpunt, zit in het terugleveren aan het net. Een gebruiker kan zo overtollige warmte weer invoeden in het net die elders gebruikt of opgeslagen kan worden en daarmee niet verloren gaat. Dit betekent dat bemeten en aansturen van de afleverzet mogelijk moet zijn. Hiervoor is een warmtemeter benodigd die zowel afname als invoeding van warmte kan meten. Dit maakt het salderen van warmte in de toekomst mogelijk.

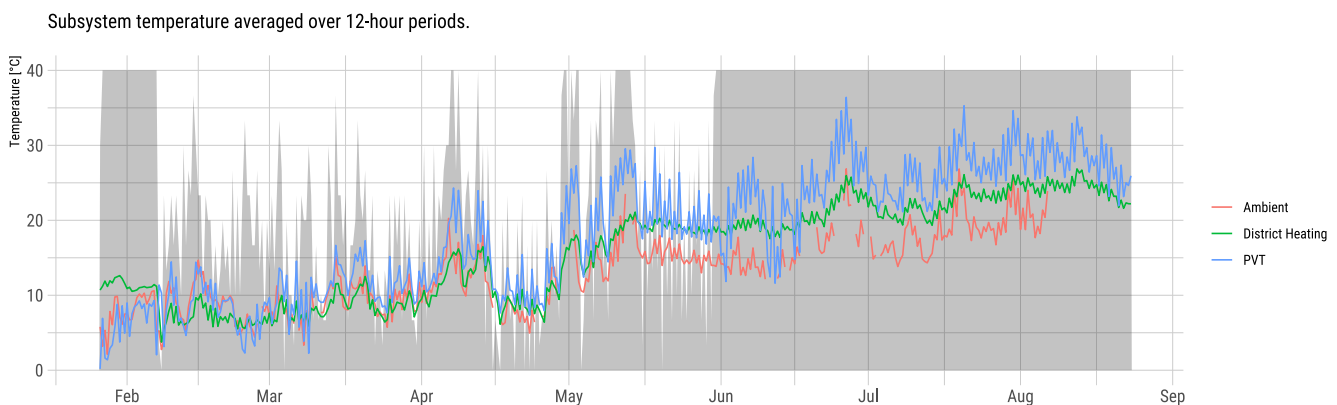
Een randvoorwaarde is dat er bij een 2-pijpsysteem altijd een retourflow gegenereerd moet kunnen worden. Het moet daarom voorkomen worden dat er een hydraulische blokkade ontstaat. Het aansturen van de set moet mogelijk zijn omdat de installatie niet langer passief is ten opzichte van de aansluiting. Deze aansturing heeft voorrang op het recht om terug te mogen leveren.

Het totale net, en daarmee de afleverzets, moeten zo ontworpen worden dat de totale teruglevercapaciteit niet de totale warmtevraag overschrijdt. Hiermee voorkom je dat er onnodige kosten gemaakt worden voor overdimensionering van netten en opslag. Dit kan contractueel worden vastgelegd maar een technisch uitgangspunt dat de aanvoercapaciteit niet hoger mag zijn dan de teruglevercapaciteit schept een eenvoudiger kader.

Een andere randvoorwaarde is dat de binneninstallatie hydraulisch gescheiden moet zijn van het warmtenet. Hiermee voorkom je aansprakelijkheidsrisico's en kun je kosten voor het beheren van systeem laag houden.

Analyse van de meetresultaten

In de analyse van de meetresultaten is te zien dat de afleverset in staat is effectief tussen beide bronnen te selecteren. Daarbij kiest de regelaar ervoor om de warmste bron te selecteren: hierbij is de warmtepomp het efficiëntst. Onderstaand diagram vat dat mooi samen. De blauwe lijn geeft de temperatuur van de PVT-bron aan, de groene lijn die van het warmtenet, rood is de buitentemperatuur en de grijze balk geeft aan welk deel van de tijd voor de PVT-bron is gekozen. Helemaal wit is uitsluitend gebruik van het warmtenet, helemaal grijs is volledig gebruik van de PVT-bron.

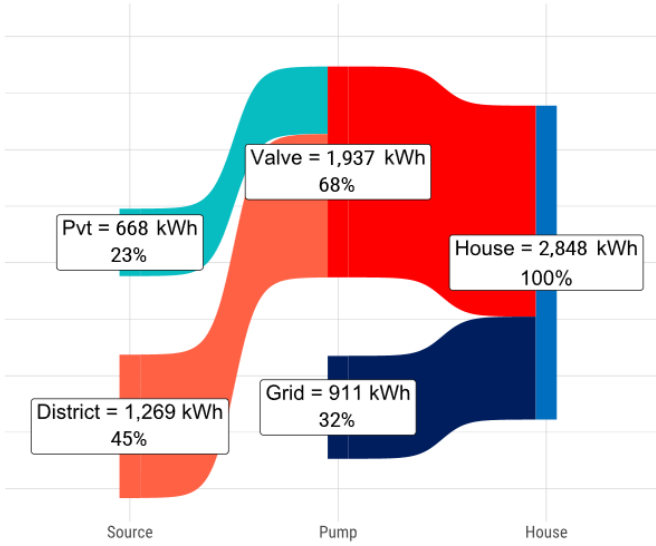


We zien dat de brontemperaturen van PVT veel dynamischer zijn dan het warmtenet. Overigens zien we in de temperatuur van het warmtenet ook nog wat meer fluctuatie dan je van een ZLT-net verwacht omdat het warmtenet bij The Green Village vrij klein is. Het bevat slechts 1 kuub water. Daardoor warmt het vrij snel op. De voornaamste bron voor opwarming is de bodem. De teruglevering van warmte vanuit de PVT-panelen was nog vrij beperkt.

