



MMIP 4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)

Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma

Update mei 2021

Oorspronkelijke publicatiedatum: 6 september 2019



Samenvatting

Missie en tussendoel

Dit MMIP draagt bij aan de missie: een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050. De gebouwde omgeving bestaat uit woningbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw. De missie binnen dit MMIP is gericht op de ontwikkeling van een aantrekkelijk alternatief voor aardgas, met als tussendoelen in 2030:

- Gestaaft het tempo van de verduurzaming opvoeren tot 200.000 bestaande woningen per jaar.
- 1,5 miljoen bestaande woningen verduurzaamd;
- 15% van de utiliteitsbouw en het maatschappelijk vastgoed verduurzaamd;
- Verduurzaming van de warmtevraag in de glastuinbouw door geothermie, seizoensopslag en lage temperatuur warmtebronnen (1 Mton CO₂-besparing in 2030).
- Dat minimaal 20% van het lokale energiegebruik binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt wordt (in samenwerking met MMIP 2, 3 en 5).

Deze doelen moeten samen een CO₂-besparing van 3,4 Mton in 2030 mogelijk maken ten opzichte van het referentiescenario die bij het Klimaatakkoord gehanteerd wordt. In 2050 moet de gebouwde omgeving volledig CO₂-vrij zijn en geen gebruik meer maken van fossiele brandstoffen voor het verwarmen van gebouwen.

Relatie met Klimaatakkoord

De Sectortafel Gebouwde Omgeving heeft bijgedragen aan de hoofdlijnen van het Klimaatakkoord, en heeft daarbij veel aandacht voor de opgave om een CO₂-neutrale gebouwde omgeving te realiseren. Een groot deel (ongeveer een kwart) van het finale energieverbruik in Nederland wordt gebruikt voor het verwarmen van de gebouwde omgeving¹. De grootste uitdaging binnen deze missie is dan ook om de warmtelevering te verduurzamen. Er zijn meerdere routes om dit doel te realiseren:

- Renovatieconcepten gebaseerd op vergaande isolatie in combinatie met elektrificatie, door middel van warmtepompen, ventilatiesystemen en kleinschalige warmteopslag. Dit wordt beschouwd als een individuele manier van duurzaam verwarmen;
- De ontwikkeling van collectieve warmte en koudenetten met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, bodemwarmte, aquathermie, zonthermie en lage temperatuur restwarmte in combinatie met seizoensopslag van warmte.
- Verschillende combinaties van individuele en collectieve warmteoplossingen met zowel (zeer) lage temperatuur warmtenetten als gebouwmaatregelen voor ruimteverwarming, tapwater en/of warmteopslag.

MMIP 3 draagt bij aan de industrialisatie en opschaling van renovatieconcepten. MMIP 4 richt zich op de ontwikkeling van individuele warmteproductie- en opslagsystemen en op grootschalige collectieve warmtenetten in combinatie met duurzame bronnen en grootschalige opslag van warmte. In MMIP 5 ligt de nadruk op de elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving. Er zijn namelijk ook systeeminnovaties nodig om de gedistribueerde opwekking van elektriciteit te faciliteren, om pieken en dalen af te vlakken, om vraag en aanbod beter met elkaar in

¹ Warmtemonitor 2019. CBS, TNO (2020)



evenwicht te brengen en om slimmer om te gaan met elektriciteitsverbruik via conversie met andere energiedragers en -infrastructuren.

Dit programma heeft als doel om een competitief en aantrekkelijk aardgasvrij aanbod op te schalen voor eindgebruikers in de woningbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw te ontwikkelen. Dit aanbod bestaat onder meer uit de ontwikkeling van een nieuwe generatie apparaten en systemen voor verwarmen, koelen en warm tapwaterbereiding in de bestaande bouw. Die systemen moeten qua omvang, comfort (geluid, thermisch), inpasbaarheid en betaalbaarheid zodanig afgestemd zijn op de gebruikers, dat zij tijdig de eigen verwarming overzetten naar aardgasvrij. Ook moeten ze in onderlinge samenhang met renovatieconcepten worden ontwikkeld.

Warmtepompen zijn belangrijk in gebieden die inzetten op elektrificatie. Ze leveren ruimteverwarming en tapwater in combinatie met (collectieve) lage temperatuur warmtebronnen en dragen (in de hybride varianten) bij aan de transitie naar duurzame warmte. Naast deze individuele oplossingsrichting richt MMIP4 zich ook op het ontwikkelen van een aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor collectieve warmte systemen op wijk- en regionaal niveau. Deze collectieve oplossingen zijn vooral noodzakelijk voor woningen in (binnen)stedelijk gebied, in de utiliteitsbouw en glastuinbouw. Er zijn verschillende temperatuurniveaus van warmteafgifte voor warmte- en koudnetten: hoge temperatuur (HT; >75°C), midden temperatuur (MT; 55 – 75°C), lage temperatuur (LT; 30 – 55°C) en zeer lage temperatuur (ZLT; 10 – 30°C). Ook bij deze collectieve warmtesystemen is grootschalige warmteopslag noodzakelijk om een mismatch tussen beschikbaarheid van warmte en de vraag ernaar te overbruggen op korte en lange termijn. Ook is opslag en buffering van warmte belangrijk om de dimensionering, de kosten en het ruimtegebruik van warmtenetten en installaties te beperken, om efficiënter gebruik te maken van het opgesteld vermogen en om pieken in de warmtevraag op te vangen. Sommige strategieën zien een combinatie van zowel individuele en collectieve warmteoplossingen. Denk aan warmtenetten die een basisbehoefte aan warmte leveren en/of als bron functioneren voor (booster)warmtepompen die de piekvraag en/of tapwater leveren. Van belang bij alle strategieën is het ontwikkelen van integrale systeemoplossingen.

Het ontsluiten van nieuwe, duurzame warmtebronnen is nodig om de sterk groeiende vraag naar duurzame warmte in te vullen. MMIP 4 richt zich vooral op geothermie, lage temperatuur warmtebronnen zoals bodemwarmte, aquathermie, zon-thermische systemen en duurzame vormen van restwarmte van datacentra en supermarkten. Het ontwikkelen van meerdere type warmtebronnen met een verscheidenheid aan temperatuurniveaus, vraagt om nieuwe inzichten in het ontwerp van het warmtesysteem en om het slim aansturen van vraag, aanbod en opslag. Om te kunnen werken bij lage temperaturen, wordt een afweging gemaakt over de hele keten. Er zullen optima gezocht moeten worden tussen bijvoorbeeld het isoleren van woningen en het temperatuurregime van de geleverde warmte. De innovaties zijn bovendien zowel sociaal als technisch sterk onderling verbonden.

In totaal is er in de periode 2019-2021 €25.846.902 euro gegaan naar 35 gestarte of lopende projecten die aan de doelstellingen van MMIP4 werken.



In het afgelopen jaar zijn flinke stappen gezet in het doorontwikkelen van (hoge temperatuur) warmtepompen en warmtepompsystemen. Vorig jaar is er een succesvolle implementatie geweest van een industriële hoge temperatuur luchtwarmtepomp met een natuurlijk koudemiddel voor het verwarmen van een appartementengebouw. Ook zijn er eerste proof of concepts ontwikkeld voor de thermo-akoestische en de free-piston Stirling heat pump. Qua tapwatersystemen is er een plug-n-play douchecabine op de markt gekomen met een warmteterugwinning van 85% die alleen een koudwateraansluiting nodig heeft en een plug-n-play douche-wtw die zonder verbouwing 40% van de warmte kan terugwinnen. Ook zijn er ontwikkelingen op het gebied van gestratificeerd boilers en liggende vaten met een betere ruimte-inpassing. Met betrekking tot ventilatiesystemen is er een systeem met wtw op de markt gebracht waar luchttoevoer en afvoer via het trapgat plaatsvindt. Op het gebied van kleinschalige warmteopslag vinden er ook veel ontwikkelingen plaats. Eind 2020 zijn 164 boilers in een appartementengebouw vervangen met compacte, zoutgevulde PCM-systemen. Er vonden ook demonstraties plaats van een nieuw soort systeem met voelbare warmteopslag in basalt. Voor de TCM-zoutbatterij worden belangrijke stappen gezet naar een proof of concept in het lab en het oplossen van uitdaging rondom stabiliteit van de materialen

Binnen het WarmingUP consortium zijn er al eerste deliverables verschenen voor verschillende warmtenetthema's. Zo zijn er 11 proeftuinen gestart die met (Z)LT of MT-warmtenetten met een LT-bron aan de slag gaan of meerdere bronnen combineren zoals bodemwarmte met zonthermie. Daarnaast is er in 2020 de eerste test-opstelling geplaatst van een warmtenet met een WKO en decentrale zonthermie als warmtebron. Ook is er een concept op de markt geïntroduceerd met een LT-warmtenetconcept die pijpleidingen via de dakgoten aanlegt om zo op kosten te besparen die normaal gemaakt worden bij het graven en aanleggen van leidingen. Op verschillende plekken in het land worden nog meer warmte- en koudenetten ontworpen (zoals in Amsterdam en Apeldoorn) of gebouwd (zoals in Heerhugowaard). Binnen het WarmingUP consortium hebben ook de eerste verkenningen plaatsgevonden voor demonstratielocaties voor HT-warmteopslag en proefboringen worden in 2021 verwacht. In de Proeftuinen zijn er bovendien twee aanvragen voor Vlieland en Nagele waar een ondergrondse wijkopslag in combinatie met zonthermie is voorzien.

Met betrekking tot geothermie zijn er nu ongeveer 25 actieve doubletten in operatie in Nederland. Deze projecten generen vooral warmte voor de glastuinbouw. Op meer dan 10 locaties is een geothermiesysteem in ontwikkeling of wordt de haalbaarheid onderzocht, voornamelijk voor de gebouwde omgeving. Op het gebied van lage temperatuur warmtebronnen zijn er veel projecten afgerond en begonnen. Op gebouwniveau vinden vooral veel ontwikkelingen plaats over het optimaliseren van warmtepompsystemen in combinatie met warmteopslag (ijsbuffers of bodemlussen) en bodemwarmte of zonthermie. In 2020 is er bijvoorbeeld een systeem op de markt gebracht waar warmte wordt teruggewonnen uit afvalwater op gebouwniveau. Deze warmte kan dan dienen als bron voor een warmtepomp. Op gebiedsniveau zijn er projecten op alle vier de warmtebrontypes onder MMIP 4: bodemwarmte, aquathermie, zonthermie en lage temperatuur restwarmte. Vanaf het najaar 2020 is het mogelijk ook SDE++ subsidie aan te vragen voor aquathermieprojecten. En in februari 2020 is de aquathermieviewer gelanceerd.



Voor de totstandkoming van het MMIP4 programma laat TKI Urban Energy zich adviseren door een Programma Advies College (PAC) dat tenminste twee keer per jaar bijeenkomt. In het colofon is een overzicht van de leden opgenomen.



Leeswijzer: MMIP4 Update van 2021

In mei 2021 is een geheel herziene versie van MMIP4 gepubliceerd.

Er is extra aandacht voor:

- Een nieuwe structuur van de deelprogramma's: Inleiding, Huidige stand van zaken, Knelpunten en benodigde innovaties en Aandachtspunten voor beleid;
- Opname van een nieuwe sectie over de integratie van de combinatie van de in de deelprogramma's beschreven technieken in systeemconcepten (begin van hoofdstuk 2);



Inhoudsopgave

1. Inleiding	9
Totstandkoming van MMIP4	9
Doel MMIP	11
Korte beschrijving van de deelprogramma's	11
Samenhang tussen deelprogramma's, andere MMIP's en andere programma's	18
Samenhang tussen deelprogramma's	18
Samenhang met andere MMIP's	19
Samenhang met andere innovatieprogramma's	22
2. Beschrijving van de deelprogramma's	23
Integrale installaties voor de warmte- en koudeketen in de gebouwde omgeving	23
Deelprogramma 1: warmtepompen	25
Deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen	33
Deelprogramma 2.1: afgiftesystemen	33
Deelprogramma 2.2: tapwatersystemen	37
Deelprogramma 2.3: ventilatiesystemen	40
Deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag	43
Deelprogramma 4: duurzame warmte- en koudenetten	47
Deelprogramma 5: grootschalige warmteopslag	54
Deelprogramma 6: geothermie	61
Deelprogramma 7: lage temperatuur warmtebronnen	69
Deelprogramma 7.1: bodemwarmte	71
Deelprogramma 7.2: aquathermie	74
Deelprogramma 7.3: zonthermie	76
Deelprogramma 7.4: lage temperatuur restwarmte	81
3. Doorsnijdende thema's	85
Digitalisering	85
Human Capital Agenda	86
Maatschappelijk Verantwoord Innoveren	87
Circulariteit	87
4. Opzet van het innovatieprogramma	89
Meerjarige missiegedreven aanpak	89
Instrumenten en financiering	89
Monitoring en evaluatie	93
Valorisatie, marktcreatie en wettelijke kaders	94
Valorisatie en marktcreatie	94
Wettelijke kaders	95
Standardisatie en normering	96
Communicatie, leren en disseminatie	97
Uptempo	97
Meer informatie	97



Samenwerking in regionale en internationale context	97
Samenwerking in regio's	97
Internationale link	98
5. Colofon	100



1. Inleiding

Totstandkoming van MMIP4

Dit MMIP hoort bij het programma van de sectortafel Gebouwde Omgeving en draagt bij aan missie B waarin wordt gestreefd naar een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050. Als tussenstap voor deze missie, moet in 2030 1,5 miljoen woningen en 15% van de utiliteitsbouw en het maatschappelijk vastgoed verduurzaamd worden. Het tempo moet naar minimaal 200.000 verduurzaamde bestaande woningen per jaar. Warmtesystemen zullen een belangrijke rol spelen om dit doel te behalen omdat een groot deel van de huidige energievraag in de gebouwde omgeving van warmte komt en er een toenemende vraag naar koeling is.

Dit MMIP richt zich op technische en socio-economische innovatie voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen binnen woningen, utiliteitsbouw en glastuinbouw. Voor het opstellen van dit programma laat TKI Urban Energy zich adviseren door een Programma Advies College (PAC). De leden zijn opgenomen in het colofon.

Binnen MMIP4 zal het innovatieprogramma zich vooral gaan richten op de toepasbaarheid in de bestaande (bewoonde) situaties. Systeemintegratie is hierbij het sleutelbegrip: een *standalone* warmtepomp zal geen significante bijdrage leveren aan de missie als er niet ook wordt gewerkt aan de combinatie met bijvoorbeeld een collectieve duurzame warmtebron en een (kleinschalig) opslagmedium waarmee de pieken in vraag en aanbod kunnen worden opgevangen.

Het MMIP bestaat uit zeven deelprogramma's: (1) warmtepompen, (2) afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen, (3) kleinschalige warmteopslagsystemen, (4) duurzame warmte- en koudenetten, (5) grootschalige thermische opslag, (6) geothermie en (7) lage temperatuur warmtebronnen zoals bodemwarmte, aquathermie, zonthermie en lage temperatuur restwarmte. Deelprogramma's 1 tot en met 3 kunnen gezien worden als deelcomponenten voor individuele gebouwoplossingen en deelprogramma's 4 tot en met 7 als deelcomponenten voor collectieve gebiedsoplossingen. Echter vraagt de warmtetransitie om de ontwikkeling van integrale systeemconcepten met deelcomponenten uit meerdere of alle deelprogramma's. Het ontwikkelen van systeemconcepten met verschillende gebouw-, gebiedsoplossingen, warmtebronnen en organisatievormen wordt steeds belangrijker om de doelen van een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050 te realiseren.

Met behulp van de innovaties binnen dit MMIP, kunnen vastgoedbezitters, gemeenten en huiseigenaren de mogelijkheid hebben tot duurzame warmte voor elk type gebouw, wijk of bedrijventerrein. De uitvoering van de deelprogramma's vraagt om intensieve samenwerking tussen gemeenten, energiebedrijven, bouw- en installatiesector, kennisinstituten en gebouweigenaren. Alleen samen kunnen we het doel bereiken om een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050 te realiseren.



Hoofdstuk 1 van dit rapport bevat het doel van dit MMIP, korte beschrijvingen van de deelprogramma's en toelichtingen over de samenhang tussen verschillende deelprogramma's, de samenhang van dit MMIP met andere MMIP's uit het Klimaatakkoord en de samenhang met andere innovatieprogramma's in de energiesector. In hoofdstuk 2 kunnen uitgebreide beschrijvingen van alle deelprogramma's gevonden worden. Voor elk deelprogramma of sub-deelprogramma worden de huidige stand van zaken, knelpunten, benodigde innovaties en aandachtspunten voor beleid toegelicht. Hoofdstuk 3 gaat over de doorsnijdende thema's van de Topsector Energie: digitalisering, Human Capital Agenda (HCA), Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI) en circulariteit. Om de doelen voor 2030 en 2050 uit het Klimaatakkoord te halen is het van belang dat er vanuit alle MMIP's integrale, systeemconcepten worden ontwikkeld die rekening houden met deze doorsnijdende thema's. Hoofdstuk 4 vertelt in algemenere lijnen over het opzet van het innovatieprogramma. In dit hoofdstuk worden onderwerpen besproken als de meerjarige missiegedreven aanpak, instrumenten, financiering, monitoring, evaluatie, valorisatie, markt creatie, wettelijke kaders, standardisatie, normering, communicatie, leren, disseminatie en samenwerking in regionale en internationale context. Voor de totstandkoming van het MMIP4 programma laat TKI Urban Energy zich adviseren door een Programma Advies College (PAC) dat tenminste twee keer per jaar bijeenkomt. In het colofon in Hoofdstuk 5 is een overzicht van de leden opgenomen. Hier staan ook de namen van andere mensen die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit bestand.



Doel MMIP

Het MMIP4-programma spreidt zich uit over de gehele TRL-schaal en vereist een gecoördineerde meerjarige onderzoeks- en ontwikkelingsinspanning van integrale consortia. In meerjarige missiegedreven deelprogramma's zullen partijen zich committeren tot het behalen van de doelen uit het Klimaatakkoord en zullen ze afspraken maken over het te doorlopen innovatieproces. Onderdeel van het MMIP zijn daarnaast korter lopende projecten om de gewenste ontwikkeling in de markt te ondersteunen. De resultaten van fundamenteel en ontwikkelingsonderzoek uit de meerjarige deelprogramma's en de korter lopende innovatieprojecten voeden de projecten in de demo- en proeftuinfase. Bij alle TRL-fases worden effectieve samenwerkingen en kennisdisseminatietrajecten binnen het innovatiesysteem georganiseerd. Enthousiasme en belangen van gebruikers en andere stakeholders moeten als een belangrijk ontwerpuitgangspunt worden beschouwd. Zo moet er transparante communicatie ontstaan over de kosten en prestaties van technieken naar eindgebruikers en gebouwdeigenaren. Naast valide toetsingsprocedures vooraf en monitoring bij de eerste toepassingen, zijn goede inbreng van gebruikerspanels of vertegenwoordigers van gebruikers essentieel voor het minimaliseren van problemen bij de marktintroductie.

Meer specifiek zijn dit de doelen:

- Het realiseren van integrale, warmte en koudeconcepten op basis van gebouwmaatregelen (zoals warmtepompen, kleinschalige warmteopslag, afgifte-, tapwater en ventilatiesystemen) in (mogelijke) combinatie met gebiedsmaatregelen (warmte- en koudenetten in combinatie met grootschalige warmteopslag) en warmtebronnen zoals geothermie, bodemwarmte, aquathermie, zonthermie en lage temperatuur restwarmte.
- De toepasbaarheid in bestaande situaties (compact, stil, installatie- en gebruiksgemak, ruimtegebruik, lage gebruikskosten, e.d.);
- De beschikbaarheid van technieken tegen een lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50% voor individuele oplossingen en 15% voor collectieve systemen in 2025 ten opzichte van de kosten anno 2020); het MMIP als geheel streeft naar ten minste 20-40% kostenreductie vóór 2030;
- Een tempoverhoging naar aardgasvrij (aantrekkelijkheid, aanlegmethodes, installatiegemak, industrialisatie, e.d.);
- Het realiseren van integrale, warmte- en koudeconcepten die rekening houden met aspecten van doorsnijdende thema's zoals digitalisering, Human Capital Agenda, Maatschappelijk Verantwoord Innoveren en circulariteit.

Korte beschrijving van de deelprogramma's

Dit MMIP richt zich op technische en socio-economische innovatie voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen binnen woningen, utiliteitsbouw en glastuinbouw. Binnen MMIP4 zijn zeven deelprogramma's geformuleerd die verschillende innovatie-



uitdagingen hebben. De deelprogramma's werken nauw samen om de missie voor dit MMIP te behalen. De volgende deelprogramma's zijn geformuleerd:

1. Warmtepompen
2. Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen
3. Kleinschalige warmteopslagsystemen
4. Duurzame warmte- en koudenetten
5. Grootschalige thermische opslag
6. Geothermie
7. Lage temperatuur warmtebronnen

Deelprogramma's 1 tot en met 3 kunnen gezien worden als deelcomponenten voor individuele gebouwoplossingen en deelprogramma's 4 tot en met 7 als deelcomponenten voor collectieve gebiedsoplossingen. Echter vraagt de warmtetransitie om de ontwikkeling van integrale systeemconcepten te ontwikkelen met deelcomponenten uit meerdere of alle deelprogramma's. Het ontwikkelen van systeemconcepten met verschillende gebouw-, gebiedsoplossingen, warmtebronnen en organisatievormen wordt steeds belangrijker om de doelen van een aardgasvrije gebouwde omgeving in 2050 te realiseren.

De ambities en activiteiten per deelprogramma zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Daarnaast wordt er een planning gegeven van deze activiteiten en de huidige TRL-niveau waar de innovaties van deze activiteiten zich in bevinden. Een deel van de innovatieopgaves benoemt in dit innovatieprogramma wordt al aan opgepakt in innovatieprojecten. Voor een overzicht van de actuele zaken zie de projectendatabase van [Topsector Energie](#), waarin bestaande en afgeronde innovatieprojecten staan.



Innovatieopgaven	Ambitie 2030	Stappen/ Activiteiten	Planning			Huidig TRL-niveau					
			'20-' '23	'23-' '26	'26-' '30	1-3	4-6	7-8	9-9+		
4.1. Warmtepompen	<ul style="list-style-type: none"> - Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten - Geluidsproductie verlagen - Rendementen verhogen: verwarming, warm tapwater en koeling - Compacter maken van warmtepompsystemen - Versimpelen en versnellen van het installatieproces met gebouwintegratie en plug-n-play concepten - Milieudruk van warmtepomp koudemiddelen verlagen 	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, stillere, geoptimaliseerde compressiewarmtepompsystemen met kleinschalige warmteopslag, warmteafgifte, tapwatersystemen, ventilatie met lage temperatuur warmtebronnen en/of gevoed door (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten.						↔	↔		
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van goedkopere, stillere, en efficiëntere compressiewarmtepompen met natuurlijke koudemiddelen.					↔	↔	↔		
		Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van compactere, plug-n-play en/of gebouw geïntegreerd concepten voor alle soorten warmtepompsystemen zodat ze eenvoudig te installeren en onderhouden zijn.						↔	↔		
		Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van warmtepompsystemen zonder koudemiddel die goedkoper, efficiënter, stiller, compacter, een groter temperatuurbereik hebben en/of geen/minder koudemiddel hebben dan conventionele compressiewarmtepompsystemen (zoals thermo-akoestische, free-piston Stirling motor, magneto-calorische en ad/absorptie warmtepompen).				↔	↔				
4.2. Afgifte-, tapwater en ventilatiesystemen	<ul style="list-style-type: none"> - Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten - Efficiëntie verbeteren van lage temperatuur afgiftesystemen voor ruimteverwarming en -koeling, 	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde warmteconcepten voor gebouwen met op elkaar afgestemde lage temperatuur ruimteverwarming en -koeling, tapwater met WTW en (kook)ventilatiesystemen met WTW. Tijdens deze ontwikkeling dient er ook rekening te worden gehouden met warmte- en koudelevering van (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten.						↔	↔		

	<p>tapwatersystemen met WTW en ventilatiesystemen met WTW.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geluidsproductie verlagen van afgifte en ventilatiesystemen - Versimpelen en versnellen van het installatieproces met gebouwinTEGRATIE en plug-n-play concepten 	<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van stillere, esthetisch aantrekkelijkere, compactere en/of gebouw geïntegreerde deelcomponenten voor afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen die eenvoudig te installeren en te onderhouden zijn.</p>					↔	↔	↔	
		<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van systemen die goedkoper, efficiënter, stiller, compacter en/of eenvoudiger te installeren te zijn dan huidige systemen. Voorbeelden zijn buffervaten met PCM's of TCM's, ventilatiesystemen zonder kanalen en passieve ventilatiesystemen.</p>					↔	↔	↔	
4.3. Kleinschalige warmteopslag-systemen	<ul style="list-style-type: none"> - Systeemintegratie optimaliseren van voelbare warmte en PCM-opslagsystemen (korte termijn) - Demonstreren en implementeren van TCM-opslagsystemen die goedkoop en met gegarandeerde prestatie op industriële schaal geproduceerd kunnen worden (lange termijn) - Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten - Rendementen van opslagsystemen verhogen: minder warmteverliezen en hogere all-round efficiency - Versimpelen en versnellen van het installatieproces met gebouwinTEGRATIE en plug-n-play concepten 	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde voelbare warmte en PCM-opslagsystemen.</p>						↔	↔	
		<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van compactere voelbare warmte en PCM-opslagcomponenten die geïntegreerd zijn in gebouwdelen en makkelijker te installeren en onderhouden zijn.</p>						↔	↔	
		<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van TCM-opslagsystemen door materiaal optimalisatie en het verbeteren van (gegarandeerde) mechanische stabiliteit. Ook belangrijk is het (door)ontwikkelen van goedkoper, grootschalige productieprocessen zodat TCM's snel geïmplementeerd kunnen worden zodra ze een bewezen technologie zijn. Het einddoel is om TCM-opslagsystemen te demonstreren in gebouwen in pilot of demonstratieprojecten.</p>					↔	↔	↔	
		<p>Activiteit 5: Identificeren van optimale configuratie(s) voor systeemintegratie van kleinschalige warmteopslag in het lokale en centrale energiesysteem en het ontwikkelen van regel strategieën voor deze configuraties.</p>							↔	↔
		<p>Activiteit 6: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe, goedkopere, efficiëntere en/of compactere opslagsystemen met een (mogelijk) grotere capaciteit zoals opslag met redox principes of voelbare warmteopslag in basalt, magnetiet, vloeibaar cement of andere materialen.</p>							↔	↔

4.4. Duurzame warmte- en koudenetten	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstreren en energetisch optimaliseren van (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten met meerdere configuraties, (meerdere) lage temperatuur warmtebronnen en nieuwe vormen van governance. - De onrendabele top van (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten verlagen. - De efficiëntie van (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten verbeteren. - Aanlegprocessen voor (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten versnellen en wijkoverlast verminderen - Toepasbaarheid vergroten en kwaliteit verbeteren van keuzetools, ontwerpprocessen en uitrolmodellen voor (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten. 	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde configuraties van (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten met gedistribueerde warmtebronnen en rekening houdend met gebouwmaatregelen als isolatieniveau en (booster) warmtepompen. Optimalisatie houdt onder andere in: aanbodsturing warmte én (toenemende) koude vraag, onderling uitwisseling op gebiedsniveau, opslag, regelstrategieën en piekoplossingen voor kostenreductie.					↔	↔	↔
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe governance en organisatievormen met verdienmodellen voor (verschillende) partijen die ook het maatschappelijk draagvlak voor (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten vergroten.					↔	↔	↔
		Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van goedkopere, snellere en minder overlastende aanleg- en onderhoudsmethoden voor (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten.					↔	↔	↔
		Activiteit 4: (Door)ontwikkelen van methodes en technieken om warmteverliezen te verminderen en efficiëntie voor warmtetransport en -afgifte te verhogen.					↔	↔	↔
		Activiteit 5: (Door)ontwikkelen van keuzetools, ontwerpprocessen en (modulaire, flexibele) uitrolmodellen die de doorlooptijd van warmtenetprojecten verminderen en de toekomstbestendigheid en flexibiliteit van het systeem verbeteren.						↔	↔
4.5 Grootschalige thermische opslag	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstreren en systeemintegratie verbeteren van grootschalige warmteopslagsystemen - Systeemkosten verlagen: productie-, investering-, aanleg-, en onderhoudskosten - Systeemrendementen verbeteren. 	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van bovengronds en ondergrondse systemen met voelbare warmteopslag in water en verbeterde systeemintegratie met midden- en (zeer) lage temperatuur warmte- en koudenetten.					↔	↔	
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige voelbare warmteopslag in andere materialen dan water of PCM's die goedkoper, efficiënter en/of compacter zijn dan grootschalige systemen met voelbare warmteopslag in water.					↔	↔	

	- Ruimtegebruik van grootschalige warmteopslagsystemen verminderen	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige voelbare warmteopslag in TCM's zodra dit een bewezen technologie is op kleine schaal en dit goedkopere, efficiëntere en/of compactere systemen zijn dan systemen met voelbare warmteopslag in water.				↔	↔		
4.6 Geothermie	- Demonstreren en systeemintegratie verbeteren van geothermiesystemen - Systeemkosten voor geothermie verlagen: exploratie-, investering-, aanleg-, installatie-, operatie- en onderhoudskosten. - De toepassing van geothermiesystemen versnellen en opschalen. - De efficiëntie en broeikasgas uitstoot van geothermiesystemen te verbeteren. - Ruimtegebruik van geothermiesystemen verminderen.	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van (huidig) toegepaste doublet geothermieconcepten in combinatie met warmte- en koudenetten en met oog voor het verbeteren en optimaliseren van: kosten, efficiëntie, broeikasgas uitstoot, ruimtegebruik, bronduur en project doorlooptijd					↔	↔	↔
		Activiteit 2: Verder verkennen van de ondergrond en verkleinen van het risico op misboringen.					↔	↔	↔
		Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe geothermiesystemen die goedkoper, efficiënter, dieper, emissiearmer, compacter, succesvoller en sneller geïmplementeerd kunnen worden dan gangbare doublet geothermiesystemen.				↔	↔		
4.7 Lage temperatuur warmtebronnen	- Systeemkosten voor lage temperatuur warmtebronnen verlagen: productie-, investering-, aanleg-, installatie-, en onderhoudskosten - De toepassing van lage temperatuur warmtebronnen in (gecombineerde) individuele en collectieve warmtesystemen versnellen en opschalen. - Systeemintegratie verbeteren van lage temperatuur warmtebronnen in (gecombineerde) individuele en collectieve warmtesystemen.	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van bodemwarmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie en lagere milieueffecten.					↔	↔	↔
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van aquathermie warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie en lagere milieueffecten.					↔	↔	↔
		Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van zonthermie warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling en systeemintegratie					↔	↔	↔
		Activiteit 4: (Door)ontwikkelen van lage temperatuur restwarmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen					↔	↔	↔

		met oog voor kostenverlaging, opschaling, systeemintegratie en stabiele, lange termijn warmtelevering van de bron.							
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Samenhang tussen deelprogramma's, andere MMIP's en andere programma's

Samenhang tussen deelprogramma's

Binnen dit MMIP zijn zeven deelprogramma's met innovatieopgaves geformuleerd. De deelprogramma's staan niet op zichzelf, maar zijn inherent met elkaar verbonden. De deelprogramma's kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën: 1) individuele conversie/opwekking en distributie achter de meter, 2) collectieve conversie/opwekking en distributie voor de meter en 3) combinaties van collectieve oplossingen met individuele afgiftesystemen achter de meter.

Individuele conversie/opwekking en distributie achter de meter

In deelprogramma (DP) 1 over warmtepompen worden innovaties ontwikkeld waarmee duurzame warmte/koude kan worden opgewekt naar de gewenste comforttemperatuur. Warmtepompen produceren warmte en onttrekken warmte uit de buitenlucht, uit de grond via een bodemwarmtewisselaar (BWW) of uit water via een (zeer) lage temperatuur warmtenet of bronnet. BWWs en bronnetten kunnen in de zomer ook functioneren als koudebron voor koeling. Een warmtepomp wordt efficiënter bij een zo laag mogelijke afgifte van temperatuursystemen. Daarom wordt in DP2 gekeken naar lage temperatuur afgiftesystemen in combinatie met ventilatie en zuinigere tapwatersystemen. Om piekvragen naar warmte op te vangen, kan er dan gebruik gemaakt worden van een warmtebuffer. DP 3 richt zich op de ontwikkeling en optimalisatie van kleinschalige warmteopslagmethoden om onder andere de warmte op een compactere manier op te kunnen slaan. Ook gebouwmassa kan gezien worden als een opslagmethode, maar is in dit deelprogramma niet meegenomen. Een andere focus binnen dit DP is de systeemintegratie, waardoor kleinschalige warmteopslag kan worden geconfigureerd in het lokale energiesysteem. Door middel van slimme sturing kan de buffer helpen bij de flexibilisering van het net. Als er elektriciteitsoverschotten zijn, dan kan de buffer helpen met het ontlasten van het net.

Collectieve conversie/opwekking en distributie voor de meter

Collectieve warmtevoorziening richt zich op de verduurzaming van bestaande warmte- en koudenetten en op de ontwikkeling van nieuwe warmtenetten. Binnen warmte- en koudenetten zijn er grote verschillen in:

- Schaal (wijkniveau tot regionaal warmtenet);
- Afname en temperatuurniveau (hoog, midden, laag en zeer laag);
- Beschikbaarheid van duurzame warmtebronnen (aquathermie, zonthermie, restwarmte, geothermie, biomassa, (bio)gas);
- Beschikbaarheid van grootschalige mogelijkheden voor opslag (aquiferopslag).

Een goed begrip van de eigenschappen van de verschillende warmtebronnen, buffers en het gedrag van gebruikers is cruciaal voor een effectief ontwerp en aansturing van warmtenetten. Dit is cruciaal om de betaalbaarheid en leveringszekerheid van het warmtesysteem te waarborgen. Binnen DP 4 (Warmtenetten) is systeemintegratie het belangrijkste onderwerp en is input noodzakelijk vanuit DP 5 (Grootschalige opslag), DP 6 (Geothermie) en DP 7 (lage temperatuur warmtebronnen). Daarnaast richten

deze deelprogramma's zich op kostenverlaging, veiligheid en milieuaspecten zoals levensduur en bescherming van het (grond)water. Ook is er een belangrijke link met MMIP 3. Het gewenste temperatuurniveau is sterk afhankelijk van het renovatieconcept van de woning of wijk.

Combinaties van collectieve en individuele oplossingen

Dit thema heeft relaties met bovenstaande onderwerpen. Distributie vanuit een collectieve warmtebron heeft altijd een individuele component. Dit kan zijn de distributie van warmte in de woning door middel van CV-leidingen of een warmtenet naar alle woningen. Bij (zeer) lage temperatuur warmtenetten en bronnetten moet vaak de warmte nog worden opgewaardeerd. Dit kan door middel van bijvoorbeeld een (booster)warmtepomp. Deze warmtepomp kan worden geïnstalleerd voor (een deel) van de wijk of per huishouden. Dit maakt de keuze voor individuele afgifte van warmte anders. Per wijk zal bepaald moeten worden wat de meest geschikte oplossing is. Kleinschalige warmteopslag zal hierop inspelen door de warmtepomp en het warmte- en elektriciteitsnet beter te laten functioneren en door zuiniger te dimensioneren.

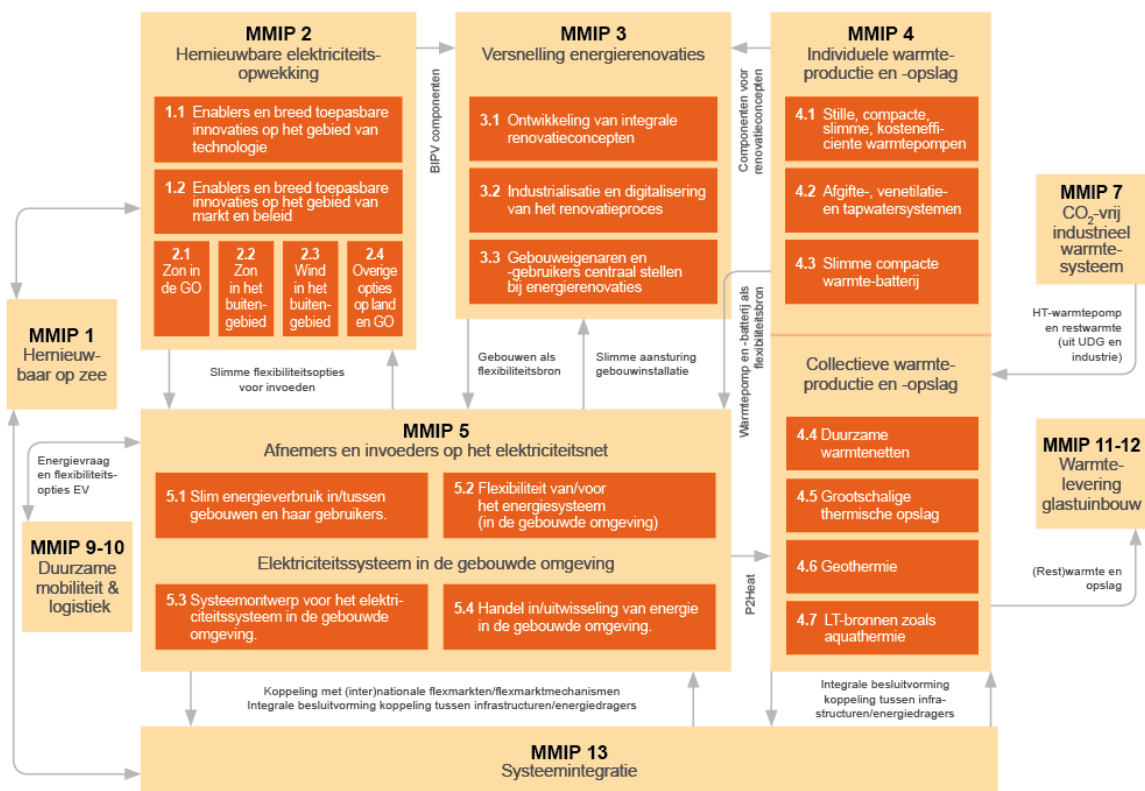
Samenhang met andere MMIP's

De volgende samenhang kan worden gevonden tussen de verschillende deelprogramma's. Dit is ook grafisch weergegeven in onderstaand figuur.

- In MMIP 2 (Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving) worden innovaties ontwikkeld voor het op land en in de gebouwde omgeving opwekken van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Eén van de oplossingen zijn zon-PV systemen gecombineerd met zonnewarmte (PVT-systemen). Dit soort systeem kunnen ook geïntegreerd worden in het dak of de gevel.
- In MMIP 3 (Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving) wordt 'het duurzaam renovatiepakket', een combinatie van verbeterde schilisolatie en verduurzaamde installatie, ontwikkeld, opgeschaald en ingepast. Een deel van deze concepten wordt in andere MMIP's ontwikkeld zoals warmtepompen (MMIP 4), warmteopslagsystemen (MMIP 4), warmte-afgiftesystemen voor warmtenetten (MMIP 4), zonnestroomsystemen (MMIP 2) en batterijsystemen (MMIP 5). In MMIP 5 worden energiemanagementsystemen voor het slim aansturen van deze componenten ontwikkeld. Deze helpen om flexibiliteit te ontsluiten en tot waarde te maken.
- MMIP 5 (Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving) richt zich op het ontwikkelen van oplossingen voor en het faciliteren van een betrouwbaar, efficiënt, betaalbaar, slim, integraal en maatschappelijk gedragen systeem van opwek, opslag, conversie, transport en gebruik van elektriciteit in de gebouwde omgeving. MMIP 2, 3 en 4 ontwikkelen oplossingen die zorgen voor een elektrificatie van het lokale energiesysteem. MMIP 5 komt met slimme oplossingen om deze transitie te faciliteren, en draagt oplossingen aan om de potentieel beschikbare flexibiliteit vanuit deze ontwikkelingen te ontsluiten en tot waarde te maken.
- MMIP 7 (CO₂-vrij industrieel warmtesysteem) richt zich op het verduurzamen van de warmtevraag van de industrie. Binnen MMIP 7 richten 2 deelprogramma's zich

op Ultra Diepe Geothermie (UDG) en industriële warmtepompen. Innovaties in boortechneken, exploratietechnieken en materialen voor UDG zijn ook relevant voor de gebouwde omgeving. Er zijn zes UDG-projecten die zijn verbonden aan de 'Green Deal UDG', zij zorgen voor warmtelevering (cascadering) aan collectieve warmtenetten. Industriële warmtepompen kunnen in de gebouwde omgeving worden ingezet om temperaturen op te waarden die door geothermie-projecten worden geproduceerd. Dit is vooral relevant voor het verduurzamen van de glastuinbouwsector en van de bestaande netten die veelal op hogere temperaturen zijn uitgelegd.

- MMIP 13 (Systeemintegratie) richt zich op de transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstoffen gebaseerde energiesysteem naar een hybride (2030) en duurzaam (2050) en maatschappelijk gedragen geïntegreerd energiesysteem. Collectieve warmtenetten kunnen worden ingezet om het elektriciteitsnet te balanceren. Op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is, kunnen warmtepompen worden aangestuurd en kunnen grootschalige seizoensbuffers voor warmte-opslag worden geladen. Het is van belang dat deze optie wordt meegenomen en wordt afgezet tegen andere alternatieven zoals waterstofproductie en grootschalige opslag of conversie.