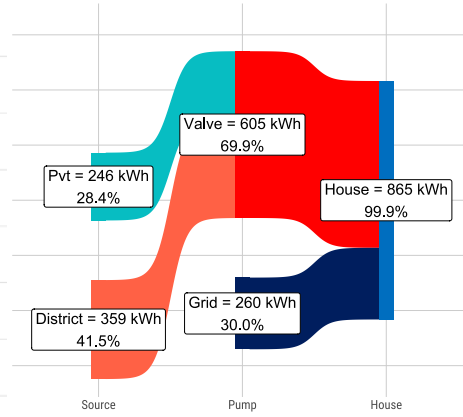
De buitentemperatuur lijkt een redelijke voorspeller van hoeveel warmte de PVT-panelen zullen leveren. De data laten zien dat PVT in de meetperiode ruwweg 55% van de tijd de bron heeft gevormd voor de warmtepomp. Echter, als we naar de energiestromen kijken, dan blijkt twee derde van de warmte gedurende de meetperiode uit het warmtenet te zijn gekomen. Dat is te verklaren omdat in de winter, wanneer de warmtevraag het hoogste is, de warmtenettemperatuur hoger is dan de PVT-temperatuur. De energiestromen gedurende de meetperiode zijn in onderstaande figuren weergegeven. Om de energiebalans compleet te maken, is ook het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp (in de grafieken aangeduid als 'grid') meegenomen.

De warmtevraag in de zomer is logischerwijs laag in vergelijking met vraag in de winter- en voorjaarsmaanden. De warmtepomp hoeft dan alleen in te schakelen om tapwater te verwarmen. De PVT-bron presteert zeer goed in de zomer, omdat in deze periode veel zon schijnt en de buitentemperatuur hoog is. Dit verklaart waarom de energy hub in de maanden juni en juli volledig voor de PVT-bron kiest.