Specifiek op de volgende onderwerpen is er interactie tussen de verschillende MMIP's die zich richten op de gebouwde omgeving:

Element	Aanleverende MMIP	Ontvangende MMIP
PVT	MMIP 2 ontwikkelt gecombineerde zonnestroom- en	MMIP 4 ontwikkelt het grootschalig toepassen van PVT

	zonthermiesysteemcomponenten die geïntegreerd kunnen worden in bouwdelen.	als warmtebron en integreert deze bron in collectieve warmtesystemen.
Individuele warmteproductie en -opslagsystemen	MMIP 4 ontwikkelt warmtepompen en-opslagsystemen.	MMIP 3 integreert deze systemen als module van renovatieconcepten/-pakketten en/of als onderdeel van een geïntegreerde installatie van geveldelen (second skin).
Collectief slim warmte- en koudenet met opwekking en opslag	MMIP 4 ontwikkelt de systemen tot commerciële oplossingen.	MMIP 3 integreert de systemen in de renovatieconcepten. Zorgt dat integratiepartijen (fabrieken) systemen integreren in renovatieconcepten /pakketten. MMIP 5 integreert warmte-oplossingen in het energiesysteem
P2Heat	MMIP 5 werkt aan oplossingen voor opslag en conversie van elektrische energie. Eén route is het omzetten van elektrische overschotten in warmte (P2Heat).	MMIP 4 incorporeert P2Heat-oplossingen als warmtebron en buffer die toegepast kunnen worden in slimme warmtenetten.
Industriële (HT) warmtepompen	MMIP 7 werkt aan industriële warmtepompen. Deze zijn ook van belang voor de gebouwde omgeving voor het opwaarderen van warmte uit geothermie naar bestaande (HT) netten.	MMIP 4 richt zich op het integreren van warmtepompen in warmtenetwerken met duurzame bronnen zoals geothermie
Ultra Diepe Geothermie (UDG)	MMIP 7 werkt aan de ontwikkeling van UDG. Innovatieve technieken voor UDG zijn ook relevant voor conventionele geothermie voor de gebouwde omgeving.	MMIP 4 richt zich op de integratie van industriële restwarmte (waaronder UDG).
Koppeling Elektriciteitsnetwerk met warmtenetwerk (Power2heat)	MMIP 13 werkt aan systeemintegratie en energieopslag. Warmtenetwerken kunnen bijdragen aan het balanceren van de E-netwerken.	MMIP 4 richt zich op verdienmodellen en systeemintegratie voor Power2Heat toepassingen.

Samenhang met andere innovatieprogramma's

Er is een duidelijke relatie tussen MMIP 4 en de kennisagenda van het BTIC-programma Integrale Energietransitie Bestaande Bouw en de Kennisagenda Energie in de Gebouwde Omgeving en de onderliggende Vraaggestuurde Programma's van TNO. Deze kennisagenda's worden in onderlinge samenhang ontwikkeld. Deze afstemming vindt plaats door deelname van deze partijen in het Programma Advies College, de BTIC-raad, het halfjaarlijks overleg tussen TNO en BZK en kwartaaloverleg tussen TKI Urban Energy en TNO.

Daarnaast is er een link met het Waterstofprogramma dat voorziet in 5 pilots in de Gebouwde Omgeving tot 2025.

2. Beschrijving van de deelprogramma's

In dit hoofdstuk zal per deelprogramma dieper worden ingegaan op de huidige stand van zaken, de knelpunten en innovatievragen en de aandachtspunten voor beleid. Als start wordt ingegaan op het belang van de integratie van de diverse losse technieken in systeemconcepten.

Integrale installaties voor de warmte- en koudeketen in de gebouwde omgeving

In de laatste jaren van de warmtetransitie wordt het duidelijk dat het “binair denken” over individuele en collectieve aanpakken niet in alle situaties toepasbaar is. Het is steeds meer van belang om innovatieve, integrale systeemconcepten te ontwikkelen voor de gehele warmte- en koudeketen waar verschillende technieken gecombineerd worden en rekening wordt gehouden met belangrijke randvoorwaarden. Voorbeelden van zulke randvoorwaarden zijn sociaal-maatschappelijk draagvlak creëren, maatschappelijk verantwoord innoveren, circulariteit van gebruikte materialen, digitalisering en het versterken van de Human Capital Agenda (zie hoofdstuk “3 Doorsnijdende thema's”). En dat de warmte-koude-keten ook kansen biedt aan andere MMIP's (zie hoofdstuk “1.4.2 Samenhang met andere MMIP's”).

Het is bovendien van belang om warmte-koude systemen integraal te ontwerpen en de complexiteit te reduceren. Bijvoorbeeld door voor diverse gebouw/gebiedstypen gestandaardiseerde systemen te ontwerpen die plug-and-play kunnen worden toegepast. In veel gevallen is dit met de huidige stand van de technologie nog niet goed mogelijk. Individuele technieken zijn vaak al goed doorontwikkeld, maar de slimme samenwerking tussen technieken ontbreekt in veel gevallen. Er is daardoor nog te veel maatwerk nodig waarmee ook de faalkansen en de kans op sub-optimale oplossingen op de loer ligt. Bij nieuwbouw is het al een uitdaging om alle systeemcomponenten goed op elkaar af te stemmen. Laat staan dat deze in de operationele fase en zonder dat een bewoner/gebruiker daar omkijken naar een optimaal comfort en energetische prestatie oplevert. Bij renovaties van bestaande woningen en wijken/gebieden komen daar nog vele complicerende factoren bij.

Een paar voorbeelden van systeemconcepten die ontwikkeld moeten voor de warmte- en koudeketen van de gebouwde omgeving zijn:

- Geoptimaliseerde warmtepompsystemen voor gebouwen met warmteopslag, warmteafgifte, tapwatervoorziening, ventilatiesysteem, warmteterugwinning en met oog voor: comfort, betaalbaarheid, compactbaarheid, installatiegemak, gebouwintegratie, circulariteit en smart grid readiness.
- (Zeer) lagetemperatuur warmte- en koude systemen (zoals bronnetten) met (meerdere) lage temperatuur warmtebronnen, grootschalige warmteopslag en warmte- en koudelevering die speciaal zijn afgestemd op gebouwen. Dit soort concepten houden rekeningen met de benodigde aanpassingen van zowel voor als achter de meter. Deze collectieve systemen zijn dus afgestemd op de

isolatieniveaus van en de warmte-installaties in de gebouwen. Idealiter bieden dit soort systemen flexibiliteitsmogelijkheden voor het elektriciteitsnet en is er ook rekening gehouden met financiering, (wijk)overlast, ruimtegebruik en circulariteit.

- Langere termijnplanningen ontwikkelen waarbij beschikbaarheid (op termijn) van lokale bronnen (bijv. industrie, geothermie) als uitgangspunt voor warmte-koude systemen wordt genomen en van daaruit ingroeiplannen ('volloop') te ontwikkelen.
- Nieuwe financieringsconcepten en businessmodellen voor zowel gebouw als gebiedsoplossingen. Voorbeelden zijn Energy Service Companies (ESCO's) die "warmte als een service" leveren.
- Nieuwe governance- en organisatievormen voor integrale gebiedsoplossingen die rekening houden met de wijkreis en het vergroten van sociaal draagvlak voor de warmtetransitie.
- Nieuwe, integrale keuzetools en procesinnovaties voor stakeholders die aan de slag gaan met gebiedsoplossingen in een wijk.

De deelprogramma's in dit hoofdstuk gaan over de verschillende deelcomponenten van de warmte- en koudeketen van de gebouwde omgeving. De deelprogramma's kunnen grofweg gedeeld worden in gebouw- en gebiedsmaatregelen; ook aangeduid als individuele en collectieve oplossingen. De deelprogramma's 4.1 tot 4.3 richten zich meer op gebouwmaatregelen terwijl 4.4 tot 4.7 vooral gericht zijn op gebiedsmaatregelen. In de deelprogramma's wordt bovendien het belang van de inpassing in systeemconcepten besproken.

Deelprogramma 1: warmtepompen

Inleiding

In het Klimaatakkoord is afgesproken om voor 2030 1,5 miljoen woningequivalenten (weq's) aardgasvrij te hebben gemaakt. Gemeenten zullen in hun Warmtetransitievisies uiterlijk eind 2021 moeten aangeven welke aardgasvrije route per wijk de voorkeur geniet. Buurten waarvoor de all-electric – en daarmee warmtepomp - route wordt voorzien liggen naar verwachting in gebieden waar warmtenetten niet inpasbaar of duur zijn of waar bijvoorbeeld duurzame warmtebronnen ontbreken. Dit zijn doorgaans ruimer opgezette wijken met minder compacte bebouwing. Maar ook in combinatie met koelere warmtenetten kunnen warmtepompen een rol spelen om het water uit het net op te waarden voor tapwater en ruimteverwarming.

Een elektrische warmtepomp waardeert de warmte van een bron op naar een bruikbare temperatuur voor verwarming en warm tapwater. De meest gebruikte bronnen zijn de bodem of de buitenlucht. Voor het comfort en voor het rendement is het belangrijk dat je daarbij ook maatregelen treft waarmee de aanvoertemperatuur voldoende laag kan zijn, die de warmtevraag kleiner maken en dat maatregelen goed op elkaar afgestemd zijn. Een warmtepomp is een techniek die je zowel individueel - dus per gebouw - als collectief - per buurt- of huizenblok/hoogbouw - kunt toepassen. De gebouweigenaar kan zelf beslissen wanneer hij of zij overstapt op een warmtepomp.

Net zoals in 1985 de HR cv-ketel nog toekomstmuziek was, en in die tijd de eerste stappen werden gezet naar de VR cv-ketel, zal de toepassing van warmtepompen (met en zonder opslag) zich tot telkens verbeterende generaties ontwikkelen. De huidige generatie is functioneel maar moet nog verbeteren om beter aan wensen en eisen te voldoen. Incrementele verbeteringen kunnen snel stappen zetten in de gewenste richting, maar een aantal innovatieve doorbraken zal ook bereikt moeten worden. Denk aan nieuwe principes rondom vermindering van geluidsproductie, miniaturisatie van warmtepompcomponenten en efficiëntere, compactere, gecombineerde warmtepomp-opslag-, en opwekconcepten.

In dit deelprogramma ligt de focus op warmtepompen als individuele warmteoplossing voor de woningbouw. Dit onderwerp heeft samenhang met (zeer) lage temperatuur warmtenetten en bronnetten en met LT-bronnen. De integratie van grootschalige warmtepompen biedt ook veel kansen voor het verduurzamen van gebouwcomplexen (zoals appartementsgebouwen, kantoorgebouwen, bedrijfspanden, e.d.), bedrijfsterreinen en warmtenetten. Deze onderwerpen worden verder besproken in deelprogramma's 4 en 7.

Huidige stand van zaken

Er wordt in Nederland gewerkt aan verschillende typen warmtepomptechnologieën:

- **Compressiewarmtepompen:** Deze warmtepomp maken gebruik van een koudemiddel. Warmtepomp- en koeltechniek in de gebouwde omgeving wordt momenteel overheerst door compressor-gedreven systemen met synthetische koudemiddelen. Voor woningbouwtoepassingen is dat momenteel op basis van

HFK's. Systemen op basis van natuurlijke koudemiddelen zoals CO₂, hydrocarbons (zoals propaan) en lucht (zoals bij turbinewarmtepompen) met lager Global Warming Potential (GWP) worden al op de markt gebracht maar zijn ook nog deels in de (door)ontwikkelfase.

- **Thermo-akoestische warmtepompen.** Deze warmtepompen werken op het principe van laagfrequente geluidsgolven in gas en hier is geen compressor met koudemiddel nodig. De eerste werkende prototypes worden nu in Nederland doorontwikkeld. En er wordt gewerkt aan het opzetten van industriële productie.
- **Magnetocalorische warmtepompen:** Deze warmtepompen maken gebruik van paramagnetisch materiaal dat omgekeerde temperatuurveranderingen vertoont bij blootstelling aan een wisselend magnetisch veld. Dit effect wordt op kleine schaal voor koelunits toegepast, maar heeft tevens de potentie om zonder compressor als warmtepomp ingezet te worden. De technologie is aangetoond en commercieel vooral toegepast voor koeling. De technologie is aangetoond in het lab, commerciële applicatie in woningen is nog ver weg.
- **Ad/absorptiewarmtepompen:** Deze warmtepompen werken op basis van het hechten (adsorberen) van koudemiddelen aan vaste stoffen (bijv. hydratatie van silicagel of zeoliet) en het weer afdampen hiervan, zonder compressor. Er zijn systemen op basis van aardgas, maar ook andere media zoals ammoniak en waterstof zouden kunnen werken. Commerciële applicatie (op aardgas) voor woningen is gedemonstreerd, al zijn nu vooral nog grotere industriële systemen op de markt.
- **Warmtepomp met free piston Stirling motor:** Deze warmtepomp kan met de Sterling motor elektrische energie omzetten in een praktisch warmtepompeffect. De zgn. vrije zuiger kan volledig hermetisch worden afgesloten waarmee koelmiddellekkage volledig wordt geëlimineerd en wrijvingsverliezen geminimaliseerd. De werking van dit warmtepomp principe is aangetoond. Er lopen onderzoeksprojecten om het systeem verder te verbeteren en door te ontwikkelen naar een hogere COP en toekomstige industrialisatie.

Een aparte categorie is de ontwikkeling van grote warmtepompen die speciaal voor blokverwarming en/of voor toepassing in warmtenetten. De oorsprong van deze WP-technologie komt uit de industrie en wordt geschikt gemaakt voor de toepassing voor blok/hoogbouwverwarming en ter vervanging van gasketels in ketelhuizen. Dit soort systemen kunnen in sommige gevallen gebruik maken van meerdere warmtebronnen.

Veel warmtepompen worden nu nog buiten Nederland geproduceerd, de bestaande Europese samenwerking wordt verder ontwikkeld. Harmonisatie in regelgeving en normering helpt daarbij. De enkele Nederlandse bedrijven onderscheiden zich op gebieden zoals het type warmtepompsysteem (bijv. zonder buitenunit, compact of extra stil), monitoring op afstand en *connectivity* voor optimale inzet en onderhoud, combinatie met ventilatie- en afgiftesystemen, e.d.

1-op-1 vervanging gasketel en hybride: Er worden steeds meer hoge temperatuur-warmtepompen op de markt gebracht die zowel hoge temperatuur warmte als tapwater kunnen leveren. Ook nieuwe hybride warmtepompen worden op de markt gebracht, waarbij gas vrijwel alleen nog gebruikt wordt voor warmtapwaterbereiding. Voor de toepassing van hybride WP's is het initieel niet nodig eerst (verregaand) te isoleren

en/of een LT-afgiftesysteem aan te leggen. Er lopen diverse projecten om deze concepten door te ontwikkelen voor 1-op-1 vervanging van cv-ketels met HT WP's en bijv. het in stappen renoveren van hybride (1), isolatie (2) en tot slot ook toevoegen van een boilervat en verwijderen van de gasketel (3) voor een volledig aardgasvrije woning.

Koeling: Door de steeds vaker voorkomende extreem warme dagen en omdat mensen vaker thuiswerken neemt het belang van koeling toe. Dat wordt nog versterkt door verbeterde isolatie van woningen, waardoor warmte moeilijker de woning uit komt. Dit kan deels bouwkundig en door goede ventilatie opgelost worden, maar de inzet van de warmtepomp voor koeling krijgt een steeds belangrijkere rol. Zo worden naast L/L warmtepompen (airco's) ook L/W en W/W steeds vaker toegepast voor het (actief en passief) koelen van woningen. Actief koelen met een L/L en L/W warmtepomp kost veel stroom wat milieuprestaties vermindert als elektriciteit niet duurzaam opgewekt wordt. Om dat te voorkomen geniet passieve koeling met een bodembron of een bronnet de voorkeur.

Er is veel onderzoek gedaan naar systeemintegratie van warmtepompen in renovatieconcepten van bestaande woningen. Er vinden veel projecten plaats over optimalisatie van warmtepompsystemen op basis van kosten en efficiëntie. Hierbij wordt rekening gehouden met het hele systeem van warmtebron, warmteopslag, warmteverbruik en locatie van deelcomponenten (binnen of buiten de woning). Warmtebronnen voor dit soort systemen zijn onder andere lucht (vrij en via toevoer onder dakpannen), bodemwarmte, ventilatielucht, zonthermie (PVT) en via bronnetten.

Daarnaast vindt er ook steeds meer onderzoek op het gebied van warmtepompintegratie in de woning. Er wordt onder andere gekeken naar integratie van deelcomponenten (monoblocks), integratie met prefab- bouwdelen (dakmodules en gevelconcepten), omkastingen (voor geluid) en esthetiek van systeemcomponenten.

Op vlak van de geluidsproductie van WP's is veel te doen. Met ingang van 1 april 2021 is de nieuwe geluidseis van 40 dB op de kavelgrens ingegaan. Getuige de stijgende verkopen van speciale geluidsomkastingen wordt deze nieuwe eis door vele WP's nog niet gehaald. Ook de plaatsing van een warmtepompinstallatie in de gebouwde omgeving is een aandachtspunt. Er worden apps ontwikkeld die preventief de meest optimale plek kunnen aangeven om geluidsoverlast te verminderen.

Er lopen in Nederland diverse monitoringprojecten om beter zicht te krijgen op de prestaties van (hybride) warmtepompen. Recente metingen van installatiemonitor.nl geven bijvoorbeeld vertrouwen dat ook in relatief koude perioden (koude week in feb 2021) de COP's van warmtepompen minder laag zijn dan verwacht. Bij all electric WP's lag de elektriciteitsvraag 1 – 1,5 kW hoger dan in een gemiddelde winterse week. Van grootschalige inzet van elektrische bijstook met verwarmingselementen leek derhalve geen sprake.

Knelpunten en benodigde innovaties

De volgende activiteiten en randvoorwaarden zijn belangrijk bij de (door)ontwikkeling van warmtepompen en warmtepompconcepten. Een aantal van deze doelstellingen

zijn ook van toepassing voor industriële warmtepompen die toegepast worden voor blokverwarming en warmtenetten.

Verlagen van systeemkosten

- De aanschafkosten voor warmtepompen moeten verder gaan dalen. Het verlagen van de productiekosten kan hierbij een rol spelen. Toekomstige innovatieprojecten moeten daarom een focus hebben op massaproductie en industrialisatie. Dit kan ook in combinatie met prefab, geïntegreerde energie-units. De focus moet niet alleen liggen op het verlagen van de productiekosten, maar ook op de totale kosten van een warmtepompinstallatie, inclusief installatiekosten, bijbehorende bron, e.d. Met name bij installateurs heerst er of drempelvrees of worden te veel onzekerheidstoeslagen in de kosten voor de eindgebruiker verwerkt.

Verlagen van geluidsproductie

- Het is noodzakelijk om de geluidsproductie van de binnen en/of buitenunits van (lucht)warmtepompen verder te reduceren zodat extra, dure en grote omkastingen of isolatielagen niet/minder nodig zijn. Voor buitenunits zijn inmiddels (1-4-2021) nieuwe geluidsnormen van kracht (40 dB op de kavelgrens). Binnenunits moeten verder ontwikkeld worden zodat extra geluidsisolerende/bouwkundige maatregelen minder of niet nodig zijn. Anders dan in andere landen is in Nederlandse huizen beperkt ruimte en zijn binnenmuren licht waardoor de geluidsdelen moeilijk haalbaar zijn. Het doel van 30 dB(A) in de verkeersruimtes en 27 dB(A) in de verblijfsruimtes (inclusief slaapkamer) wordt in de meeste gevallen en zonder aanvullende maatregelen niet gehaald.

Verhogen van (systeem)rendementen en optimaliseren van warmtepompsystemen voor een breder scala van invoer- en afgiftememperaturen en voor koeling

- Nu dat er meer warmtebronnen en bronnetten in Nederland worden ontwikkeld, is het belangrijk om warmtepomp rendementen te verhogen voor een breder scala aan aanvoer- en afgiftememperaturen. Het verhogen van (systeem)rendementen en slimmere aansturing zal leiden tot een gereduceerde piekvraag en energieverbruik. Vooral voor L/L- en L/W-warmtepompsystemen is het belangrijk dat rendementen worden verbeterd. Dit zal tot een gereduceerde piekvraag en energieverbruik in zomer en winter moeten leiden. Het systeemrendement kan o.m. op de volgende manieren verhoogd worden:
 - Door de energieprestaties van bestaande deelcomponenten te verbeteren.
 - Door nieuwe warmtepompconcepten verder te ontwikkelen zoals thermo-akoestische-, adsorptie- en magnetocalorischewarmtepompen.
 - Door het ontwikkelen van nieuwe, geoptimaliseerde warmtepompsysteemconfiguraties met warmteopslag, -opwek en -afgifte. Verbeterde oplossingen voor warmtapwater kunnen ervoor zorgen dat de delta T en de COP van het systeem gunstiger worden.

Doorontwikkelen van warmtepompen met koudemiddelen met een lagere milieudruk (Global Warming Potential / GWP)

- Vanwege de huidige EU-regelgeving over F-gassen worden steeds meer warmtepompen ontwikkeld die gebruik kunnen maken van koudemiddelen met een lager GWP. Vooral het gebruik van natuurlijke koudemiddelen zoals ammoniak,

CO₂ en propaan/butaan brengt veel voordelen met zich mee. Als deze koudemiddelen tijdens of aan het einde van de levensduur in de atmosfeer komen dan is het klimaat en/of milieueffect veel beperkter dan met synthetische koudemiddelen. Voor systemen die vlambare natuurlijke koudemiddelen gebruiken zoals propaan/butaan (hydrocarbons), moeten systemen ontwikkeld worden met een kleine koudemiddelhoeveelheid om risico's te beperken en aan huidige wet- en regelgeving te kunnen voldoen. Het doel is om waar mogelijk warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen (door) te ontwikkelen zodat deze qua kosten en performance concurreren met systemen die synthetische koudemiddelen gebruiken.