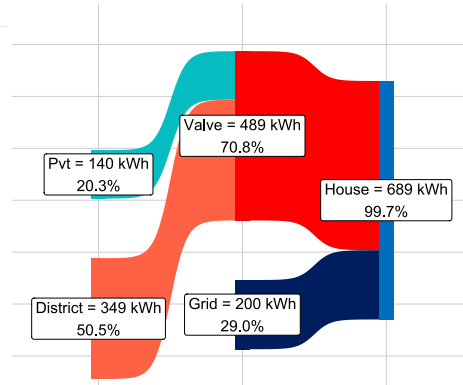
Yearly flows - 2024



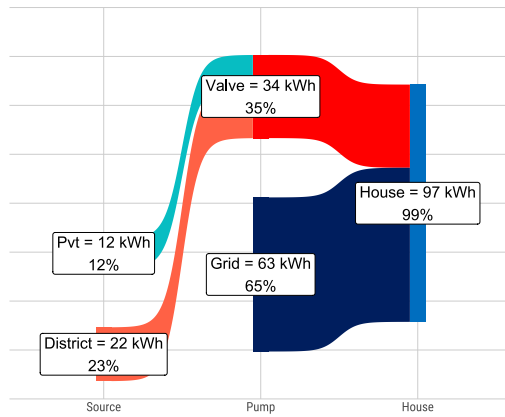
Monthly Flows - February



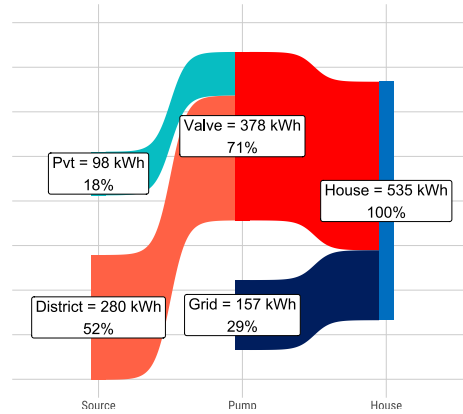
Monthly Flows - March



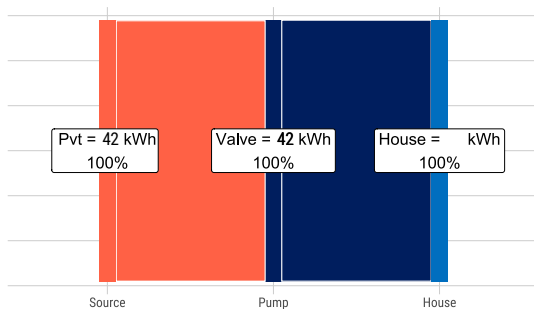
Monthly Flows - May



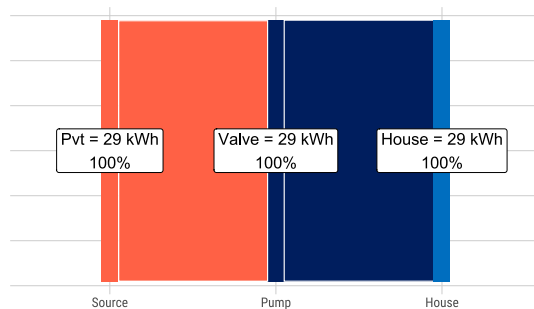
Monthly Flows - April



Monthly Flows - Jun

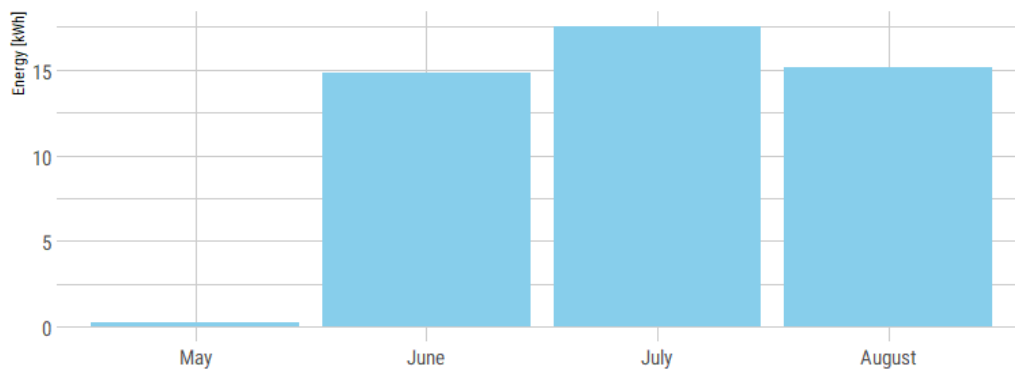


Monthly Flows - July



Data-analyse wijst uit dat de energy hub in 81% van de gevallen de warmste bron selecteert. Een mooi resultaat voor een test van het eerste prototype. Triple Solar zal nog moeten kijken waarom dat niet in alle gevallen gebeurt en of het wenselijk is om altijd de warmste bron te selecteren.

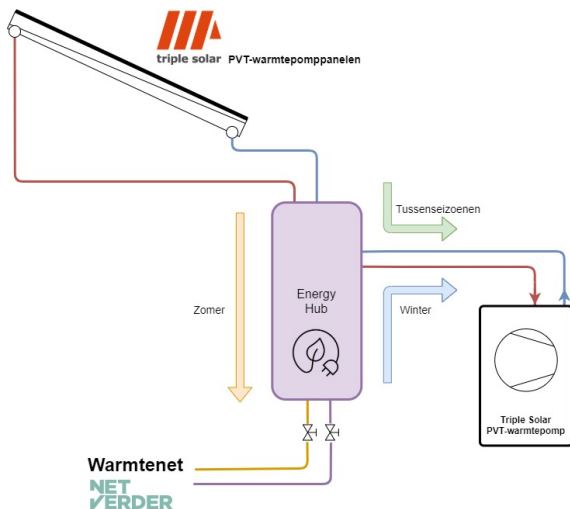
Tevens is in beeld gebracht hoeveel warmte vanuit de PVT-panelen aan het warmtenet is teruggeleverd. Dat is pas vanaf mei het geval. De hoeveelheid teruggeleverde warmte is zeer beperkt gebleven. Belangrijkste oorzaak hiervoor is de relatief hoge nettemperatuur (richting de 20 °C) gedurende deze maanden. In een groter warmtenet is de mediumtemperatuur waarschijnlijk lager, en zal meer warmte teruggeleverd kunnen worden. Wel is succesvol gedemonstreerd dat de energy hub en de regeling warmte aan het warmtenet kunnen leveren.



Met bovenstaande analyse is in beeld gebracht dat de afleverset effectief in staat is te schakelen tussen verschillende warmtebronnen voor de warmtepomp. Verbeteringen in de regeling en meetopstelling kunnen ervoor zorgen dat de energy hub nog beter presteert bij het selecteren van de warmste bron.

Relatie tussen de regelgeving en het ontwerp van de afleverset

Tijdens het aansluiten van de afleverset ontstonden er knelpunten tussen de technische aansluitvoorwaarden die NetVerder heeft opgesteld voor reguliere individuele afleversets en het hydraulische ontwerp en de werking van de afleverset van Triple Solar. Met name de mengregeling die niet hydraulisch gescheiden is van het warmtenet kan voor problemen zorgen. Met deze mengregeling kan de afleverset een hoge temperatuur terugmengen als de warmtepomp energie onttrekt aan het warmtenet. Tijdens een werksessie werd onderzocht in hoeverre het hydraulische ontwerp van de mengregeling een probleem vormt en hoe er moet worden omgegaan met afleversets die ook terugleveren aan een warmtenet. De bevindingen komen voort uit deze specifieke context maar bieden mogelijk meerwaarde voor andere projecten of toekomstige ontwikkelingen.



Afbeelding: vereenvoudigde weergave van de 'Energy Hub' bidirectionele afleverset van Triple Solar

De situatie op The Green Village is uniek te noemen. De afleverset in de woning is in eigendom en beheer van Triple Solar in plaats van de eigenaar van het warmtenet. Daarmee ligt de demarcatiepunt niet op of achter de warmtewisselaar maar ervoor. Tijdens de discussie over deze demarcatie kwam naar voren dat er bij Triple Solar geen fundamentele behoefte bestaat om de afleverset in eigendom te hebben. Dit is zo ontstaan omdat er simpelweg nog geen afleverset bestond die aan de eisen voor de binneninstallatie en het terugleveren voldeed, en daardoor binnen het project ontwikkeld moest worden. NetVerder, als netbeheerder, heeft wél de behoefte om de afleverset in eigendom en beheer te hebben. Vanuit NetVerder zijn daar de volgende redenen voor geformuleerd:

- De invloed op het warmtenet kan bepaald worden, zowel thermisch als hydraulisch
- Men kan voorkomen dat er tegen elkaar in gepompt wordt
- Men kan de teruglevering aan het warmtenet reguleren
- Temperatuur/druk bescherming
- Meetapparatuur kan afgeschermd worden, zoals verzegeling van elektrische meter
- Men houdt controle op de mogelijke leveringsplicht
- Aanvaardbare retourtemperatuur garanderen
- Hydraulische scheiding tussen net en bronsysteem