Verbeteren van integratie van warmtepomponderdelen in (renovatieconcepten voor) de bestaande bouw

- Voor veel Nederlandse gebouwen is ruimtebeslag van warmtepompsystemen, zowel binnen als buiten het gebouw, (nog steeds) een punt van aandacht. Dit kan opgelost worden door het ontwikkelen van compactere deelcomponenten en WP's en door het verbeterd integreren ervan in prefab gebouwdelen. Denk bij dit laatste bijv. aan de integratie van de warmtepomp in prefab gevels, muren, vloeren of daken.

Versnellen en opschalen van het installatieproces

- Het opleiden van warmtepompinstallateurs gaat niet snel genoeg voor de verwachte vraag naar warmtepompinstallaties. Om de warmtetransitie te versnellen moeten nieuwe plug-and-play warmtepompconcepten ontwikkeld worden die snel geïnstalleerd kunnen worden met zo laag mogelijke faalkans en met zo weinig mogelijk eisen voor certificaten en opleidingen. Dit soort plug-and-play concepten kunnen ook pre-fab oplossing zijn in combinatie met warmteopslag, -opwek en -conversie en integratie in andere bouwdelen. Installateurs kunnen bovendien geholpen worden door vormen van 'mixed reality' toepassingen, waardoor zij tijdens de installatiehandelingen uitleg krijgen.

Versimpelen en verslimmen van het onderhoudsproces

- Naast het versnellen van het installatieproces is het ook van belang om inregelen (in Bedrijf Stellen), onderhoud en service makkelijker, slimmer, sneller en daarmee goedkoper te laten plaatsvinden. Dit kan gebeuren door het doorontwikkelen van concepten zoals continuous monitoring, alerting, early warning management, Firmware Over The Air (FoTa) cq Cloud. Ook AI-gebaseerde concepten kunnen hier een rol in spelen.

Doorontwikkelen van warmtepompsystemen met slimme aansturing

- In de toekomst zullen warmtepompsystemen aangestuurd worden door Gebouwbeheersystemen (GBS) en Home Energy Management Systemen (HEMS) op basis van gebruikersgedrag, weersvoorspellingen en andere factoren. Hiermee kan een hogere efficiëntie en comfort gerealiseerd worden. Dit soort systemen kunnen ook het flexibiliteitspotentieel voor het elektriciteitsnet verbeteren (zie punt beneden). Door warmtepompen via de cloud aan te sturen kan de aansturing worden verrijkt met allerlei data over als weersvoorspellingen, maar ook leren van alle andere WP's in het platform. Ook in de gebruikersinterface en

gebruikersondersteuning zijn stappen te zetten. Er dient ook rekening te worden gehouden met een veranderende energievraag door meer thuiswerken, oververhitting en het belang van een gezonder binnenklimaat. Voor meer informatie over deze onderwerpen zie [MMIP 3](#).

Doorontwikkelen van warmtepompsystemen met meer flexibiliteitspotentieel

- Als onderdeel van smart grids zullen slim aangestuurde warmtepompsystemen ook een belangrijk rol kunnen spelen bij het ontlasten van het elektriciteitsnet. Het voorspellend regelen van warmtepompen biedt namelijk kansen voor Demand Response mechanismes. Het is daarom belangrijk om smart grid ready warmtepompsystemen te ontwikkelen die in samenhang met andere gebouwinstallaties aangestuurd kunnen worden en zo flexibiliteit aan het elektriciteitsnet kunnen leveren. Hierbij is het ontwikkelen van open standaarden ook belangrijk. Voor meer informatie over deze onderwerpen zie [MMIP 5](#).

Doorontwikkelen van DC-gedreven warmtepompsystemen:

- Er vinden op dit moment innovatieprojecten plaats voor het doorontwikkelen van DC-electriciteitsnetten. Zonnepanelen, batterijen, auto laadpalen, ledverlichting en sommige motoren in huishoudtoestellen werken op gelijkspanning (DC). Deze apparaten kunnen in potentie dus zonder omvormingsverliezen opereren in een DC-electriciteitsnet. Voor inpassing in dit soort netten is het belangrijk dat ook DC-gedreven warmtepompen beschikbaar komen. Voor meer informatie over deze thematiek zie [MMIP 5](#).

Doorontwikkelen van circulaire concepten voor warmtepompsystemen:

- Om de Nederlandse ambities van een volledig circulaire economie in 2050 te halen, is het van belang om circulaire concepten te ontwikkelen voor warmtepompsystemen. Voor het productieproces kan er gewerkt worden aan het verminderen van de embodied energy, optimaal hergebruik van materialen en het minimaliseren van restmaterialen. Tijdens het ontwerpproces kan nagedacht worden over het gemakkelijker terugwinnen van materialen aan het einde van functionele levensduur en het verlengen van de levensduur. Maar denk ook aan het ontwikkelen van circulaire verdienmodellen, mogelijkheden voor ‘refurbishing’, repareerbaarheid, e.d.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

De minimale warmtepomp-doelstellingen voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor 5 en 10 jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie die voor TKI Urban Energy is uitgevoerd door Ecofys Navigant uit 2018².

Systeem KPI		2019	Doel 2025	Doel 2030
(1)	Investeringskosten	Referentiejaar		50 % reductie
(2)	Operationele kosten (€/jaar)	Referentiejaar		50 % reductie

² <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>

(3)	SPF			
	L/W: LTV	4	5	5,5
	Warm tapwater	1,75	2	2,5
	Koeling	3	4	4,5
	W/W: LTV	5,5	6	6,5
	Warm tapwater	2,5-3	3,25	3,5
	Koeling	45	50	55
(4)	Geluid (dB)			<40/30/27
(5)	GWP	1430 – 3950	< 150	< 5
(6)	Systeemintegratie		Smart grid ready	Smart grid friendly

- 1 Dit betreft de kosten voor de consument voor de warmtepomp geïnstalleerd in de woning, inclusief boilervat en regeling, exclusief BTW, afgiftesysteem(-aanpassingen), na-/zone-regeling van het afgiftesysteem, bron(nen)/bronvoorzieningen. 50% kostenreductie betreft 30% reductie t.o.v. kosten referentiejaar 2019 en aanname 10 jaren inflatie van 2% per jaar.
Ordegrootte inschatting 2019:
Vermogen warmtepomp:

2.5 kW	3950 Euro
5 kW	4725 Euro
7.5 kW	5500 Euro
10 kW	6250 Euro
- 2 Operationele (onderhoud & beheer, exclusief *fueling costs*) kosten (€/jaar), Ordegrootte inschatting 2019:
 - 1 Voor L/W Warmtepomp : 100,- euro per jaar.
 - 2 Voor W/W Warmtepomp: 50,- euro per jaar.
- 3 COP en SPF zijn sterk afhankelijk van vraagprofiel en aanwezigheid van thermische opslag. KPI's zijn gedefinieerd voor de relevante toepassingen binnen de gebouwde omgeving in 2030 en verder (nieuwbouw, renovatie). Lage Temperatuur Verwarming, LTV, warm tapwater en koeling. Systeemaspecten moeten hierbij meegenomen worden³.
- 4 Onderscheid wordt gemaakt tussen buiten- en binnengeluidsbelasting. Opgenomen waardes zijn respectievelijk buiten (op perceelgrens), binnen (verkeersruimte, bv gang), binnen (verblijfruimte, bv woonkamer/slaapkamer)
- 5 De momenteel meest gebruikte koudemiddelen, de zogeheten HFK's of F-gassen, hebben bij het vrijkomen een sterk broeikas effect. GWP = Global Warming Potential types koudemiddelen: R404A – 3950; R410A – 2088; R407C – 1774; R134a – 1430.

³ Beta factor 1 gesteld. Gemiddeld gewogen jaarrendement (SPF, incl bronpomp/ventilator cf. berekeningsmethode NEN7120 A1-2017 of de NEN7120/NTA8800 bepalingsmethode), aanvoertemp max. 35C Woning: QH;dis/Ag;tot=<150MJ/m2 (WLE) Tapwater: Qw; dis;nren;an 1 6500 MJ/Jaar (klasse 1) Ventilatie Systeem D of systeem C zonder overventilatie (NEN1087); uitgangspunt 30dm3/s

- 6 Smart Grid ready: aansturing via het smart grid mogelijk (o.a. monitoring kritische functies, aan/uitzetten bij dreigende grid congestie (link met MMIP 5)), Smart grid friendly: actief bijdragen aan gridontlasting (o.a. *model predictive control*, regeling en actieve sturing op wijkniveau, inclusief opslag (link met MMIP 5)).

Aandachtspunten voor beleid:

- Op peil houden van ontwikkelingsfondsen om de slag naar massaproductie, industrialisatie en robotisering én prefab units / energiemodules te kunnen ondersteunen in Nederland;
- De innovaties zijn gericht op IO/EO en demonstratieprojecten. Momenteel ontvangen gebruikers subsidie na aanschaf van de warmtepomp middels de ISDE. Voorgesteld wordt om een instrumentarium op te zetten vergelijkbaar met de HER-regeling gericht op IO/EO/DEMO. Hierbij zal aangetoond moeten worden dat de toekomstige ISDE-subsidie lager kan worden;
- Door de relatief kleinere en korter lopende innovatieprojecten bij MKB bedrijven is behoefte aan meer regelingen vergelijkbaar met de TSE GO in 2020.
- Om warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen en/of koudemiddelen met een zeer lage GWP in de ISDE en afhankelijk van het type koudemiddel een hogere subsidie moeten krijgen.
- Warmtepompen waarmee ook gekoeld kan worden (duurder) extra ondersteunen en stimuleren bijv. in de ISDE.
- Aanpassen wetgeving rond toegestane hoeveelheden natuurlijke koudemiddelen in WP's en de toegestane werkdrukken;
- Gefaseerde verbetering door aanscherping van de nationale en Europese eisen op alle genoemde KPI's. Wettelijke inbedding voor nieuwbouw en renovatie.
- Verbeteren en maken van normen voor het bieden van flexibiliteit aan het elektriciteitsnet.
- Regelgeving/afbouwpad (vanuit EU) voor uitfasering verkoop nieuwe (en later gebruikte) gasketels, bijvoorbeeld via Eco-labelling.
- (Financiële) ondersteuning voor opleidingstrajecten (kort en betaalbaar) voor installateurs.

Deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen

In dit deelprogramma komen de innovatievragen voor afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen achtereenvolgens aan bod. Het overkoepelende doel van dit deelprogramma is het kunnen bereiken van hoge gebouwprestaties tijdens de gebruiksfase (wat betreft energie, CO₂-emissies, kosten, comfort en binnenmilieu), zowel in de woningbouw als in de utiliteitsbouw.

Deelprogramma 2.1: afgiftesystemen

Inleiding

Wanneer woningbouwcorporaties, andere gebouweigenaren en gemeenten betere isolatie en warmte-afgiftesystemen van gebouwen kunnen realiseren dan schept dit de mogelijkheid voor verwarming met een lagere aanvoertemperatuur. Vervolgens kunnen warmtebedrijven de temperaturen in warmtenetten verlagen en warmtepompen op lagere temperaturen en met een hoger rendement werken.

Op het gebied van afgiftesystemen ligt de nadruk op het ontwikkelen van laagtemperatuur (LT) afgiftesystemen zoals vloerverwarming en convectoren, waardoor duurzaam geproduceerde warmte van lagere temperaturen een woning kan verwarmen. Nieuwe, goedkopere, efficiëntere en compactere LT-afgiftesystemen kunnen ervoor zorgen dat warmtepompen en andere duurzame bronnen van warmte op meer plaatsen toepasbaar worden. Ook de integratie met ventilatiesystemen kan een bijdrage leveren.

Veel verwarmingstoestellen hebben een afgiftesysteem nodig om de warmte over het huis te verspreiden. Dit afgiftesysteem ontvangt warm water uit het verwarmingstoestel en verspreid via leidingen naar de afgiftepunten, zoals radiatoren of vloerverwarming. Met een thermostaat kun je de gewenste temperatuur van de ruimte instellen. Het warme water dat door het afgiftesysteem stroomt kan van hoge temperatuur of van lage temperatuur zijn. Bij hogetemperatuurverwarming (HT) is de aanvoertemperatuur zo'n 60-90°C, bij lagetemperatuurverwarming (LT) ligt de aanvoertemperatuur tussen de 30 en 50°C.

Huidige stand van zaken

Bijna alle verwarmingssystemen voor woningen werken met een afgiftesysteem dat gebaseerd is op het rondpompen van verwarmd water. De meeste woningen van Nederland zijn voorzien van een afgiftesysteem met radiatoren en/of vloerconvectoren, die zijn ontworpen voor hoge temperatuur. In de praktijk is het soms al mogelijk om met lage temperatuur (<55 °C) de woning te verwarmen met normale radiatoren. Beter inzicht in daadwerkelijk verbruik in combinatie met comfort onderzoek wijst dit uit. Sommige woningen combineren hogetemperatuurafgifte met lagetemperatuurafgifte uit comfortoverwegingen. Vaak gaat het dan om vloerverwarming in de woonkamer en/of badkamer in combinatie met reguliere radiatoren in andere vertrekken. Bij nieuwbouwwoningen wordt op dit moment voornamelijk LT-verwarming toegepast i.c.m. vloerverwarming en (minder vaak) i.c.m. ventilator-convectoren.

Het vervangen van afgiftesystemen in de bestaande bouw is ingrijpend en er lopen nu veel innovatieprojecten om warmtesystemen te ontwikkelen die gebruik kunnen maken van bestaand leidingwerk en afgiftesystemen. Voor warmtesystemen met bijvoorbeeld HT-warmtepompen of MT-warmtenetten zijn vaak slechts minimale aanpassingen aan de bestaande afgiftesystemen nodig. Dit werd onder andere in het WarmingUp project onderzocht. Daar waar de wens is met lagere temperaturen te kunnen verwarmen zijn diverse mogelijkheden ontwikkeld om het bestaande afgiftesysteem efficiënter te maken met radiatorfolies en radiator-fans. Hiermee kan met minimale kosten de efficiëntie worden verhoogd en lagere temperaturen mogelijk worden gemaakt.

Bij de renovatie van goed geïsoleerde gebouwen moeten vaak LT-afgiftesystemen geïnstalleerd worden. Er bestaan al veel producten op de markt om bestaande radiatoren 1-op-1 te vervangen door LT-afgiftesystemen. Denk aan vloerverwarming, wandverwarming, en LT-radiatoren en -convectoren. Nieuwe warmte-afgiftesystemen worden steeds compacter en toepasbaarder voor de bestaande bouw. Zo worden vloer en wandverwarmingssystemen steeds dunner, makkelijker en sneller te installeren. Ook zijn er radiatoren geïntegreerd met ventilatiesystemen incl. vormen van warmteterugwinning en vraagsturing.

Daarnaast zijn er nieuwe vormen van elektrische verwarmingssystemen op de markt zoals onder meer elektrische vloerverwarming, laag-voltage matjes die in wanden gestuct kunnen worden en infrarood-panelen. Al hebben deze systemen het nadeel dat ze met een lagere elektrische efficiëntie warmte produceren, minder stuurbaar zijn (flex bieden) en hogere pieken op het elektriciteitsnet opleveren dan bij bijvoorbeeld een warmtepomp het geval is.

Qua innovatie, komt er steeds meer aandacht voor het verslimmen van afgiftesystemen. Steeds meer partijen bieden afgiftesystemen die slim aangestuurd kunnen worden. Ook zijn er partijen die afgiftesystemen compartimenteren zodat de verwarming in veelgebruikte ruimtes sneller en slimmer aangepast kan worden dan in andere ruimtes. Systemen worden in dat geval gekoppeld met sensoren voor het meten van ruimtecomfort. Hierbij worden parameters meegenomen als CO₂, temperatuur, luchtvochtigheid en fijnstof. Met slimme apps en thermostaten (die gekoppeld zijn aan thermostatische radiatorcransen) kunnen gebruikers gemakkelijk het warmtegebruik managen.

Tot slot is er veel nieuwe interesse in en aandacht voor het waterzijdig inregelen van het afgiftesysteem en lopen er publiekscampagnes om de aanvoertemperatuur van de CV ketel zo laag mogelijk te kijken, mede om te onderzoeken of je al “Warmtepomp ready” bent.

Knelpunten en benodigde innovaties

De volgende activiteiten en randvoorwaarden zijn belangrijk bij de ontwikkeling van concepten:

Verlagen van aanschaf en installatiekosten

- Om opschaling mogelijk te maken moeten de aanschafkosten voor LT-afgiftesystemen (met koelingsmogelijkheden) verder gaan dalen. Vooral van belang is het doorontwikkelen van LT-afgiftesystemen die goedkoper zijn dan het aanleggen van dure vloerverwarming. Het verlagen van de productiekosten kan bij het verlagen van de aanschafkosten een rol spelen. Toekomstige innovatieprojecten moeten daarom een focus hebben op massaproductie en industrialisatie. Hierbij moet rekening gehouden worden met de huidige formaten van de radiatoren, de beschikbare ruimte en gewenste vermogens. De focus moet niet alleen liggen op het verlagen van de productiekosten maar ook op de totale kosten van een afgifte installatie, inclusief installatiekosten (incl. mindset bij installateurs), bijbehorende bron, e.d.

Verhogen van rendementen en optimaliseren van afgiftesystemen

- Omdat er in bestaande gebouwen steeds meer duurzame technieken zoals warmtepompen worden toegepast, is het belangrijk om de rendementen van afgiftesystemen verder te verhogen. Hierbij gaat het met name om LT-afgiftesystemen met mogelijkheden voor koeling voor de bestaande bouw. Het systeemrendement kan verhoogd worden door 1) de energieprestaties van bestaande concepten te verbeteren en te optimaliseren en/of 2) nieuwe afgifteconcepten (verder) te ontwikkelen. De energieprestaties kunnen verder verbeterd worden door een hogere uitkoeling van het water door verhoogde warmteoverdracht tussen het water en de lucht. Het toevoegen van waterzijdig inregelen en radiator ventilatoren kunnen ook een rol spelen bij de ontwikkeling van nieuwe (totaal)concepten.

Toevoegen en optimaliseren van het koelvermogen van afgiftesystemen

- Bij traditionele afgiftesystemen wordt vooral gekeken naar de optie om een ruimte efficiënt te verwarmen. Nu uit de prognoses van KNMI duidelijk wordt dat het aantal extreem warme dagen gaat toenemen en in combinatie met het verregaand isoleren zal het belang van het kunnen koelen verder toenemen. Bij de ontwikkeling van nieuwe afgiftesystemen zou ook ingezet moeten worden op de optie om deze te kunnen gebruiken voor koeling (en voorkomen van condensvorming).

Verbeteren van afgiftesysteeminTEGRATIE in (renovatieconcepten voor) de bestaande bouw

- LT-radiatoren en -convectoren zijn vaak groter dan vergelijkbare HT-installaties in bestaande gebouwen. Daarnaast is ruimtebeslag van leidingen, vloer- en wandverwarmingssystemen ook een punt van aandacht. Deze punten kunnen opgelost worden door het ontwikkelen van compactere deelcomponenten, door gelijktijdig te isoleren en door het verbeterd integreren van deelcomponenten in prefab gebouwdelen. Denk bij dit laatste bijv. aan prefab gevels, muren, vloeren of daken. Ook moeten systemen met compartimentering en snelle temperatuurverhoging in bepaalde (woon)ruimtes doorontwikkeld worden.

Versnellen en opschalen van het installatieproces

- Het installeren van afgiftesystemen is een langdurig en ingrijpend proces. Zeker bij bestaande woningen is de wens om tijdens energierenovaties de bewoners zo min-

en kort mogelijk tot last te zijn. Kortere en eenvoudigere installatie leiden bovendien tot kostendaling en opschaling. Integratie met prefab gebouwdelen (zoals net benoemd) kan installatie versimpelen, Het ontwikkelen van (industriële geproduceerde) plug-n-play concepten kan ook een belangrijke rol spelen om het installatieproces te versnellen. Voor woningen waar plug-n-play concepten minder toepasbaar zijn kunnen schaalbare ontzorgingsconcepten een rol spelen.

Verlagen van geluidsproductie

- Aan convectoren worden in veel gevallen fans toegevoegd en soms wordt ook de combinatie met ventilatie gemaakt. Bij dergelijke systemen kan geluid als hinderlijk ervaren worden.

Verslimmen van afgiftesystemen

- Door sensoren, interfaces en connectiviteit toe te voegen kunnen afgiftesystemen nog efficiënter worden ingezet en beter (centraal) worden aangestuurd op gebruikers- en gebouwgedrag. Maar ook systemen die verschillende afgiftesystemen en mogelijk zelfs temperaturen kunnen managen en afstemmen op gebruik/aanwezigheid. (zie verder MMIP3).

Doorontwikkelen van circulaire concepten voor afgiftesystemen:

- Er is behoefte aan circulaire innovaties waarbij bijvoorbeeld zo veel mogelijk van het bestaande leidingwerk in de bestaande bouw gehandhaafd kan blijven en concepten waarbij de bestaande afgiftesystemen worden hergebruikt ipv vervangen, te repareren/uitbreiden zijn, etc. Zie ook het hoofdstuk over de doorsnijdende thema's.

Aandachtspunten voor beleid

- Kleinschaliger innovatieprojecten gericht op deelcomponenten kunnen faciliteren met regelingen, omdat dergelijke innovatie zich minder leent voor grote integrale regelingen als MOOI. Bijv. TSE GO.
- Op beleidsniveau moet meer bekendheid ontstaan over de optie om met betaalbare LTV-afgiftesystemen de aanvoertemperatuur van warmtenetten lager dan de nu in veel gevallen gekozen 70 graden te krijgen. Bijvoorbeeld door aandacht te geven in de startanalyse.
- Voortzetten en/of ondersteunen van publiekscampagnes om meer bekendheid te geven aan de warmtetransitie.
- Ondersteunen van onafhankelijke monitoring programma's ten aanzien van daadwerkelijke comfortbeleving en energieverbruik.

Deelprogramma 2.2: tapwatersystemen

Inleiding

Van oudsher bedraagt de productie van warmtapwater zo'n 15-30 procent van de totale warmtevraag binnen een woning. Door verregaande isolatie en de steeds zachtere winters loopt dit op tot zelfs ver boven de 50%. De impact van het verbeteren van de efficiëntie van tapwatersystemen op de totale energievraag voor warmte neemt dus toe, evenals de aandacht hiervoor.

Bij de toepassing van langzamere warmteproductiesystemen als warmtepompen en/of LT/ZLT warmtenetten met een voor douchen te lage aanvoertemperatuur zijn nieuwe systemen nodig om op een duurzame manier warmtapwater te kunnen leveren. Binnen dit onderdeel van het programma ligt de focus op het ontwikkelen van concepten voor uiteenlopende configuraties van het gehele

warmtesysteem. De belangrijkste innovatie uitdagingen die hierbij spelen liggen op vlak van (kosten) efficiëntie, legionellapreventie, wet- en regelgeving, comfort en ruimtebeslag. Bovendien spelen de inpasbaarheid in woningen en daarmee de mogelijkheden voor opschaling een grote rol om per 2030 te komen op een niveau van 200.000 aardgasvrije woningen per jaar.

Warmtapwater wordt vooral in de badkamer en de keuken gebruikt. Het energiegebruik voor het verwarmen van tapwater wordt bepaald door de hoeveelheid warmwater die gebruikt wordt, de gevraagde watertemperatuur, de leiding- en boilerwaterverliezen en de efficiëntie van het warmwatertoestel. Om het energieverbruik te verlagen kunnen al deze posten worden aangepakt door korte en geïsoleerd leidingen (woningontwerp), een hoger opwekkingsrendement (keuze toestel) en een lager waterverbruik (keuze toestel, waterbesparende voorzieningen, gebruikersvoorlichting). Daarnaast kan warmte worden teruggewonnen (douche-wtw) en kunnen duurzame bronnen worden ingezet.

Huidige stand van zaken

De focus bij de nieuwste tapwatersystemen ligt enerzijds op oplossingen die zich richten op het efficiënt produceren en bufferen in een boilerwater i.c.m. LT-warmtebron/bronnet en het voorkomen van legionella daarbij en anderzijds op het efficiënter maken van de douchebeurt en het zo dicht mogelijk bij het tappunt efficiënt maken van warmtapwater.

Zo zijn er in 2020/2021 systemen op de markt gekomen die inzetten op douchewaterbesparing, douchewaterrecycling en warmteterugwinning. Van waterbesparende douchekoppen, slimme (retrofit) WTW-oplossingen voor douche- en afvalwater tot en met het hergebruiken van (gezuiverd) warm douchewater voor het douchen of het doorspoelen van de WC, sproeien van de tuin en vullen van de (vaat)wasmachine. Bovendien wordt er gewerkt aan boilerwateren die een veel lager stilstandsverlies hebben, bijvoorbeeld door toepassing van vacuüm isolatie.

Bovendien is een all-electric douchesysteem op de markt gekomen waarbij met een combinatie van warmteterugwinning (tot wel 80%), een klein boilerwaterje voor de douche-start en lokale elektrische warmteproductie alleen met een koud wateraanvoerleiding

en elektriciteit gedocht kan worden. Het voordeel van een dergelijk systeem is dat net als bij lokale warmwaterproductie in de keuken er minder leiding- en stilstandsverliezen zijn en centrale boilervaten voor tapwaterbuffering niet meer nodig zijn. Dit maakt de aansluiting op bijvoorbeeld een LT-warmtevoorziening in blokgebouw of wijk weer een stap eenvoudiger. Wel zal de kostprijs van deze systemen nog verder moeten dalen om een grote rol te kunnen gaan spelen. En het elektrische piekvermogen dat dergelijke systemen vragen kunnen op collectief niveau en brede toepassing voor problemen in het net zorgen. Bovendien is deze benodigde elektriciteit niet flexibel in tegenstelling tot het op een gekozen moment elektriciteit kunnen maken in een buffervat.

Er lopen diverse projecten rondom de toepassing van zonthermische systemen op het dak of de gevel van de woning. Veelal wordt de omvang van het systeem vooral gedimensioneerd op de opvang van het buffervat c.q. de tapwaterbehoefte van het huishouden en vice versa. Daarbij wordt een optimum gezocht tussen de (te hoge) piek in de zomer (alleen tapwatergebruik) en de opbrengst in de andere seizoenen. Zie verder de deelprogramma's 4.3 en 4.7.

De aandacht voor legionellapreventie is ook toegenomen na Europees en Internationaal (zie annex 46 van het IEA TCP over Heat Pumping Technologies) onderzoek en de ontwikkeling van modellen die tapwatersystemen kunnen modelleren om vooraf te kunnen bepalen of en zo ja waar er kansen op legionellagroei zouden kunnen zijn.

Knelpunten en benodigde innovaties

Verhogen van het energetische rendement van tapwatersystemen binnen de geldende legionella-eisen

- Denk hierbij aan het doorontwikkelen van systemen die bij lagere temperaturen gegarandeerd legionellavrij blijven (niet meer dan nodig) en daarmee een lager energieverbruik hebben. Bijvoorbeeld door het efficiënt terugwinnen van restwarmte uit warm tapwater, om zoveel mogelijk van de warmte binnen de woning het te gebruiken. Maar ook door stilstandsverliezen in boilers en leidingen te minimaliseren en het voorkomen van 'dode zones' ivm legionella. En het integreren of juist scheiden van tapwater en ruimteverwarmingssystemen om bijv. een buffer optimaler te kunnen gebruiken, zo min mogelijk start/stops van warmtepompen te hebben en/of flexibiliteit naar het elektriciteitsnet te kunnen bieden.

Verbeteren van de integratie van tapwatersystemen in (renovatieconcepten voor) de bestaande bouw

- In de bestaande bouw leveren ruimtebeperkingen in bijv. badkamers die nog niet aan renovatie toe zijn beperkingen cq hoge meerkosten op bij een energetisch optimaal concept. Met een betere integratie van boilervaten in kleine ruimten of in een gevel, dak of knieschot en optimaliseren van de grootte van het systeem, bijv. doordat geen of een kleiner boilervat nodig is, zijn nodig om tot opschaling te komen.

Verslimmen van tapwatersystemen en bieden van flex

- Systemen die buffervaten slimmer laden/ontladen, bijv. door aanpassing aan gebruikersgedrag (AI) of door gebruikers meer informatie en sturingsmogelijkheden te bieden. Maar ook door de buffer in te kunnen zetten (binnen comfortdoelstellingen) als buffer voor het elektriciteitsnet en/of als back-up voor ruimte verwarming en om de zelfconsumptie van PV panelen te optimaliseren. Systemen moeten worden voorbereid op dergelijke diensten door 'connectiviteit' toe te voegen en standaarden op dat vlak te volgen om (op termijn) centrale aansturing door aggregators mogelijk te gaan maken.

Versnellen en opschalen van het installatieproces en circulariteit

- Focus op toepasbaarheid en plug-n-play concepten die makkelijk geïnstalleerd kunnen worden bij renovatie. Ook spelen aspecten tijdens en na de gebruiksfase een rol: eenvoudig onderhoud, repareer- en recyclebaarheid. Zie ook het hoofdstuk over de doorsnijdende thema's.

Aandachtspunten voor beleid

- Een herziening van de NEN-1006 tapwater norm is nu in gang. Dit MMIP erkent dat het voldoen aan Legionella-eisen een belangrijke randvoorwaarde is voor de energietransitie ivm veiligheid. Echter is het ook verstandig om bij deze herziening open te zijn voor mogelijke (energiezuinige) technieken en innovaties voor het oplossen van zowel Legionellaproblematiek als tapwaterverduurzaming.
- Daarnaast moet de functionele eis van warm tapwater uit de tap veranderd worden. De eis voor water uit het tappunt kan, net zoals in veel omliggende landen (zoals België), omlaag. Dit is ook verantwoordelijker ivm brandveiligheid.
- Op dit moment ervaren bedrijven veel administratieve lasten door de normen en wetgeving die er nu is. Om tijd en kosten te besparen is het verstandig om te kijken of deze administratieve lasten verlaagd kunnen worden.

Deelprogramma 2.3: ventilatiesystemen

Inleiding

Ventilatie is belangrijk voor een gezonde woon- en werkomgeving. Omdat bij ventilatie warme binnenlucht wordt uitgewisseld met koude verse buitenlucht, treden er warmteverliezen op. Het vraagt extra energiegebruik om deze lucht op te warmen. In goed geïsoleerde woningen kunnen de ventilatieverliezen zelfs groter zijn dan de transmissieverliezen. Daarnaast treedt er door ventilatoren een energiegebruik op dat in (bijna) energie neutrale woningen een relatief groot aandeel heeft op het totale gebruik. Hier kan dus, in potentie, een grote duurzame bijdrage aan worden geleverd.

In energiezuinige gebouwen wordt veel aandacht besteed aan isolatie en een hoge luchtdichtheid. Zonder goede ventilatie leidt dit tot gezondheid en comfort problemen. Meer over deze problematiek en de interactie tussen de ventilatiesystemen A t/m D, isolatiemaatregelen en gezondheid in MMIP 3. In dit programma ligt de focus op het realiseren van technische innovaties die nodig zijn om te komen tot (kosten) efficiënte en esthetisch acceptabele WTW-systemen voor de energierenovatie van de bestaande bouw. De focus ligt daarbij op het ontwikkelen van ventilatiesystemen voor woningen met natuurlijke ventilatie (<1975) en woningen met type-C ventilatie (>1975).

Het ontbreekt de meeste ventilatiesystemen, zelfs de grotere systemen in de utiliteitsbouw, aan de juiste meet- en regelsystemen om te controleren of ze goed functioneren en de juiste luchtkwaliteit wordt bereikt. Dat betekent dat het maar zelden voorkomt dat de luchtkwaliteit voldoende is en dat er energie verloren gaat door gebrek aan vraagsturing en geen of beperkte energierugwinning. Bij renovatie speelt bovendien het issue van ruimtegebrek (voor ventilatiekanalen). Ook op vlak van de combinatie met kookafzuiging - dat veelal een losstaand systeem is - is nog werk te verzetten. Juist koken levert in kleinere woningen veel fijnstof op, terwijl er ook veel warmte niet nuttig wordt hergebruikt.

Bij de glastuinbouw speelt het effect van dosering van CO₂ een belangrijke rol. De basisventilatie in de Nederlandse kassen is mengventilatie doormiddel van luchtramen, aangevuld met mechanische systemen. Door dit systeem verdwijnt een groot deel van de toegevoegde CO₂ van de buitenlucht. Mechanische ontvochtiging kan ervoor zorgen dat de ramen dicht kunnen blijven en CO₂ bespaard wordt. Bovendien kan er

Een goed ventilatiesysteem zorgt voor de juiste balans in luchtkwaliteit, comfort en energieprestatie van een gebouw. Er worden vier types ventilatiesystemen onderscheiden (systeem A, B, C en D). Deze indeling is gebaseerd op hoe lucht wordt toe- en afgevoerd. In 7 op de 10 woningen vindt natuurlijke ventilatie plaats (systeem A): verse lucht stroomt binnen via naden, kieren en roosters, vervuilde lucht stroomt via afvoerkanalen in de wc en badkamer eruit. In 3 op de 10 woningen wordt systeem C toegepast (mechanische afzuiging, toevoer via roosters). Energiezuinige, gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning (systeem D) wordt al veelvuldig toegepast in de utiliteitsbouw en voor een klein deel in de woningbouw. De meest recente ontwikkelingen op het gebied van energiezuinige ventilatiesystemen laten allerlei mengvormen van systemen zien.

een substantiële hoeveelheid gas bespaard worden. De beschikbare systemen hiervoor zijn nog erg kostbaar waardoor de terugverdientijd nog lang is.

Huidige stand van zaken

Nederland heeft een sterke positie op het gebied van data-analytics van zowel het binnenmilieu als het energiegebruik en gebruikersgedrag. Er is hiervoor veel monitoringsinformatie beschikbaar (bijvoorbeeld uit het MONICAIR-project). Zo wordt de interactie tussen ventilatiesystemen en de gebruiker steeds verbeterd. Ook is er veel kennis van ventilatie en gezondheid, bijvoorbeeld toegepast op emissies die vrijkomen tijdens het koken.

Zo zijn er op de markt al veel innovatieve ventilatieconcepten verkrijgbaar. Er zijn steeds meer innovaties verkrijgbaar op het gebied van (slimme) vraag gestuurde ventilatie en zonering. Ook worden steeds meer ventilatieconcepten gecombineerd met afgiftesystemen en/of kookafzuiging. Decentrale ventilatiesystemen met warmteterugwinning kunnen gemakkelijk installeert worden zonder schachten en zijn hierdoor interessante oplossingen voor hoogbouw, al zijn de problemen van windval en geluid nog op te lossen issues. Een andere interessante ontwikkeling is een ventilatiesysteem waarbij lucht via het trapgat van een woning circuleert met centrale WTW en verspreid wordt naar verschillende ruimten via ventilatoren boven de binnendeuren. En ook andersom zijn er systemen die verse lucht inblazen via het trapgat en aan de randen van het gebouw afzuigen, waarmee koudeval van ventilatieroosters in leefruimten wordt voorkomen. Ook op het gebied van passieve ventilatie met of zonder warmteterugwinning wordt veel ontwikkeld. Deze concepten zijn vaak het meeste van toepassing bij nieuwbouw maar de vertaalslag naar de bestaande bouw wordt steeds meer gemaakt.

In de glastuinbouw worden de componenten van mechanische ventilatie geïntegreerd. Hierdoor vinden luchtbehandeling, luchtverdeling in de kas, WTW en ontvochtiging in de kassen plaats. Deze technieken worden wereldwijd toegepast in het hightech kassegment. Dat vraagt hoge investeringen, maar levert een laag energiegebruik en hoge gewasproductie op. Ook op deelcomponenten loopt Nederland voorop, zoals op het gebied van het ontvochtigen met zouten, luchtslurven in de kas, luchtbehandeling in corridors, slimme raamaansturing en kasklimaatregeling. Sommige landen ontwikkelen innovatieve deelcomponenten zoals druppelontvochtiger. Deze leveranciers werken intensief samen met de Nederlandse *turn-key* bouwers; zij zijn de system integrator.

Knelpunten en benodigde innovaties

Verlagen van aanschaf- en installatiekosten

- Het is van belang de totale kostprijs van compleet aangelegde ventilatiesystemen met WTW te verminderen. Dit is inclusief aanschaf-, installatie- en operatiekosten. Aanschafkosten kunnen bijvoorbeeld verlaagd worden door nieuwe ventilatieconcepten en door industrialisering van productieprocessen. Componenten van ventilatiesystemen kunnen veel ruimte innemen in de woning. Installatie gaat vaak gepaard met het openbreken van muren en gevels. Installatiekosten kunnen daarom significant verlaagd worden door het slimmer ontwerpen van plug-n-play installaties die eenvoudig geïnstalleerd kunnen worden.

Wat ook een belangrijke rol kan spelen zijn goedkopere sensoren voor CO₂, luchtvochtigheid en fijnstof om systemen meer vraaggestuurd te laten werken.

Verhogen van (systeem)rendementen en optimaliseren van ventilatiesystemen

- Het is van belang om de efficiëntie van huidige ventilatiesystemen te verbeteren. Dit kan door deelcomponenten te verbeteren, door het systeem te optimaliseren in combinatie met andere technieken of het (door)ontwikkelen van nieuwe systemen. Bij het doorontwikkelen van nieuwe systemen kan worden gedacht aan decentrale en passieve ventilatiesystemen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van filters met lagere drukval en efficiëntere ventilatoren.

Verlagen van geluidsproductie

- Het is ook van belang om het geluid van ventilatiesysteemcomponenten (zoals WTW-units) te verminderen.

Versimpelen en verslimmen van het onderhoudsproces

- Het versimpelen van het onderhoudsproces van ventilatiesystemen is ook een belangrijk aspect bij het ontwerpen van systemen. Het moet met name eenvoudig zijn om filters te vervangen en de kanalen te reinigen. Er moet ook meer focus zijn op *fool-proof* en onderhoudsarme systemen die de mogelijkheden van fouten tijdens installatie en gebruik minimaliseren. In verband met de human capital agenda, moet het testen van de ventilatiekwaliteit (bijvoorbeeld het debiet) in woningen zonder centrale controle of sensoren eenvoudiger worden gemaakt. Goedkope testkits zoals bij de thermocards voor radiatoren kan ook een idee zijn.

Doorontwikkelen en verslimmen van ventilatiesystemen:

- Verdere opschaling van concepten met vraaggestuurd ventileren is nodig. Vraagsturing kan plaatsvinden op basis van aanwezigheid, met sensoren, ventilatiemeters of op andere manieren. Systemen met sensoren voor vocht, CO₂ en VOC zijn nodig. Daarnaast dienen nieuw ontworpen systemen rekening te houden met zonerings- en compartimentering van de woning. Voor meer informatie zie MMIP3.

Integratie van ventilatieverbetering in totale renovatieconcepten

- De ventilatie heeft een grote invloed op oververhitting. Daarom zijn innovatieve systeemoplossingen van belang die samenwerken met de verwarming, koeling, en spui-ventilatie. Daarnaast is het van belang om de inzichten van de energieprestatie te verbeteren. Kwaliteitskader, meetmethodes en data-analytics kunnen leiden tot het realiseren van de beloofde prestaties van het ventilatiesystemen in de praktijk.

Aandachtspunten voor beleid

- Normen voor energiezuinigheid en comfort/gezondheid zouden met elkaar kunnen conflicteren en zouden meer in samenhang opgesteld kunnen worden (bijvoorbeeld in combinatie met CO₂ sensoren).
- Verbeteren van kennisdeling over wat een duurzaam én gezond binnenklimaat is en daarmee het belang van een goede ventilatie is van belang.

- Belang van de integratie/samenwerking van kookafzuiging met de overige ventilatie is veelal onderbelicht. Meer bekendheid en regelgeving is nodig.

Deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag

Inleiding

Het synchroniseren van vraag en aanbod van energie is één van de grootste uitdagingen van de energietransitie. De warmtevraag beslaat circa 75% van de totale energievraag in een woning en omvat verwarming en warm tapwater. Met mogelijkheden om warmte te kunnen bufferen in een woning/gebouw kan de ongelijktijdigheid van warmtevraag en warmte- of elektriciteitsaanbod worden opvangen. Deze ongelijktijdigheid speelt zich af op verschillende tijdschalen; variërend van dag-nacht tot tussen de seizoenen. De hoofdvraagstukken in dit deel van het programma zijn:

- Het oplossen van de mismatch tussen warmte- en elektriciteitsaanbod en de vraag en het 'achter de meter' kunnen benutten van energie. Onder meer die van PV, PVT en zonthermische systemen;
- Het overbruggen van de winterperiode van enkele aaneengesloten weken waarin bepaalde vormen van hernieuwbare energie (zoals zon of wind) minder beschikbaar zijn om in de warmtevraag te kunnen voorzien, de zogeheten *Dunkelflaute*;
- Het afvlakken van de piekbelasting in het energienet, in vraag en/of aanbod, zowel in het elektriciteits- als warmtenet. Het bieden van 'flex' aan de lokale infrastructuur.

Het plaatsen van kleinschalige warmteopslag in of naast gebouwen kan helpen om periodes met ongelijktijdige warmtevraag en warmte- of elektriciteitsaanbod te overbruggen. De technieken voor compacte warmteopslag zijn:

- Voelbare warmteopslag in (vaten of opbergruimtes met) o.m. water, vloeibaar zout, olie, zand, steen, keramiek. Voor voelbare warmteopslag in aquifers zie deelprogramma 5.
- Latente warmteopslag in phase-changing materials (PCM's) oftewel overgangsfasematerialen.
- Warmteopslag in thermochemische materialen (TCM's) oftewel in chemische verbindingen.
- Warmteopslag door redox principes zoals chemical looping combustion (CLC's).

Voor buffervaten en opslagsystemen voor alleen tapwater zie deelprogramma 4.2. Grootschaliger opslag op buurt/wijk/stad niveau komt terug in deelprogramma 4.5. Benodigde innovaties voor individuele bodemwarmte-oplossingen komen aan de orde in deelprogramma 4.7.

Huidige stand van zaken

Er wordt in Nederland gewerkt aan verschillende typen warmteopslagtechnologieën:

- Voelbare warmteopslag in (vaten of opbergruimtes met) water, vloeibaar zout, olie, zand, steen, keramiek.
- Latente warmteopslag in phase-changing materials (PCM's).

- Warmteopslag in thermochemische materialen (TCM's).
- Warmteopslag door redox principes zoals chemical looping combustion (CLC's).