Momenteel past een bidirectionele afleverset niet in de Technische Aansluitvoorwaarden van de meeste, zo niet alle, warmtebedrijven van Nederland. NetVerder ziet de ontwikkeling van warmtenetten naar lagere temperaturen en decentrale structuren. Een warmtenet waarbij verbruikers tevens warmte produceren is een logische vervolgstap. In een eerder project, DeZONNET, is al geconcludeerd dat er een knelpunt ontstaat tussen de systeembalans behouden als netbeheerder en de vermindering van aansprakelijkheidsrisico's door binneninstallaties zo veel mogelijk buiten het

eigenaarschap te houden. Een voorzichtige conclusie van de werksessie is dat de afleverset binnen het beheer en eigendom van de netbeheerder zou moeten vallen vanwege de sterke voorkeur voor centrale aansturing van systeemcomponenten om leveringszekerheid en systeembalans te garanderen.

Er is op moment van schrijven geen norm die het ontwerp van een afleverset voorschrijft. Wel zijn er normen en ontwerprichtlijnen die het huidige ontwerp van afleversets indirect bepalen. Het is van belang om met de komst van bidirectionele afleversets heldere ontwerpkeuzes te schetsen, om een wildgroei aan technische aansluitvoorwaarden en bedrijfseigen specificaties te voorkomen.

Deze bevindingen komen voort uit een werksessie die als doel had de technische aansluitvoorwaarden van NetVerder te analyseren en te vergelijken met de afleverset van Triple Solar, evenals het onderzoeken van de praktijken van andere warmtebedrijven in Nederland. Een verslag van deze werksessie is bijgevoegd bij deze rapportage.



Foto: werksessie op het kantoor van NetVerder in Rotterdam

Plaatsing van de bidirectionele afleverset in de woning

In het project GO-ZON is getest in één woning. Daar werd de afleverset op zolder geplaatst omdat het warmtenet op zolder de woning binnen komt. Om het leereffect te vergroten heeft het projectconsortium een student opdracht gegeven te onderzoeken hoe een dergelijk systeem in de praktijk eruit kan zien in andere soorten woningen. Het ging daarbij met name om de vraag wat een goede plek is voor de bidirectionele afleverset en daarmee samenhangend hoe het warmtenet de woning binnen komt. Er is gekozen om samen te werken met het zonnewarmteproject Ramplaankwartier¹ en een aantal woningen uit die wijk als voorbeeld te gebruiken.

In de discussies over zonnewarmteprojecten is nog geen eenduidig beeld over de beste locatie voor de afleverset. Bij plaatsing op zolder moeten er vele meters leiding door de woning worden gelegd. Er wordt overigens momenteel onderzoek gedaan naar het hergebruik van de oude leidingen van cv-systeem voor dit doel. Als het gaat om corporatiewoningen zou het voor de hand liggen om te kiezen voor een plek buiten de woning in verband met onderhoud en service en de bereikbaarheid van de afleverset.

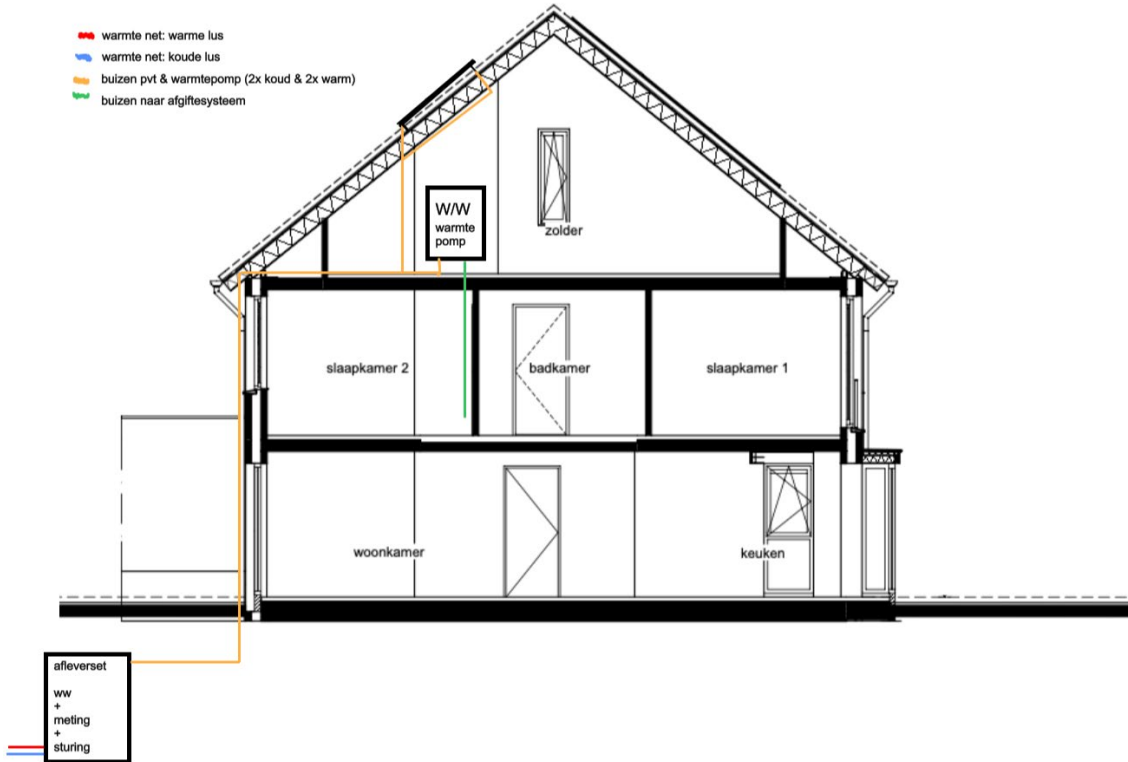
Bij de keuze van de plaatsing gaat het voornamelijk om het vinden van de balans tussen in pandige warmteverliezen voor de verbruiker en beheerbaarheid vanuit de netbeheerder. Er zijn vier mogelijke situaties geschetst waarbij de voor- en nadelen voor netbeheerder en verbruiker inzichtelijk zijn gemaakt:

1. Alles-in-een-optie buiten het huis (in de grond voor de woning of in een gevelkast)
2. Alles-in-een-optie bij de meterkast
3. Alles-in-één-optie op zolder/dicht bij de warmtepomp
4. Tweedelige set: warmtewisselaar buiten de woning en afleverset nabij warmtepomp

¹ Gemeente Haarlem heeft een rijkssubsidie van 4 miljoen euro gekregen om het initiatief Zonnewarmte Ramplaankwartier mogelijk te maken. Met het geld is een energiecoöperatie opgericht, die een zonnewarmtenet in de wijk zal realiseren en beheren. Meer informatie: <https://haarlem.nl/zonnewarmte-ramplaankwartier>

Optie 1: Alles-in-een-optie buiten het huis

De afleverset kan in de grond geplaatst worden, of in een gevelkast.



Voordelen:

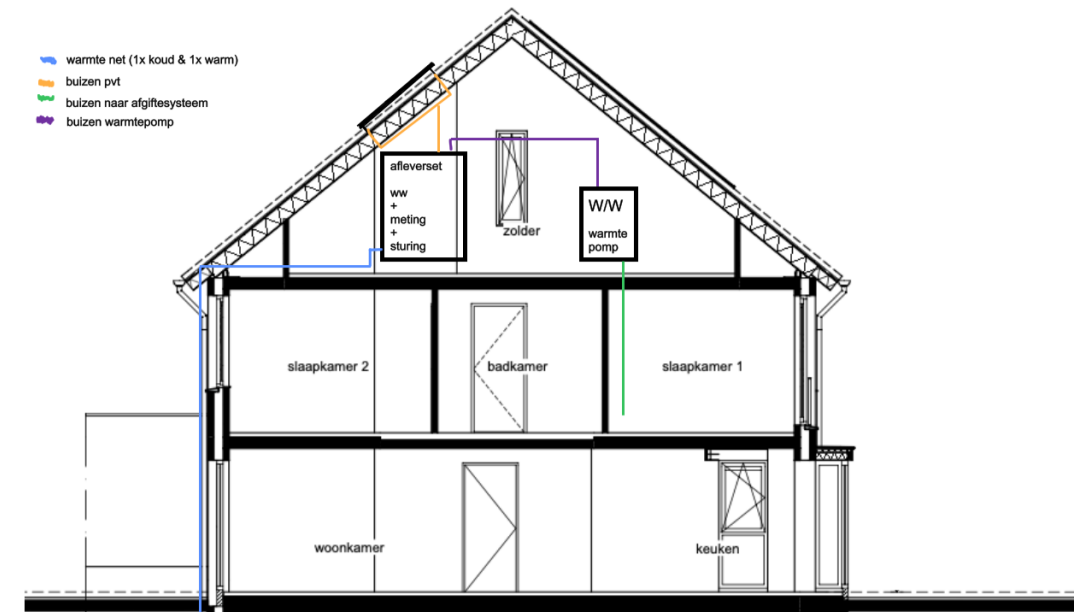
- Duidelijke installatie en demarcatie (demarcatie omvat het afbakenen van specifieke gebieden of terreinen, met als doel grenzen te definiëren en verschillende verantwoordelijkheden duidelijk te maken);
- Bewoner heeft geen toegang tot de set (afgesloten en verzegelde in kast);
- Toegankelijk voor technici zonder bewoner aanwezigheid;
- Gemakkelijke leidingtoegang via waterpijp naar zolder;
- Binnenruimte niet beperkt.

Nadelen:

- Zwaardere & duurdere werken voor installatie (4 leidingen naar de zolder);
- Bij inbouw in de grond zijn kostelijke en tijdrovende graafwerken nodig;
- Meer kans op condensatie & shade door buitenklimaat;
- Groter warmteverlies voor bewoner door meer en lange leidingen naar het huis en zolder.

Optie 3: Alles-in-één-optie in de zolder/dicht bij de warmtepomp

De afleverset wordt geïnstalleerd bij de warmtepomp, het warmtenet komt op zolder de woning binnen.



Voordelen:

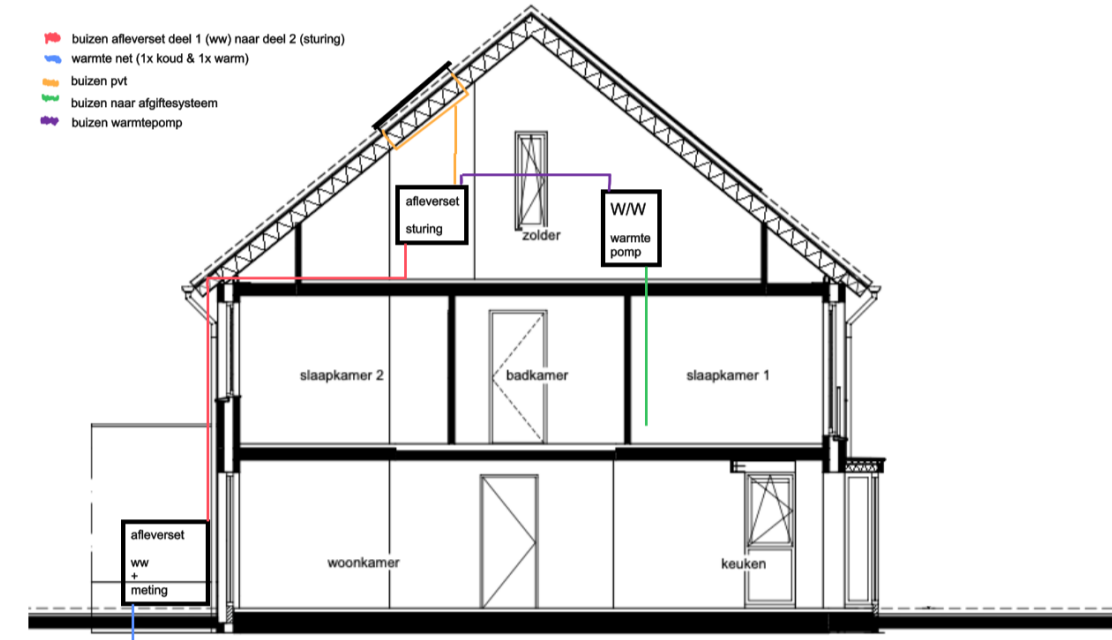
- Minimaal warmteverlies voor bewoners;
- Ruimte beschikbaar op zolder;
- Flexibiliteit voor leidingroute via regenpijp of verborgen in huis;
- Geen invloed van buitenklimaat.

Nadelen:

- Complexere installatie voor bewoners;
- Potentieel meer leidingwerk voor netbeheerder;
- Vragen over verantwoordelijkheid en verzekering bij schade of lekkage door demarcatie tot de zolder.

Optie 4: Tweedelige set: warmtewisselaar buiten de woning en afleverset nabij warmtepomp

Een vierde mogelijkheid is om de afleverset in twee delen te splitsen, waarbij de warmtewisselaar zich in de meterkast bevindt en de module die zorgt voor sturing op zolder wordt geplaatst, nabij de warmtepomp en de PVT-panelen.



Voordelen:

- Duidelijke demarcatie; tot en met warmtewisselaar is van netbeheerder;
- Flexibel economisch model voor afleverset mogelijk (kopen of huren);
- Mogelijkheid tot flexibele installatie: Enkel afname, ... doordat de set standaard 2-delig is;
- Risico's en verantwoordelijkheid bij bewoner voor schade aan de sturing set, leidingen, ...
- Optimalisatie van plaatsing van de afleverset mogelijk per specifiek geval (geothermie, warmtepomp, pvt, ...). De set kan zo dichtbij de bron hangen;
- Afleverset kan dicht bij de bron & warmtepomp, dan is er minder leidingwerk nodig.

Nadelen:

- Kwaliteitsbewaking is complexer;
- Meer voorwaarden voor de binneninstallatie;
- Meer componenten nodig zoals extra behuizing.

Aanbeveling over plaatsing van de bidirectionele afleverset

De laatste opstelling (optie 4) wordt aanbevolen voor het zonnewarmtenet in Ramplaankwartier. De demarcatie is duidelijk, waardoor discussies over verantwoordelijkheden eenvoudiger worden. Deze opstelling is bovendien flexibel en geschikt voor verschillende soorten woningen, elk met hun eigen beperkingen. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om enkel warmte af te nemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat er per woning gekeken zou moeten worden naar de beste invulling. Hierbij rekening houdend met de locatiekeuze voor de warmtepomp en het buffervat voor warm tapwater, de beschikbare ruimte binnen en buiten, wensen van de bewoners, kosten voor aanpassingen in de woning, 'verrommeling' van het straatbeeld, praktische zaken (bijv. hoe krijg je de warmtepomp naar de zolder?), etc.

Meerwaarde van zonnewarmte voor lage temperatuur- en middentemperatuur-warmtenetten

Op basis van analyse in het GO-Zon project is te concluderen dat PVT-panelen een belangrijk aandeel kunnen leveren voor lage-temperatuur warmtenetten.

Op basis van een modelstudie is te zien dat PVT-panelen rond de 2,6 GJ/(m² jaar) en 6 GJ/(m² jaar) kunnen leveren in combinatie met een zeer lage temperatuur warmtenet dat draait op respectievelijk 10 en 15 °C.

Het is volgens deze studie in theorie mogelijk om de opbrengst per paneel tussen de 63% en 142% te verhogen ten opzichte van panelen die alleen als bron van een warmtepomp dienen voor warmtelevering aan een individuele woning. Door de karakteristieken van het Triple Solar paneel is de opbrengst vooral hoog bij een LT-warmtenet met een mediumtemperatuur tussen de 10 en 15 °C. Samen met een WKO als seizoensopslag is dit een krachtige combinatie.

Daar staat tegenover dat bij decentrale bronnen zoals bij GO-Zon, in feite voor dubbele infrastructuur betaald moet worden: elke woning moet op een warmtenet worden aangesloten en ook is een investering in PVT-panelen vereist. Buiten de financiële aspecten heeft de koppeling tussen PVT-panelen en een warmtenet de volgende voordelen:

- Verminderde afhankelijkheid van centrale opwek en daardoor verhoogde leveringszekerheid;
- Systemen leveren voor CO₂-arme warmte met een groene reputatie en dit draagt bij aan de energietransitie;
- Het is een collectieve, sociale en solidaire oplossing, bijdragend aan cohesie binnen de wijk;
- De koppeling van PVT-panelen en een warmtenet kunnen de druk op het elektriciteitsnet (netcongestie) verlagen;

PVT-panelen kunnen bijdragen aan het in balans brengen van een WKO. We zien aan de meetresultaten van de Energy Hub dat inderdaad gewisseld wordt tussen het PVT-paneel en het warmtenet als bron. Helaas is er te weinig data verzameld over een te korte tijd om conclusies te trekken over de teruglevering van warmte uit de panelen naar het net. Daarnaast is te zien dat de warmtenettemperatuur op The Green Village relatief dynamisch is: in de zomermaanden is de nettemperatuur richting de 20 °C opgelopen. PVT-panelen kunnen op dit temperatuurniveau maar zeer beperkt of zelfs geen warme terugleveren. In een groter net met meerdere afnemers kan de mediumtemperatuur lager blijven, wat de bijdrage van de PVT-panelen kan vergroten.