Bij voelbare wamteopslag wordt een materiaal (voelbaar) warmer gemaakt om warmte op te slaan en vervolgens afgekoeld om warmte af te staan. Kleinschalige wateropslag is commercieel beschikbaar op verschillende temperatuurniveaus: van buffervaten voor verwarming, boilervaten voor tapwater en hogere temperatuurvaten voor kokend water aan het tappunt. In Nederland brengen diverse fabrikanten dergelijke systemen op de markt. Momenteel wordt voornamelijk naar de optimale configuratie gezocht van deze kleine wateropslag in relatie tot de beschikbaarheid van verschillende laag-vermogen warmtebronnen. Dit vraagt om een geoptimaliseerde buffer (wat betreft volume, aantal en momenten van laden en ontladen) om fluctuaties in het aanbod en de vraag efficiënt op te vangen. Interessant zijn recente ontwikkelingen van systemen waarbij de reguliere waterbuffer wordt gecombineerd met PCM's in één vat om de voordelen van beide te combineren. En systemen waarbij wordt gewerkt met verbeterde isolatie van de opslag, onder meer met vacuüm.

PCM's zijn materialen waarvan de faseverandering van vast naar vloeibaar en v.v. wordt gebruikt om warmte op te slaan en af te staan. Compacte warmteopslag middels PCM's kent een aantal commerciële systemen voor individuele huizen en appartementengebouwen, waarbij het laden plaatsvindt via een warmtepomp en/of uit (rest/zonne)warmte. Deze systemen kunnen een beperkte capaciteit aan warmte opslaan met voldoende vermogen voor de eindgebruiker. De sleutel voor brede uitrol in de gebouwde omgeving ligt voornamelijk in de integratie tot totaaloplossingen voor klimaatbeheersing en tapwatervoorziening die aansluiten bij de *use-case*. De verdere ontwikkeling van dergelijke geïntegreerde producten, waarbij onder andere materiaalverbeteringen, combinaties van technieken en geoptimaliseerde verpakkingstechnieken zal moeten plaatsvinden.

TCM's zijn materialen waarbij de energie ligt opgeslagen in een chemische verbinding. Warmte wordt opgeslagen wanneer twee chemische stoffen splitsen en wordt weer afgestaan wanneer deze stoffen met elkaar reageren. Uit het projectenportfolio van de TKI Urban Energy blijkt dat TCM-opslagstechnieken nu aan eerste praktijktesten toe zijn. De techniek heeft op labschaal potentie getoond, maar moet nog geïntegreerd worden in het gehele (centrale en decentrale) energiesysteem van een huis, blok of wijk. Op het gebied van materiaal, reactor en integratie moeten nog stappen worden gezet voordat commercialisatie van deze opslagstechniek mogelijk is. Hierbij vormen de KPI's zoals vermogen, compactheid, stabiliteit (# laad/ontlaad cycli) en prijs (potentie) de leidraad voor verdere ontwikkeling, mede in de context van opschaling.

Een voorbeeld van warmteopslag door redox principes (zoals CLC's), is het reduceren van een metaaloxide met waterstof ontstaat metaal. Dit metaal kan later wanneer warmteproductie nodig is in contact worden gebracht met zuurstof uit de buitenlucht. CLC / opslag met behulp van redox reacties zit vooral voor kleinschalige toepassingen nog in een vroegere ontwikkelfase (ten opzichte van TCM), en het principe dient eerst op labschaal verder gevalideerd en ontwikkeld te worden. Er worden op dit moment pilots uitgevoerd om de techniek te testen in het lab, maar nog niet op woningniveau.

Waar initieel vooral werd gezocht naar standalone oplossingen, is er nu meer aandacht voor de integratie van systemen. We zien de toepassing van combinaties van warmtepompen, zonthermie/PVT en warmteopslag. Deze hebben de potentie om het elektriciteitsnet te kunnen balanceren, om een groter deel van de energieopwekking uit zon en wind op te kunnen vangen en de leveringszekerheid van duurzame energie aan gebouwen te garanderen. Er is nog onderzoek nodig naar de echte rendementen in relatie tot de kostprijs van dergelijke complete systemen.

Naast deze compacte, kleinschalige warmteopslagmethoden kunnen ook andere opslagconcepten van toepassing zijn voor individuele gebouwen/woningen. Bijvoorbeeld verticale bodemwisselaars kunnen gebruikt worden als een seizoenbuffer voor een hogere COP van warmtepompen in de winter. Dit soort opslagsystemen hebben ook potentie voor integratie met individuele zonthermische systemen om zo overtollige warmte in de zomer op te kunnen slaan voor het stookseizoen. Bodemlussen en WKO's worden verder besproken in deelprogramma 4.7 over lage temperatuur warmtebronnen.

Knelpunten en benodigde innovaties

Verlagen van aanschaf- en installatiekosten van bestaande concepten

- Uit een in 2020 uitgevoerde studie blijkt dat de kleinschalige opslag van warmte qua kostprijs voor 2030 nog moeilijk lijkt te kunnen concurreren. En daarmee dat een grote commerciële doorbraak op dit vlak – in elk geval in Nederland – nog uit zal blijven. Innovatie is hierbij de sleutel om tot betaalbaardere concepten te kunnen komen.

Verhogen van (systeem)rendementen en optimaliseren van warmteopslagsysteem

- De uitdaging is om het rendement van het opslagsysteem te optimaliseren. Dat kan door de omzettingsverliezen te verkleinen, het opslagverlies te verkleinen (indien van toepassing) en bijv. door het laden/ontladen slim te timen en door het opslagsysteem voor zowel verwarmen van het gebouw, warmtapwater als voor ontdooien van de verdampers van de warmtepomp te gebruiken. Maar ook door verschillende temperaturen en opslagmedia te combineren, zoals een traditionele boiler met water i.c.m. PCM/TCM waardoor meer warmte kan worden opgeslagen in een kleiner volume c.q. de voordelen van beide kunnen worden gecombineerd. Ook het toepassen van alternatieve technieken om legionella in het tapwatersysteem te bestrijden kunnen leiden tot een hogere efficiëntie.

Verbeteren van integratie van warmteopslagsystemen in (renovatieconcepten voor) de bestaande bouw

- Door opslag in slimmere vormen te ontwikkelen kan de inpassing van grotere volumes verbeterd worden. Mogelijk zijn er ook opties om bij renovatie de opslag te integreren in prefab bouwdelen.

Specifieke aandachtspunten voor het doorontwikkelen van TCM-concepten:

- Optimalisatie van warmteopslag-materiaal, met name op het gebied van vermogen en cyclische stabiliteit, alsmede wat betreft de geometrie van deeltjes om optimaal

presterende compacte reactorbedden te realiseren. Veiligheid en betaalbaarheid vormen cruciale randvoorwaarden.

- Prijsdaling: Eerste generatie opslagsystemen die goedkoop en met gegarandeerde prestatie (stabielheid, compactheid, vermogen, levensduur/cycli, etc.) op industriële schaal geproduceerd kunnen worden.

Doorontwikkelen van regelsystemen voor kleinschalige warmteopslagsystemen en kunnen bieden van flex naar het elektriciteits- of warmtenet:

- De ontwikkeling van optimale regelstrategieën (laden/ontladen) voor de diverse configuraties van een kleinschalig warmteopslagsysteem (met diverse hoge en lage temperatuurbronnen, waaronder warmtenet, PV, zonthermisch en warmtepomp), in het lokale (decentrale) en centrale energiesysteem, en in de balancering daarvan. Dit thema heeft links met MMIP3 voor wat betreft de gebouwbeheersystemen en MMIP5 voor de flex-component.

Doorontwikkelen van circulaire concepten voor kleinschalige warmteopslagsystemen:

- Net als bij warmtepompen is het van belang al vanaf het eerste ontwerp van nieuwe systemen rekening te houden met circulaire aspecten om de Nederlandse ambities van een volledig circulaire economie in 2050 te halen. Veel innovaties bevinden zich nog in een vroege fase, maar juist die waar opschaling en massaproductie vormgegeven gaat worden is het circulair denken van belang naast de focus op de CO2 besparing tijdens de levensduur.

Aandachtspunten voor beleid

Verfijning van de salderingsregeling-afbouw waardoor er meer aandacht komt voor 'uitgesteld gebruik van energie' en ook de strijd om dakoppervlak makkelijker door zonthermische systemen kan worden gewonnen, waardoor warmteopslag een vlucht kan gaan nemen.

Om de kennisvoorsprong van Nederland op dit terrein vast te houden cq uit te kunnen bouwen en ook de economische vruchten te kunnen plukken moeten instrumenten voor versnelling beschikbaar komen, als cruciale randvoorwaarde om een competitieve voorsprong voor Nederlands bedrijfsleven te creëren.

Deelprogramma 4: duurzame warmte- en koudenetten

Inleiding

In het Klimaatakkoord is vastgelegd dat van de 1,5 miljoen extra woningen die in 2030 aardgasvrij moeten zijn ruim de helft aangesloten zal zijn op een warmtenet. Eind 2021 moeten alle gemeenten een Transitievisie Warmte (TVW) hebben opgesteld. Hierin moeten zij warmtekavels aanwijzen en moeten ze aangeven wanneer en met welke route (uit de Startanalyse) wijken van het gas af gaan. Dit is belangrijk in de strategiebepaling voor de ontwikkeling en uitrol van warmtenetten in Nederland.

Met warmtenetten wordt de mogelijkheid gecreëerd om lokale warmtebronnen en restwarmte te benutten, grootschalige opslag te gebruiken en centraal – in één keer – een heel gebied te verduurzamen.

Niet alleen nieuwe (bestaande) wijken moeten worden aangesloten op een warmtenet, ook bestaande warmtenetten moeten worden verduurzaamd. Er spelen allerlei vragen waar antwoorden op gevonden moeten worden. Eerst een warmtenet aanleggen op hoge

temperatuur om vervolgens – na isolatie van de aangesloten woningen – de temperatuur te verlagen? Of juist andersom? En wat als bewoners in een wijk op gas willen blijven koken of een gashaard willen handhaven, moet gas dan beschikbaar blijven? En kunnen bewoners gedwongen worden om aan te sluiten? Of kan de gaskraan in een bepaald jaar worden afgesloten? Wie overbruggt de periode tussen de uitrol van een warmtenet waarbij na een aantal jaren pas voldoende woningen en gebouwen zijn aangesloten (het zgn. vollooprisico)? Om succesvol warmtenetten te kunnen aanleggen is op allerlei vlakken innovatie nodig. Van technische en economisch/financiële innovatie tot en met sociale/maatschappelijke innovatie en regelgeving.

Dit deelprogramma richt zich op warmtedistributie en het ontwerp-, implementatie- en organisatieproces van warmtenetten. Deelprogramma 4.2.1 richt zich op warmteaflevering (afleversets), 4.5 op grootschalige opslag/buffers in een warmtenet en deelprogramma 4.6 en 4.7 richten zich op warmtebronnen.

Huidige stand van zaken

De warmteopwekking vindt op dit moment nog hoofdzakelijk plaats met fossiele brandstoffen, restwarmte (van afvalverbranding) en biomassa. Doordat warmte veelal

Een warmtenet is een collectieve oplossing om gebouwen te verwarmen. Dit systeem is op te delen in een warmtebron, distributie en aflevering. Er zijn verschillende temperatuurniveaus van warmteafgifte voor warmtenetten: hoge temperatuur (HT; >75°C), midden temperatuur (MT; 55 – 75°C), lage temperatuur (LT; 30 – 55°C) en zeer lage temperatuur (ZLT; 10 – 30°C). Sommige LT en ZLT-warmtenet concepten bieden ook de mogelijkheid om koude te leveren. Bij LT en ZLT-warmtenetten zijn de warmteverliezen lager. Er is dan wel een betere isolatie nodig in de aangesloten woningen en er zijn soms speciale afgiftesystemen nodig. Voor warmtenetten zijn ook de organisatie en de financiële haalbaarheid en betaalbaarheid van belang. Warmtenetontwikkeling kan vanuit diverse initiatieven ontstaan en vanuit verschillende governance-modellen georganiseerd.

afkomstig is van warmtekrachtinstallaties, waarbij met een hoog overall rendement fossiele brandstoffen worden omgezet in elektriciteit en warmte, vinden momenteel wel CO₂-besparingen plaats ten opzichte van verbranding voor alleen warmte of elektriciteit. Ook is hoge temperatuur restwarmte van industriële processen een belangrijke bron voor hoge en midden temperatuur warmtenetten. Met de publicatie van de standaard en streefwaarden is een belangrijke stap gezet om inzicht te hebben in de uiteindelijke isolatieniveaus van woningen en gebouwen.

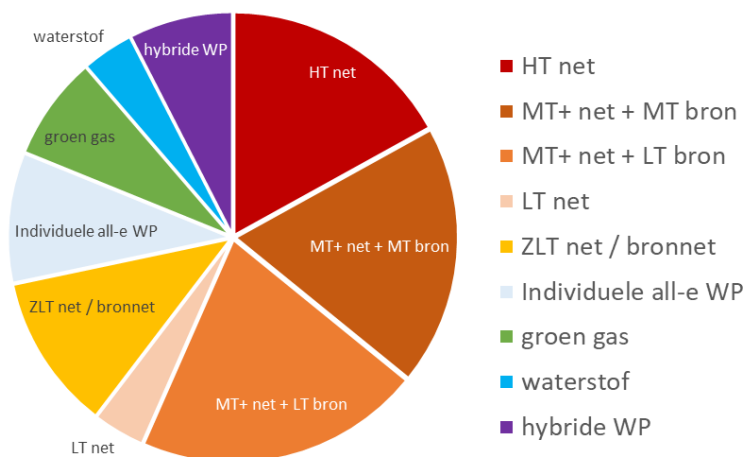
Binnen het nationale consortium WarmingUp wordt gewerkt aan de optimalisatie van ontwerp en regelstrategie en goede integratie van duurzame bronnen inclusief opslag. Gestandaardiseerde, gevalideerde methoden en een instrumentarium dat gebruikt kan worden voor het gehele traject van conceptueel ontwerp tot realisatie van een collectief warmtesysteem in de gebouwde omgeving worden voor de markt beschikbaar gesteld.

In Nederland wordt ook gewerkt aan innovatieve 4^e en 5^e generatie warmtenetten. Vierde generatie warmtenetten opereren veelal op lagere temperaturen (<70°C), waardoor er minder energieverliezen optreden, en er een veelvoud aan duurzame bronnen op hetzelfde warmtenet aangesloten kunnen worden. Vijfde generatie warmtenetten opereren op nog lagere temperaturen, i.c.m. warmtepompen om de benodigde temperaturen te kunnen leveren. Naast warmte leveren vijfde generatie warmtenetten ook koeling en is daardoor goed te combineren met WKO's en andere vormen van opslag. In het kader van het toenemend aantal extreem warme dagen i.c.m. de verregaande isolatie van gebouwen neemt het risico op hittestress toe. Het ontwikkelen van 'warmte'netten waarmee gebouwen ook kunnen worden gekoeld neemt daarmee in belang toe. Een belangrijk aspect van de ontwikkeling van vierde en vijfde generatie warmtenetten is de slimme aansturing van en interactie tussen verschillende bronnen voor warmte en koude en afname. Bronnetten krijgen ook steeds meer aandacht en opereren op zeer lage temperaturen (<20°C). Water op deze temperaturen dient als warmtebron voor warmtepompen in gebouwen en kan direct voor koeling worden gebruikt.

In de eerste Transitievisies Warmte die door gemeenten zijn gepubliceerd wordt in bestaande wijken veel gekozen voor MT/HT (70°C) warmtenetten. Deze keuze is gedreven door de beperking van de zeggenschap 'achter de meter' en de benodigde investeringen die gebouweigenaren (op hun eigen moment) zouden moeten doen om aan lagere temperatuurnetten te kunnen aansluiten. Door een warmtenet op hogere temperatuur uit te rollen zijn er achter de voordeur niet/nauwelijks aanpassingen nodig. Nadeel van een dergelijke strategie is dat er een zekere 'lock-in' ontstaat en dat warmteverliezen in het net moeten worden gecompenseerd.

Bij de projecten in de regeling Proeftuinen Aardgasvrije Wijken (PAW) van het Ministerie van BZK – en zeker in de tweede tranche – wordt vaker ingezet op midden- en (zeer)lagetemperatuur warmte- en bronnetten. Daarmee kunnen ook lokale en duurzame bronnen worden aangesloten. Voor de derde tranche is LT/MT zelfs als voorwaarde gesteld in combinatie met een plan om de aangelegen woningen te isoleren.

Wat ook blijkt uit de PAW Monitor 2020 is dat de businesscase van aardgasvrij maken van bestaande wijken niet rondkomt zonder een aanvullende (Rijks-)bijdrage. Er blijken bovendien in de praktijk grote verschillen in kosten te zijn tussen de eerste berekeningen en de daadwerkelijke aanlegkosten. In diverse projecten wordt geprobeerd om beter inzicht te krijgen in de kosten van de aanleg van warmtenetten en hoe die verder te optimaliseren.



Verdeling technieken van de Proeftuinen Aardgasvrije Wijken 1^{ste} en 2^{de} ronde

Het verduurzamen van de reeds bestaande MT/HT warmtenetten blijkt niet eenvoudig anders dan met bijvoorbeeld biomassa. Door de beschikbaarheid en discussie over deze warmtebron moet naar nieuwe strategieën worden gezocht. Op vele plaatsen zijn geen bronnen beschikbaar die warmte kunnen leveren op de benodigde temperatuur. Vooral geothermie zou hier een oplossing kunnen bieden, maar heeft zo haar eigen uitdagingen. Zie verder deelprogramma 4.6.

Er lopen diverse pilot- en demonstratieprojecten waarbij LT-bronnen worden gebruikt of zelfs meerdere daarvan gecombineerd in één net. Denk hierbij aan restwarmte van lokale bronnen zoals supermarkten, aquathermie en datacenters. Ook zijn er voorbeelden van bedrijven die onderling warmte en koude uitwisselen. Interessant in dit kader is ook het 'Ophaalrecht' dat in de nieuwe Warmtewet 2 is voorzien. Zie verder deelprogramma 4.7.

Warmtenetten zijn van oudsher lokale monopolies, waarbij één warmtebedrijf verantwoordelijk is voor de levering aan de klanten en daarmee aan de gehele keten: de productie van warmte, het distributienetwerk en de levering aan de consument. Na de consultatie over de Warmtewet 2.0 in de zomer van 2020 is het wachten op de definitieve nieuwe wet. Deze zal voor een belangrijk deel de mogelijke eigendoms- en organisatievormen bepalen.

De financiering van warmtenetten wordt ook doorontwikkeld. Er zijn al warmtenetten die rekenen met een langere termijn om tot 'volloop' te komen op natuurlijke momenten van de bewoners.

Kleinschalige warmtenetten:

Doordat met de grootte van een warmtenet ook de complexiteit toeneemt zijn meerdere concepten op de markt gekomen die zicht richten op kleinschalige warmtenetten. Denk hierbij aan concepten die enkele huizen collectief verwarmen, of bijvoorbeeld één flat (zoals blokverwarming). De concepten lopen uiteen van met de inzet van combinaties van onder meer een collectieve bodembron, een ijsbuffer, grootschalige warmteopslag, PVT-panelen i.c.m. centrale en/of decentrale warmtepompen. Ook is er een partij op de markt verschenen met een LT-warmtenetconcept die pijpleidingen via de dakgoten aanlegt om zo op kosten te besparen die normaal gemaakt worden bij het graven en aanleggen van leidingen.

Gemeenten zoeken nog naar hun rol in de wijkaanpak. Na de publicatie van de Warmtetransitie Visies eind 2021 moet het werk immers nog beginnen. De rollen kunnen uiteenlopen van het voeren van regie en bieden van ondersteuning tot en met het (helpen) oprichten van een gemeentelijk /lokaal warmtebedrijf. Een belangrijk thema dat bovendien speelt is de verhouding tussen de collectieve en de individueel benodigde investeringen. Een warmtenet met een hogere aanvoertemperatuur vereist minder aanpassingen (en dus investeringen) van de individuele woning/gebouweigenaar dan als gewerkt wordt met een lagere temperatuur.

Projecten in de lage TRL-niveaus doen onderzoek naar het opzetten en uitrollen van nieuwe slimme warmtenet-infrastructuren. Belangrijke aandachtspunten zijn hierbij de invoer van meerdere warmtebronnen: hoe kan je garanderen dat er genoeg invoer is en hoe optimaliseer en beheer je het hele warmtesysteem? Ook wordt er gekeken naar andere bronnen zoals warmtewinning uit oppervlakte-, afval- en drinkwater, (zeer)lagetemperatuur afgifte of de combinatie met warmteopslag. Onderzoek in de hogere TRL-niveaus vindt plaats op het gebied van slimme sturing van netten, verslimmen van lekdetectie en het ontwikkelen van warmtenetten voor de (glas)tuinbouw. Ook loopt er nu een project om de efficiëntie van geothermiegevoede warmtenetten te verbeteren middels *drag-reducing agents* (DRA's). DRA's kunnen een oplossing bieden om de stromingsweerstand van dit soort warmtenetten substantieel (20-30%) te verminderen. Hierdoor treden er minder warmteverliezen op en kunnen kleinere leidingdiameters gebruikt worden. Dit kan leiden tot lagere systeemkosten voor zowel geothermische systemen als warmtenetten.

Knelpunten en benodigde innovaties

Doorontwikkelen van burgerparticipatie en (open) governance modellen:

- Voor warmte- en koudnetten met verschillende bronnen gaat het niet alleen om de technische en operationele inpasbaarheid, maar ook andere samenwerkingsvormen zijn nodig. Zoals überhaupt van toepassing op de hele energietransitie is er sociale innovatie nodig om collectieve oplossingen geaccepteerd te krijgen. Sociale innovaties op vlak van burgerparticipatie en acceptatie spelen hierbij een belangrijke rol. Maar ook innovatieve manieren van organiseren en juridisch en financieel structureren zijn nodig om nieuwe warmtenetten in bestaande wijken aan te kunnen leggen. Een innovatierichting is ook de ontwikkeling van (voor Nederland) nieuwe governance-vormen van collectieve warmtesystemen die het maatschappelijk draagvlak vergroten, financierings- en eigendomsmodellen ontwikkelen, kosten reduceren of

duurzaamheid van bronnen waarborgen cq multibronnen strategieën ondersteunen.

Doorontwikkelen van warmtenetten die ook koude leveren:

- Door het veranderende klimaat en de toename van woningen met hogere isolatiewaardes, zal hittestress in de zomer steeds meer voor komen. Daarom is de inzet van koudnetten die koeling kunnen verzorgen ook belangrijk, vanuit het net of bijvoorbeeld met sorptiekoeling. Daarnaast kan de warmte die uit woningen onttrokken wordt gebruikt worden voor het regenereren van warmtebronnen in WKO en geothermie systemen of geleverd aan andere gebouwen. Verdere uitwerking en kennisontwikkeling zullen sterk zijn gekoppeld aan het realiseren van pilotprojecten.

Optimaliseren en goedkoper maken van aanlegmethoden en verminderen van overlast in de wijk bij het aanleggen van warmtenetten:

- Door de ontwikkeling van nieuwe graafconcepten (bijvoorbeeld zonder het openbreken van de straat of beperken van schade aan andere infrastructuur), wordt het mogelijk om sneller en efficiënter warmtenetten aan te leggen. Dit kan leiden tot verdere kostendalingen en het verhogen van maatschappelijk enthousiasme. Ook worden planningstools gekoppeld aan andere (planning)systemen, zodat geplande werkzaamheden aan wegen, straten en andere ondergrondse netten inzichtelijk worden en afstemming en kostenreductie mogelijk worden. Wat ook een rol kan spelen bij kostenverlaging zijn isolatieloze warmtenetten waarbij verliezen beperkt zijn door een lage temperatuurverschil met de bodem.

Verminderen van ruimtegebruik en verbeteren van het aanzicht van bovengrondse en ondergrondse onderdelen:

- Ruimtegebruik is een belangrijk aandachtspunt voor de gebouwde omgeving. Dit is vanwege een grote gebouwdichtheid en een beperkte hoeveelheid (openbare) ruimtes die ook gebruikt moet worden voor groen, recreatie of andere functies. Het is daarom van belang om het ruimtegebruik en het aanzicht van warmtenet onderdelen zo veel mogelijk te verminderen. Belangrijk hierbij is dat aanpassingen niet (zwaar) ten koste moeten gaan van functionaliteit en kosten.

Verhogen van (systeem)rendementen door het ontwikkelen van efficiëntere infrastructuur en onderhoud:

- Het verder optimaliseren van de infrastructuur door warmteverliezen in transport- en distributienetwerk, afleversets, buffers, e.d. verder te reduceren. Ook kunnen methoden worden ontwikkeld om de retourtemperatuur in warmtenetwerken te reduceren, met als doel om de efficiëntie van de warmtebronnen te verhogen en het energieverlies van de pompenergie te verlagen. En de ontwikkeling van detectie- en diagnosemethodes om temperaturen in het net verder te optimaliseren en fouten in het warmtenetwerk (bijvoorbeeld onderstations, pompen, kleppen, etc.) snel op te sporen en verhelpen.

Verhogen van (systeem)rendementen door het optimaliseren van configuraties voor warmte- en koudnetten:

- Er is behoefte aan verdere optimalisering en flexibilisering van het warmte- en koudenetten met meerdere bronnen en verschillende temperaturen om zo verduurzaming en cascadering van warmte en koude te stimuleren. Hierbij spelen de beschikbaarheid, temperatuurniveau, leveringszekerheid en afhankelijkheid van warmtebronnen een belangrijke rol. Niet alleen op de korte termijn (dag tot dag, seizoen tot seizoen) maar ook op langere termijn (of restwarmte wel/niet beschikbaar is over een paar jaar).

Doorontwikkelen van warmtenetsystemen met meer flexibiliteitspotentieel

- Warmtenetten kunnen een rol spelen bij het leveren van flexibiliteit aan het elektriciteitsnet door tijdelijk temperaturen te verhogen en/of buffers en gebouwmassa in te zetten voor de warmtelevering en zo het elektriciteitsnet te ontlasten.

Doorontwikkelen van keuzetools, ontwerpprocessen en uitrolmodellen voor warmte- en koudenetten:

- Verschillende configuraties hebben voor- en nadelen, zowel technisch als economisch. Zo zal de inzet van lage temperatuur warmtebronnen gekoppeld zijn aan collectieve en/of individuele warmtepompen die warmte kunnen opwaarderen naar de in gebouwen benodigde temperaturen. Er is meer kennis nodig over welk totaalconcept het beste bij verschillende type wijken past qua kosten, CO₂-reductie en energieprestatie, waarbij het niet alleen gaat om de kosten en duurzaamheid van het collectieve warmtesysteem, maar ook de duurzaamheidsaspecten van en in de woningen zelf, zoals isolatie, (elektrische) bij- of naverwarming, WTW, etc. Hiertoe moeten de reeds beschikbare keuzetools verder doorontwikkeld worden zodat deze betrouwbaarder inzicht kunnen geven in technische, energetische en financiële consequenties van bepaalde keuzes. Ook ten aanzien van het bepalen van de optimale routing, locatie van tussenstations, opslag, e.d. is ook behoefte aan slimme tools.

Doorontwikkelen van specifieke strategieën voor het mitigeren van het volloopriscico:

- Met het volloopriscico wordt bedoeld dat in een wijk niet alle gebouwen op hetzelfde moment of wellicht überhaupt niet zullen aansluiten op het aan te leggen warmtenet. Er is behoefte aan technisch/economische concepten om dit volloopriscico te mitigeren. Denk o.m. aan nieuwe technieken waarbij het later aansluiten van woningen/gebouwen kosten efficiënt kan plaatsvinden.

Doorontwikkelen van circulaire concepten voor warmtenetsystemen:

- Warmtenetten vereisen veel materiaal en worden voor de lange termijn aangelegd. Nieuwe methoden, technieken kunnen worden ontwikkeld om de levensduur te verlengen, repareerbaarheid te vergroten en bijvoorbeeld de restwaarde te optimaliseren aan het einde van de levensduur of bij vervanging.

Aandachtspunten voor beleid

- Het belangrijkste beleidskader in dit thema is de warmtewet, waarvan de opvolger Wet collectieve warmtevoorziening (warmtewet 2), in januari 2022 in werking zou moeten gaan treden. In de zomer van 2020 heeft de internetconsultatie voor deze nieuwe wet plaatsgevonden.

- Zoals bij 'Huidige stand van zaken' al is aangegeven zijn met de huidige regelgeving en beprijzing warmtenetten duurder dan de all-electric route. Op nationale schaal lijkt zich een probleem af te tekenen in perioden van 'dunkelflaute' omdat (vooral LW) warmtepompen dan maximaal vermogen en volume aan elektriciteit vragen, terwijl er minder duurzame elektriciteit beschikbaar is. Met warmtenetten en grootschalige opslag kan dit effect worden gedempt. Overwogen zou kunnen worden – om nationale kosten te voorkomen – om de aanleg van warmtenetten deels te 'socialiseren' en of financieel te stimuleren met bijv. instrumentarium dat tussen de ISDE en SDE in zit. Maar denk ook aan ondersteuning om het financiële risico van een langjarig volloop scenario te mitigeren.
- Er zijn afspraken gemaakt hoe de duurzaamheid van een warmtenet berekend moet worden met de EOR. Duurzamere (Z)LT en MT-warmtenetten die werken met (Z)LT-bronnen en warmtepompen scoren niet goed in de huidige berekeningswijze van de EOR. Dit komt omdat bij deze methode het elektriciteitsgebruik 'afgerekend' wordt op basis van de gemiddelde uitstoot van de stroommix. HT-warmtenetten die worden hun warmte ontvangen van afvalverbranding (50% van CO₂-uitstoot meerekenen) en/of biomassastook (0% CO₂ uitstoot) scoren het beste op de EOR. Een idee kan zijn om bijvoorbeeld een tweede berekeningswijze toe te voegen die onderscheid maakt naar 'lokale' en 'nationale' CO₂/NO_x/fijnstof uitstoot (schoorstenen principe). En/of dat er een onderscheid kan worden gemaakt tussen groene en grijze elektriciteit afhankelijk van het moment dat deze wordt gebruikt en hoe duurzaam de stroommix op dat moment is. Initiatieven in die richting lopen.
- Ondergrondbeleid: regelgevend kader voor positionering van warmte/koudeleidingen t.o.v. drinkwater/riool/etc. En onderzoeken of wettelijk en binnen kaders 'meekoppelkansen' beter kunnen worden georganiseerd.
- Creëren van handelingsperspectief voor bewoners vanuit een wettelijke kader. Bijvoorbeeld door duidelijkheid te geven aan bewoners in de bepaalde wijk over de beschikbaarheid van aardgas op middellange/lange termijn.
- Er is een beleidskader nodig voor het al dan niet toestaan van het doorkruisen van waterkeringen en andere kritieke infrastructuur voor de aanleg van de benodigde infrastructuur voor LT-bronnen en warmtenetten.
- Het belang van koude blijft onderbelicht in beleid. Er wordt te veel alleen over warmtetransitie gesproken, terwijl het steeds warmere klimaat

Deelprogramma 5: grootschalige warmteopslag

Inleiding

In tegenstelling tot een kolen- of gascentrale kunnen veel hernieuwbare energiebronnen niet aan en uit worden gezet. Bijvoorbeeld zonne-energiesystemen leveren vooral in de zomer en overdag warmte en/of elektriciteit. Andere warmtebronnen zoals geothermie en (industriële) restwarmte voorzien veelal in een constantere stroom aan warmte ongeacht of er op dat moment vraag naar die warmte is. Grootschalige warmteopslag maakt het mogelijk om overtollige warmte tijdelijk op te slaan en te gebruiken op een moment dat er wel vraag naar is.

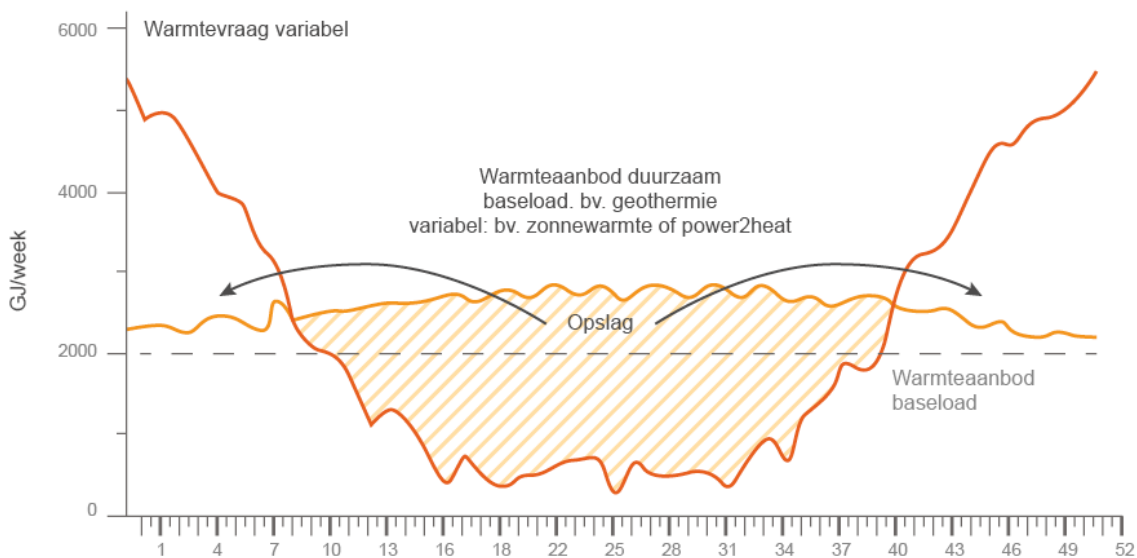
Voor warmtenetsystemen gevoed door (opgevaardeerde) hernieuwbare warmtebronnen is het noodzakelijk om vraag en aanbod optimaal op elkaar te laten aansluiten. Zo kunnen duurzame warmtebronnen zo efficiënt mogelijk gebruikt worden en kunnen de kosten voor warmtelevering worden beperkt. Deze systemen kunnen naast seizoensopslag (het overbruggen van langere perioden) ook gebruikt worden om piekvragen in het warmtenet op te vangen. Hiermee is het mogelijk de traditionele gasketels met een opslagsysteem te vervangen om in de piekverwarming te kunnen voorzien. Daarnaast biedt grootschalige warmte-opslag in combinatie met een warmtepomp (*Power2Heat*) mogelijkheden voor extra flexibiliteit in het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld door overschotten aan wind- en zonne-energie in de zomer te benutten voor het laden en opwaarderen van de buffers.

Energieopslag in de vorm van waterstof biedt ook kansen voor de gebouwde omgeving. Echter zijn er veel tegenstanders die aangeven dat waterstof een hogere prioriteit heeft in sectoren waar minder aardgasvrije alternatieven beschikbaar zijn zoals de industrie en heavy transportsectoren. Een aandachtspunt bij dit soort systemen is het conversierendement van en naar waterstof. De warmteverliezen die optreden bij dit soort systemen kunnen gebruikt worden als restwarmte voor warmtenetten. Voor meer informatie over waterstofproductie en -opslag zie het waterstofprogramma van [TKI Nieuw Gas](#). Daarin wordt tot 2025 alleen op enkele pilots in de Gebouwde Omgeving ingezet.

Deelprogramma 3 richt zich op kleinschalige warmteopslagsystemen die voor gebouwen toegepast kunnen worden. Een paar van de technieken die in deelprogramma 3 besproken worden (of zijn al) bewezen op kleine schaal. In de

In grootschalige warmteopslagsystemen wordt hernieuwbare warmte (eventueel opgevaardeerd door warmtepompen) opgeslagen voor later gebruik wanneer er weinig aanbod is. In Nederland gebruiken grootschalige warmteopslagsystemen nu voornamelijk water om 'voelbare' warmte op te slaan. Opslag kan bovengronds plaatsvinden via putten (PTES) en watertanks (TTES). Opslag kan ook ondergronds plaatsvinden via warmte-koudeopslag (WKO-) systemen, diepe *aquifers* (ATES), *boreholes*/boorgaten (BTES), *caverns* of mijnen (CTES) en watertanks die in de grond geplaatst zijn (ook TTES). In de toekomst kunnen opgeschaalde PCM-, TCM- en voelbare warmteopslagsystemen in andere materialen dan water een belangrijke rol spelen (zie deelprogramma 4.3).

toekomst kunnen deze technieken ook opgeschaald kunnen worden voor gebruik in warmtenetten.



Huidige stand van zaken

In deelprogramma 3 worden een paar types warmteopslagtechnologieën besproken. In Nederland gebruiken grootschalige warmteopslagsystemen nu voornamelijk water om voelbare warmte op te slaan. Concepten zoals PCM's en voelbare warmteopslagsystemen in materialen anders dan water worden toegepast op kleine schaal en moeten nog ontwikkeld worden voor gebruik op grotere schaal. Concepten zoals TCM- en CLC-systemen moeten eerst nog in de praktijk bewezen worden op kleine schaal voordat ze ontwikkeld kunnen worden voor een grotere schaal.

In Nederland worden er verschillende types grootschalige warmteopslag toegepast die voelbare warmte in water opslaan. Deze opslagsystemen kunnen onder- of bovengronds toegepast worden. Voorbeelden van toepassingen zijn:

- **Warmteopslag via putten (PTES):** Hier vindt thermische opslag plaats in een put gevuld met water die afgedekt is met een isolatielaag. Dit is een bewezen technologie die veel toepassing in het buitenland (zoals Denemarken) kent. Door deze ervaring en de eenvoudigheid van het systeem zijn kosten goedkoper dan andere systemen. Echter is er wel veel bovengronds ruimte nodig en kunnen de opslagverliezen aanzienlijk zijn. In Nederland worden een paar van dit soort systemen toegepast voor kleinschalige warmtenetten. Een aantal van de PAW-proeftuinen zijn bezig met plannen om PTES-systemen te implementeren.
- **Warmteopslag via watertanks of warmtebuffervaten (TTES):** Wateropslag in vaten op lage druk met temperaturen onder de 100°C wordt al veel toegepast in de glastuinbouw. Tientallen tot honderden kassen maken al gebruik van dit soort systemen. Wateropslag in vaten op hoge druk met temperaturen boven

Afkortingen van opslagsystemen:

PTES = Pit Thermal Energy Storage
 TTES = Tank Thermal Energy Storage
 ATES = Aquifer Thermal Energy Storage
 BTES = Borehole Thermal Energy Storage
 MTES = Mine Thermal Energy Storage
 CTES = Cavern Thermal Energy Storage

de 100°C wordt al op een paar plekken toegepast als buffer voor warmtenetten. Voorbeelden zijn Diemen en Rotterdam. Grootschalige seizoensopslag in een TTES wordt tot op heden nog niet toegepast in Nederland. Voordelen van grote waterbuffervaten (ondergronds) zijn de kleine opslagverliezen en indien ondergronds gebouwd de beperkte impact op de omgeving. De investeringskosten zijn voor dit soort systemen echter hoog. Er wordt gewerkt aan gelaagde business cases waarmee het aantal laad-ontlaadcycli per jaar vergroot wordt en bijvoorbeeld flex-contracten aan het e-net geboden worden.

- **Warmteopslag in ondiepe aquifers (WKO-systemen):** Bij WKO-systemen vindt warmteopslag plaats in ondiepe waterhoudende lagen (aquifers). Door opgewarmd water via boorgaten in de grondwaterlagen te injecteren wordt warmte erin opgeslagen. Er zijn reeds meer dan 2.000 systemen in Nederland in de vorm van WKO en ons land is een van de wereldleiders op het gebied van warmte-koudeopslag (WKO) in de bodem. Echter wordt de warmte op een lage temperatuur opgeslagen (<25°C) en hierdoor is de bijdrage aan de totale warmte- en koudevoorziening beperkt en vooral van toepassing bij utiliteitsgebouwen. In dit MMIP worden WKO's gezien als onderdeel van een bodemwarmtesysteem en daarom behandeld in deelprogramma 4.7 over warmtebronnen.
- **Warmteopslag in diepe aquifers (ATES):** In diepere aquifers (anders dan WKO) kan warmteopslag plaatsvinden op temperaturen hoger dan 25°C. Een voordeel van dit systeem is dat het weinig bovengronds ruimtebeslag heeft. Een aanzienlijke uitdaging is dat volgens het Waterbesluit het in principe niet toegestaan is om een hogere infiltratietemperatuur dan 25°C te hanteren. Toch zijn er al een aantal systemen met toestemming om te opereren tussen de 25-50°C. Dit soort systemen worden middentemperatuuropslag (MTO-) systemen genoemd ook al zijn de temperaturen verschillend met MT-warmtenetten. Voorbeelden zijn te vinden in Wageningen en Monster (Provincie Zuid-Holland). Warmteopslag op temperaturen hoger dan 50°C wordt ook wel hogetemperatuuropslag (HTO) genoemd. In Nederland zijn dit soort systemen nog steeds in ontwikkeling. Met betrekking tot de techniek, de effecten, de robuustheid van de business case en het bijbehorende juridische kader zijn er belangrijke uitdagingen. In het Europese GEOTHERMICA HEATSTORE project wordt een grootschalig demonstratieproject gerealiseerd in Middenmeer. In het WINDOW-project van het WarmingUP initiatief gebeurt ook onderzoek naar HTO-systemen. Naast aspecten van techniek en de business case wordt er in het WINDOW-project ook onderzoek gedaan naar de milieueffecten en grondwaterkwaliteit bij toepassing van HTO-systemen. Drie locaties hebben een positieve, kansrijke beoordeling voor verdere uitwerking als demonstratielocaties in Rotterdam Nesselande, Leeuwarden en Delft. Een locatie in Voorne lijkt ook interessant te zijn voor een demonstratieproject.
- **Warmteopslag in boreholes/boorgaten (BTES):** Systeem waarbij lussen de grond in worden geboord. Dit soort systemen zijn gesloten warmtewisselaars en ze geven hun warmte af (of onttrekken warmte) aan de bodem via de luswand. Gesloten bodem energiesystemen vinden vandaag hun voornaamste toepassing op woningniveau. Denk hierbij aan de bodemlus waar een bodemwarmtepomp op aangesloten is (gesloten WKO-systemen). Er zijn reeds meer dan 40.000 zulke gesloten systemen aanwezig in Nederland. Wereldwijd

doen deze systemen nu ook hun intrede in grootschalige toepassingen. In Nederland is nog geen voorbeeld van BTES-systemen gekoppeld met een warmtenet. In Frankrijk vindt er een BTES-proefproject in Chémery plaats voor het GEOTHERMICA HEATSTORE project. Dit systeem biedt kansen voor warmtenetten door een minimaal bovengronds ruimtebeslag en omdat het makkelijke schaalbaar is. Uitdagingen zijn er met betrekking tot een langzame ontladingsnelheid en wettelijke eisen. Voor gesloten bodemsystemen met een klein vermogen, minder dan 70 kW, is tot op heden enkel een meldingsplicht. Grotere systemen vereisen een vergunning in Nederland.