Een uitgebreidere beschrijving van de modelberekeningen voor de opbrengst van PVT-panelen en een warmtenet is te vinden in de bijlage rondom de werksessie over de relatie tussen de regelgeving, normen en het ontwerp van de afleverset.

Benutten van voorspellend regelen voor warmtenetten met meerdere bronnen

De regeling voor de Energy Hub in GO-Zon maakt gebruik van een simpel principe: de Energy Hub selecteert de warmste bron (PVT of warmtenet) en biedt deze bron aan de warmtepomp aan. Dit levert voor de individuele woning het laagste elektriciteitsverbruik op, want de warmtepomp draait met de warmste beschikbare bron en dus met een hoge COP.

Op een grotere schaal, waarbij het warmtenet honderden of meer woningen voedt met verschillende decentrale warmteopwekkers, levert bovenstaande simpele regeling waarschijnlijk niet het beste rendement op voor het gehele systeem van alle verbruikers. Zo kan het wenselijk zijn om het net te ontlasten als er een koude periode aankomt, door PVT-panelen als bron te selecteren, hoewel die bron kouder is dan het warmtenet. Zo blijft er warmte in het net en/of de WKO voor een koudere periode. Andersom kan het interessant zijn om in de zomer tapwater te maken te maken vanuit het warmtenet om het net af te koelen, en het daarbij een geschiktere bron te maken voor een koelvraag van woningen. Kortom: het optimale systeemrendement wordt niet noodzakelijkerwijs bereikt als elke individuele woning een eigen optimum selecteert.

Het goed uitwerken van een dergelijke systeembrede regeling is niet eenvoudig en gaat buiten de scope van dit onderzoek. Een aantal aspecten waar rekening mee zou kunnen worden gehouden, om een optimale systeemprestatie te behalen, zijn onder meer:

- Voorspelling van weersomstandigheden om temperatuur van PVT-bron te bepalen;
- Voorspelling van warmte- en koudevraag per woning;
- Uitwisseling van warmte en koude tussen woningen via het warmtenet;
- Extra warmte of koude maken en opslaan in gebouwschil of tapwatervat op basis van elektriciteitsprijs, beschikbaarheid zelf opgewekte zonne-energie en/of congestie markt.
- Financiële incentive of technische voorwaarden formuleren om bij te dragen aan het optimale systeemrendement in plaats van financiële optimalisatie voor de individuele woning

Naast het optimaliseren van het dispatching model op gebouw en systeemniveau kan er gekeken worden naar een integratie met het elektriciteitsnet op middenspanningsniveau. Mogelijk is er hier een positief verband te leggen tussen het elektriciteitsnet en het warmtenet in een buurt. Hier ligt een duidelijke rol voor een regionale netbeheerder. Om 'congestie' op het warmtenet te voorkomen zal de netbeheerder moeten vaststellen onder welke voorwaarden geleverd mag worden. Of hier een vergoeding tegenover staat en hoe deze verrekend wordt is een open vraagstuk. Mogelijk zal de netbeheerder een soort marketmakerrol kunnen vervullen. Dit is een thema wat meer onderzoek vergt.

2e. Mogelijkheden voor vervolgactiviteiten

Het zonnewarmteproject Ramplaankwartier in Haarlem geeft zeer waardevolle inzichten. Het ligt voor de hand om met name naar dat initiatief te kijken bij het formuleren van vervolgonderzoek rondom zonnewarmtenetten. De initiatiefnemers van het GO-Zon project zien daarnaast drie onderzoeksgebieden die niet door het initiatief in Ramplaankwartier worden gedekt. Die mogelijke vervolgactiviteiten worden hieronder beschreven.

Praktijkonderzoek koelen met ZLT-warmtenetten

In GO-Zon is geen onderzoek gedaan naar inzet van het ZLT-warmtenet om in de zomer koelte te bieden. Het zou moeten kunnen maar daarvoor zouden aanpassingen aan het afgiftesysteem nodig zijn. De warmtepomp van Triple Solar is overigens wel geschikt om te koelen. Dit zou een interessant vervolgonderzoek kunnen zijn, omdat bekend is dat de koeltevraag in Nederland flink zal toenemen.

Het beleid van woningcorporaties is om geen installaties in de woning te brengen die actief koelen en het elektriciteitsverbruik omhoog brengen. Koelen vanuit een ZLT-warmtenet zou dan interessant kunnen zijn. Mogelijk verandert dit uitgangspunt in de toekomst. Met de stijgende temperatuur in Nederland kan koelen noodzakelijk worden voor de gezondheid van de bewoners.

Technische aansluitvoorwaarden van zonnewarmtenetten

Een standaard voor aansluitvoorwaarden met teruglevering op een warmtenet ontbreekt.

NetVerder heeft de technische aansluitvoorwaarden voor kleinverbruikers in de markt onderzocht. Die blijken allemaal verschillend te zijn en niet geschikt voor de situatie waarbij warmte aan het net wordt geleverd. Toon Buddingh' (Rijswijk Wonen) merkt op dat het de moeite is om te kijken naar de aansluitvoorwaarden van HVC in Dordrecht omdat daar mogelijk wel een bidirectionele aflevering is toegestaan.

NetVerder heeft binnen het GO-Zon project gesprekken gevoerd met warmtenetbeheerder Firan om ideeën uit te wisselen over de eisen die een warmtenetbeheerder zou willen stellen aan de binneninstallatie. Maar NetVerder heeft nog te weinig slagkracht om vanuit dit project te werken aan de doorontwikkeling en standaardisering van aansluitvoorwaarden. Het ligt voor de hand om met partijen als NEN in gesprek te gaan hierover.

Salderen mogelijk maken

Het is van belang dat terugleveren aan het warmtenet en verbruik van warmte uit het net apart worden gemonitord om salderen mogelijk te maken. Overigens zijn de mogelijkheden te kunnen salderen binnen de huidige wet- en regelgeving nog zeer beperkt. Daar is men bij Ramplaankwartier ook tegenaan gelopen. Om de toepassing van zonnewarmtenetten toegankelijk te maken voor andere buurten in Nederland is het belangrijk dat onderzoek wordt gedaan naar de mogelijkheden voor het aanpassen van de regelgeving voor dit soort warmtenetten.

2f. Discussie

Reflectie op meerwaarde van zonnewarmtenetten

De combinatie van een ZLT-warmtenet en PVT-systemen vragen een grote investering. De verwachting is dat dit bij grotere schaal rendabel kan zijn. Denk bijvoorbeeld aan woonwijk met netto warmtevraag waar in de buurt een utiliteitsgebouw staat met een overschot aan warmte, denk aan een ziekenhuis. Dat is een ideale situatie om efficiënt warmte uit te kunnen wisselen. PVT kan een rol spelen om de bron in balans te houden. Daarbij kunnen de PVT-systemen op woningen worden geïnstalleerd maar het is ook denkbaar dat een centrale locatie in de wijk wordt gekozen, een plek waar de installatiekosten laag zijn en waar voldoende ruimte is. Bij een wijk met een zonnewarmtenet is het (in verband met de hoeveelheid warmtepompen) van belang dat het boosten van de warmte in de woningen wordt verspreid over de dag. Als dat voor alle warmtepompen tegelijkertijd gebeurt dan kan dat het elektriciteitsnet plat leggen en de nettemperatuur onnodig verlagen.

Reflectie op eigendom en beheer van de afleverset

Een van de conflicten in het GO-Zon project was de aanwezigheid van een pomp tussen het warmtenet en de energy hub, die de warmteteruglevering mogelijk moet maken. Dit is voor deze test toegestaan door NetVerder (en als zodanig opgenomen in de technische aansluitvoorwaarden), maar dit is geen vanzelfsprekendheid en voor een (kleinverbruik) warmtenetbeheerder onbekend terrein. De plaatsing van deze pomp kan mogelijk leiden tot hydraulische botsingen (door 2 regelingen die elkaar in de weg zitten). Aansturing van het warmtenet zou voorrang moeten hebben op het recht om terug te leveren. Dit is een afweging tussen collectieve kosten en individuele baten. Voor een werkbare situatie is het van belang dat de afleverset in eigendom en beheer is van de partij die het warmtenet beheert. Verder onderzoek zal nodig zijn naar zowel de technische inrichting als de bijbehorende afspraken tussen de betrokken partijen.



Foto's: kennissessie juni 2024 bij The Green Village (fotografie: Robert Kroonen)

2g. Conclusies en aanbevelingen

In het GO-Zon project is succesvol aangetoond dat de ontwikkelde energy hub effectief in staat is tussen verschillende warmtebronnen (warmtenet en PVT-panelen) te selecteren. In 81% van de gevallen kiest de set de warmste bron, wat leidt tot een zo hoog mogelijk rendement van de warmtepomp. We hebben gezien dat gedurende de meetperiode circa 1/3 van de warmte uit de PVT-panelen is gekomen en 2/3 uit het warmtenet. Ook is succesvol aangetoond dat de energy hub warmte terug kan leveren aan het warmtenet vanuit de PVT-panelen. De totale hoeveelheid teruggeleverde warmte is echter nog zeer beperkt gebleven, dit heeft te maken met de relatief hoge nettemperatuur.

Het systeem heeft naar verwachting gepresteerd en de bewoner heeft gedurende de testperiode een comfortabele warme woning gehad met genoeg warm tapwater.

Vervolgontwikkelingen zullen vooral aandacht moeten geven aan het goedkoper en eenvoudiger produceer- en installeerbaar maken van de energy hub. Daarbij moet beter rekening gehouden worden met de belangen en aansluitvoorwaarden van de netbeheerder. Ook dient de regeling van de energy hub nog worden verbeterd, om te garanderen dat altijd de warmste bron wordt geselecteerd en er ook effectief teruggeleverd kan worden aan het net.

Met name op organisatorisch vlak zijn er nog veel uit te werken met betrekking tot decentrale opwek in warmtenetten en bidirectionele afleversets. Het terugleveren van warmte door verbruikers is momenteel een uitzondering en vereist nieuwe organisatorische modellen en contractstructuren.

De ontwikkeling van warmtenetten naar lagere temperaturen en decentrale structuren wordt gezien als een logische vervolgstap. De bidirectionele afleverset past momenteel niet in de technische aansluitvoorwaarden van de meeste warmtebedrijven, maar er is een sterke voorkeur voor centrale aansturing om leveringszekerheid en systeembalans te garanderen.