- **Warmteopslag in caverns of mijnen (CTES/MTES):** Een andere mogelijkheid is warmteopslag in oude schachten of kolenmijnen. Hierbij worden met grondwater volgelopen oude kolenmijngangen ingezet als warmtebuffer voor het warmtenet. Het Mijwaterproject in Heerlen is operationeel en dit 5e generatie warmtenet concept wordt nu verder uitgerold naar andere gemeenten en wijken in Limburg. Door middel van thermische opslag van warm water in de mijnen en slimme warmtenetten worden huizen en gebouwen in de buurt voorzien van duurzame warmte. In Duitsland loopt er ook een MTES-project voor het GEOTHERMICA HEATSTORE project.

Grootschalige warmteopslagsystemen kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren om warmtenetten efficiënter (energetisch en financieel) en duurzamer te laten opereren. Er lopen veel onderzoeken om te verkennen wat de geschiktheid van de ondergrond is voor verschillende opslagsystemen. Op het gebied van systeemintegratie zijn er steeds meer integrale innovatieprojecten die warmteopslagconcepten ontwikkelen in combinatie met warmtenetten en elektriciteitsnetten. Zo worden er ook hybride ondergrondse opslagconcepten ontwikkeld met warmte en elektriciteit. Echter blijven al deze projecten in onderzoeks-, ontwerp- en modeleerfasen. Tot op het heden worden er nog nauwelijks warmteopslagsystemen in de praktijk toegepast voor seizoensopslag en/of als vervanging voor aardgasgestookte piekketels in warmtenetten. Een klein aantal opslagsystemen wordt gebruikt als warmtebuffer voor warmtenetten en het betreft dan voornamelijk bovengrondse opslagvaten. Het is dus belangrijk dat er meer pilot- en demonstratieprojecten plaatsvinden om deze technologieën verder te ontwikkelen als geïntegreerd onderdeel van een collectief warmtesysteem.

In de toekomst kunnen opgeschaalde PCM-, TCM- en voelbare warmteopslagsystemen in andere materialen een belangrijke rol spelen in een collectief warmtesysteem. De technieken achter deze concepten worden in deelprogramma 4.3 toegelicht.

In Nederland is er een partij die nu werkt aan voelbare warmteopslag in basalt. Deze steensoort biedt veel kansen omdat het goedkoop verkrijgbaar is. In het systeem kan de massa stenen tot 500°C opgeslagen worden. Voor deze technologie lopen nu twee pilotprojecten in Sint-Oedenrode en Boekel. Daarnaast is er een Nederlandse partij uit Moerdijk betrokken bij een pilotproject voor warmteopslag in magnetiet in Marokko. Met dit mineraal zijn proeven gedaan met verhitting tot 1000°C en er is bekeken hoeveel warmte werd vastgehouden in een periode van 21 dagen. In de haven van Rotterdam ligt er sinds 2018 een voelbaar warmteopslagsysteem van een Noorse partij die gebruik maakt van vloeibaar cement. Dit betonmengsel heeft een hoge thermische

geleidbaarheid en warmtecapaciteit en kan warmte opslaan tot 450°C. Stalen pijpen worden verwarmd door restwarmte vanuit de industrie en door middel van het speciale betonmengsel worden ze vervolgens warm gehouden. Afgifte van de warmte kan snel gebeuren, of juist heel langdurig, al naar gelang de vraag.

Op het gebied van grootschalige warmteopslag middels TCM-systemen is nog geen ervaring opgedaan in Nederland. Het voordeel van dit soort systemen is dat ze een hoge energiedichtheid hebben en hierdoor minder ruimtebeslag nodig hebben. Kleinschalige concepten moeten door Nederlandse partijen eerst nog toegepaste worden. Een Zweedse partij is echter al wel bezig met pilotprojecten voor grootschalige toepassing TCM-systemen voor collectieve warmtesystemen. Na een geslaagd pilotproject voor een warmtenet in Berlijn wordt hun product verder ontwikkeld in Shanghai, Stockholm en Luleå.

Knelpunten en benodigde innovaties

Verlagen van aanschaf-, installatie- en operatiekosten

- Het verlagen van de kosten – zowel initiële investering als operationele kosten – is van belang om t.o.v. andere technieken beter te kunnen concurreren. Bij TTES lopen de kosten op bij (meer) ondergrondse toepassing, terwijl dit de ruimtelijke inpassing bevordert. Extra aandacht is nodig voor het verlagen van de kosten van aanlegmethoden. Bij WKO/ATES zijn de kosten sterk afhankelijk van de diepte van het reservoir, de lokale geologie en de productie- en retourtemperatuur. Bij die laatste zijn ook innovaties nodig om operationele kosten verder te verlagen/beheersen. Denk aan de pompenergie, het vervangen van de pomp en maatregelen om de doorstroming van het water in het reservoir en de putten te waarborgen. Een manier om de opbrengsten van een opslagsysteem te verhogen is door het aantal opslagcycli dat per seizoen wordt gemaakt te verhogen. Bijvoorbeeld door piekverwarming met seizoensopslag te combineren.

Verder verbeteren, demonstreren en integreren van grootschalige warmteopslagsystemen in collectieve warmtesystemen:

- Ten aanzien van de grootschalige warmteopslag in water in ATES/TTES is het nodig om tot eerste demonstraties/implementaties te komen om vervolgens op basis van 'learning-by-doing' volgende innovatiestappen te maken/bepalen. Kennis en ervaring is nodig over de daadwerkelijke opbrengsten en besparingen van het integreren van grootschalige opslag in een (bestaand) warmtenet. Ook de mogelijkheden om flexibiliteit aan het elektriciteitsnet te kunnen bieden en het optimaliseren van de warmteproductie op basis van de beschikbaarheid van duurzame energie zijn van belang. Daarnaast is er bij het ontwerp van systemen aandacht nodig voor het verminderen van ruimtegebruik.

Verhogen van (systeem)rendementen:

- Nader onderzoek is nodig naar de beste configuratie van warmteopslag in een warmtenet. Er kan worden gevarieerd met de positie van de opslag (of meerdere) in het net, bijvoorbeeld aan het begin of aan het einde van een transportleiding. Ook is nader onderzoek nodig naar de optimale temperatuur van de opslag en het minimaliseren van de (seizoens-) verliezen. Ook is van belang het geleverde

vermogen te optimaliseren om de opslag bijvoorbeeld naast langere termijn opslag ook als piekbuffer te kunnen gebruiken.

Verminderen van ruimtegebruik en verbeteren van het aanzicht van bovengrondse en ondergrondse onderdelen:

- Ruimtegebruik is een belangrijk aandachtspunt voor de gebouwde omgeving. Dit is vanwege een grote gebouwdichtheid en een beperkte hoeveelheid (openbare) ruimtes die ook gebruikt moet worden voor groen, recreatie of andere functies. Het is daarom van belang om het ruimtegebruik van warmteopslag-onderdelen zo veel mogelijk te verminderen en het aanzicht te verbeteren. Belangrijk hierbij is dat aanpassingen niet (zwaar) ten koste moeten gaan van functionaliteit en kosten.

Doorontwikkelen van nieuwe grootschalige thermische opslagmethodes:

- Ruimtegebruik van warmteopslag blijft een grote uitdaging. Water blijft het meest gangbare opslagmedium. Hoe hoger de temperatuur in de opslag hoe meer warmte je kunt opslaan. Ondanks dat het volume bij grootschalige opslag in wijken of gebieden minder problematisch is, blijft het door ontwikkelen van compactere mogelijkheden van warmteopslag, zoals met PCM, TCM en Redox principes ook voor grootschalige opslag van belang om deze commercieel beschikbaar te krijgen.

Doorontwikkelen van concepten om langere afstand tussen warmteaanbod en -vraag te overbruggen:

- Er is behoefte aan oplossingen voor situaties waar het restwarmte aanbod niet in de buurt is van de warmtevraag en een pijpleiding te lang en te duur zou worden. Vooral TCM's hebben mogelijk de potentie om zo compact en verliesvrij warmte op te slaan dat deze vervoerd zouden kunnen worden.

Aandachtspunten voor beleid

- Aanpassingen van wet- en regelgeving zijn nodig om hoge temperatuur opslag (onder voorwaarden) toe te kunnen staan. Er zijn nog geen beleidskaders voor ondergrondse warmteopslag <500 meter in de Waterwet. Succesvolle pilotprojecten moeten duidelijk maken onder welke voorwaarden bodemopslag boven de 25°C kan worden toegestaan. Daarom is het van belang dat relevante stakeholders (provincie, gemeenten en drinkwaterbedrijven) worden betrokken bij het wegnemen van juridische barrières. Ondergrondse warmteopslag dieper dan 500 meter valt niet onder de Waterwet, maar onder de Mijnbouwwet. Een specifiek wettelijk kader voor warmteopslag dieper dan 500 meter is ook hier nog niet ontwikkeld.
- De vrijstelling van energiebelasting voor warmte handhaven en/of voorkomen dat dubbele energiebelasting wordt geheven op warmte die na opslag wordt ingezet, zoals dit bij elektriciteit het geval is. Warmteopslag zou beschouwd moeten worden als uitgestelde duurzame energieproductie.
- Uitbreiden van SDE-regelgeving voor warmteopslag. Alleen bij aquathermie is hierin voorzien, maar koudelevering is in dat geval niet toegestaan. Deze vreemde situatie vereist aandacht.

- Er moeten richtlijnen komen voor de inpasbaarheid van ondergrondse warmte en koude opslagsystemen (WKO), om onderlinge interferentie tussen systemen te voorkomen of minimaliseren.
- Grootschalige warmteopslag kan flexibiliteit leveren aan het elektriciteitsnet en dit dus ontlasten. In gevallen kan verzwaring zelfs worden voorkomen. Overwogen moet worden hoe en onder welke voorwaarden de kosten voor aanleg van dergelijke systemen (bij warmtenetten) kunnen worden gesocialiseerd om een level-playing-field t.o.v. elektriciteitsnetten te bewerkstelligen.
- Kennis van de ondergrond is belangrijk om de haalbaarheid en het marktpotentieel van ATES beter in te kunnen schatten. E.e.a. in navolging van reeds lopende programma's.

Deelprogramma 6: geothermie

Inleiding

Geothermie kan een belangrijke rol spelen in de warmtetransitie als duurzame basislastbron voor warmtenetten. De potentie van deze techniek is bewezen in de glastuinbouwsector met ongeveer 25 glastuinbouwprojecten in 2020. De volgende stap voor de doorontwikkeling van geothermie is de toepassing in de gebouwde omgeving. In de gebouwde omgeving komt op korte termijn het eerste geothermieproject in bedrijf. In potentie kan ongeveer 26%⁴ van de totale warmtevraag in de gebouwde omgeving worden voorzien door geothermie als onderdeel van een collectief warmtesysteem.

Tot nu toe vindt de ontwikkeling van geothermie in de gebouwde omgeving op beperkte schaal plaats. Dit komt omdat er in de huidige situatie te veel onzekerheden en risico's zijn om geothermieprojecten in de gebouwde omgeving te realiseren. Het

ontwikkeltraject kent veel vraagtekens rond de ontwikkeling van de warmteketen, wet- en regelgeving, vergunningen, geologie en ondergrond, subsidiëring en financiering, draagvlak en warmteafzet om op stoom te komen. In de glastuinbouw werd er primair voor een klein aantal grootschalige warmteafnemers ontwikkeld. De toepassing van geothermie in de gebouwde omgeving vraagt veel meer om de inpassing van één of meerdere geothermiebronnen in een volledige energieketen met meerdere andere type bronnen en cascadering om de warmte zo optimaal mogelijk in te zetten. Dit vraagt om een complexe en langdurige manier van ontwikkelen met een grote hoeveelheid betrokken stakeholders. Daarnaast is de aanwezigheid van een grootschalige ontsloten warmtevraag met een distributienet een belangrijke randvoorwaarde voor de uiteindelijke inpassing.

Er moeten dus nog een aantal drempels worden weggenomen om de groei van geothermie in Nederland te versnellen.

- Aanleg van nieuwe warmtenetten (gebundelde warmtevraag creëren in de gebouwde omgeving)
- Wetgeving en organisatorische drempels (hoe organiseer je het optimaal?)

Geothermie, ook wel aardwarmte genoemd, is het gebruik van warmte uit de diepe ondergrond vanaf 500 meter en dieper voor het verwarmen van huizen, gebouwen, kassen en lichte industrie. Of geothermie mogelijk is hangt af van de bodemgesteldheid en -samenstelling. Tussen de geothermiebron en de gebouwen is een warmtenet nodig met voldoende geschikte warmtevragers. Het lijkt dat ongeveer 500 woningen nodig zijn voor ondiepe geothermie (tussen 500 – 1500m) en 4000 -10.000 woningen nodig zijn voor (ultra) diepe geothermie (dieper dan 1500m), afhankelijk van de diepte van de geschikte laag. Afhankelijk van de diepte kan geothermie een warmtenet direct voorzien van warmte met een temperatuur van ongeveer 70-90 °C. Momenteel wordt geothermie vooral toegepast in de glastuinbouwsector. Er zijn projecten in ontwikkeling voor de gebouwde omgeving.

⁴ Berenschot; WARM – Waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden. September 2020; pag. 4.

- Technologische drempels (hoe krijg ik meer MWh voor hetzelfde geld?) die met bureaustudies, laboratorium en veldonderzoek en demonstraties moeten worden geslecht.
- Financieel-economische drempels (hoe blijft het betaalbaar?)
- Sociaal-maatschappelijke drempels (hoe blijft het aanvaardbaar en rechtvaardig?)

In het versnellingsstraject geothermie wordt aangestuurd op een serie demonstratieprojecten van aardwarmte in combinatie met bestaande en (uiteindelijk ook) nieuwe warmtenetten om de drempels voor de gebouwde omgeving versneld te verkleinen.

De geothermiesector heeft zich via het Masterplan Aardwarmte in 2018 reeds gecommitteerd aan een opschaling van geothermie in zowel de glastuinbouw als de gebouwde omgeving. Verschillende acties zijn hiervoor al uitgevoerd, andere lopen nog. De sector zet zich daarbij in voor verdere kostenreductie, het ontwikkelen van een (aard)warmte propositie met warmtebedrijven, het verbreden van de basis en het verder professionaliseren van de sector over de gehele waardeketen en het zorgen voor een lokaal en regionaal maatschappelijke dialoog over aardwarmte in de context van de energietransitie.

Geothermie levert een basislast in een warmtenet, voor warmtenetten zie deelprogramma 4. Naast geothermie zijn aanvullende bronnen of warmteopslag nodig om leveringszekerheid te kunnen bieden en tegelijkertijd de bron zo optimaal mogelijk te benutten. Voor het ontwikkelen van grootschalige ondergrondse warmteopslagconcepten als hoge en lage temperatuur ATES en BTES zie deelprogramma 5. Ook in geothermiesystemen worden warmtepompen toegepast. Voor de ontwikkelingen daarin zie deelprogramma 1. Ondiepe geothermie kan als LT-warmtebron dienen en zie voor meer informatie hierover deelprogramma 7.

Huidige stand van zaken

In Nederland wordt er gewerkt aan geothermiesystemen op verschillende dieptes. Het volgende onderscheid kan gemaakt worden:

- **Ondiepe geothermie** is energie gewonnen op een diepte tussen 500 – 1500m.
- **Diepe geothermie** is energie gewonnen op een diepte tussen 1500 – 4000m.
- **Ultradiepe geothermie** (UDG) is energie gewonnen op een diepte van meer dan 4000 meter.

Bij ondiepe geothermie ligt de temperatuur van water tussen de 25 en 55°C. Olie- en gasexploratie heeft in Nederland in het verleden voornamelijk plaatsgevonden in de diepere ondergrond waarbij vaak zo snel mogelijk door de ondiepe lagen is geboord. Hierdoor is er relatief weinig bekend over deze ondiepere vaak ongeconsolideerde lagen. Deze ondiepe aardlagen kunnen echter wel degelijk geschikt zijn als warmtebron voor (Z)LT-warmtenetten met als voordeel dat de putkosten aanzienlijk lager zijn. Bovendien kan ondiepe geothermie een mogelijkheid bieden voor enkele gebieden waar conventionele (diepe) geothermie lastiger te ontwikkelen is gegeven de geologische omstandigheden. Ook is de kans op het ontstaan van geïnduceerde seismiciteit kleiner. Een eerste lage-temperatuur aardwarmteproject is voor

glastuinbouw in Zevenbergen in gebruik. Er zijn ideeën om dit uit te breiden naar de gebouwde omgeving waar lage temperatuurnetten een oplossing kunnen bieden. Dit laat zien dat de ervaring met ondiepe geothermie en de levering in lage temperatuur warmtenetten verder uitgebouwd moet worden zodat het zich kan ontwikkelen naar een volwassen techniek.

Met uitzondering van één recent gerealiseerde ondiepe installatie, behoren alle bestaande geothermische installaties in Nederland in de categorie diepe geothermie. Diepe geothermie haalt warm water omhoog met temperaturen tussen de 55 en 130°C. Deze temperaturen passen uitstekend bij LT-, MT- en HT-warmtenetten. Er zijn nu ongeveer 25 actieve doubletten in operatie in Nederland. Deze projecten generen vooral warmte voor de glastuinbouw. Door onder andere diepere boringen (en dus hogere temperaturen) en grotere debieten (door een grotere diameter van de put) is het gemiddeld vermogen per doublet over de periode 2010-2021 toegenomen. Op meer dan 10 locaties is een geothermiesysteem in ontwikkeling of wordt de haalbaarheid onderzocht, voornamelijk voor de gebouwde omgeving. Door enkele bestaande installaties wordt een deel van de warmte geleverd aan warmtenetten. Op dit moment zijn aardwarmteprojecten die primair gaan leveren aan een stadsverwarmingsnet nog in ontwikkeling. De realisatie van die eerste projecten wordt binnenkort verwacht.

Niet overal in Nederland zijn voldoende gegevens over de ondergrond beschikbaar om een betrouwbare inschatting te maken van het potentieel in de ondergrond. Momenteel lopen er onderzoeken naar deze zogenaamde witte vlekken om meer gegevens te verzamelen en zo de kennis over de ondergrond te vergroten. Dit zal in de toekomst een betere match opleveren tussen bovengrondse warmte vraag en ondergronds aanbod. Het Ministerie van EZK heeft EBN en TNO de opdracht gegeven om de witte vlekken in Nederland in kaart te brengen door middel van de 'Seismische Campagne Aardwarmte Nederland' (SCAN).

Ook wordt er gewerkt aan nieuwe concepten voor het winnen van aardwarmte. Deze concepten zijn interessant voor aardlagen waar met de gangbare technieken onvoldoende water uit geproduceerd kan worden of waar van nature geen doorlaatbare aardlaag aanwezig is. Het gaat hier met name om:

- Ultra Diepe Geothermie: Op dit moment werken consortia, EBN en TNO in een werkprogramma samen om de mogelijkheid voor ultradiepe geothermie (UDG) te onderzoeken. De nadruk ligt daarbij in eerste instantie op warmte voor de industrie en temperaturen boven de 120°C. Het onderscheid tussen UDG (>4000m) en diepe geothermie is van belang omdat bij UDG mogelijk andere risico's en risicopercepties bestaan dan bij ondiepe en diepe geothermie. In andere landen is de temperatuur op deze diepte hoger en kan er daardoor elektriciteit worden gewonnen uit de warmte van deze dieptes. Door de relatief lage temperatuurgradiënt in de ondergrond wordt dit in Nederland niet als optie gezien door het lage omzettingsrendement van warmte naar elektra en de Nederlandse elektriciteitsstarieven.
- Closed-loop-systemen: Closed-loop-systemen maken gebruik van een configuratie waarbij ze het gebruik van ondergronds water vermijden. Lussen zijn makkelijker te standaardiseren en op te schalen. Ze zijn minder afhankelijk

van geologie en daarmee breder toepasbaar. Zulke systemen zijn nog in ontwikkeling en verder onderzoek en experimenten naar de technische haalbaarheid en de toepasbaarheid hiervan in Nederland zijn noodzakelijk.

- Één put concepten: Zowel binnen Nederland als daarbuiten zijn verschillende concepten voor de winning van aardwarmte met één put ontwikkeld. Of de hiermee aangenomen reductie in CAPEX in balans is met het te behalen vermogen van de put is op dit moment nog onduidelijk en moet modelmatig en experimenteel verder worden onderzocht.

Naast deze nieuwe toepassingen lopen er momenteel verschillende onderzoeken op allerlei onderwerpen om aardwarmtesystemen verder te optimaliseren. Hierbij worden bijvoorbeeld de toepasbaarheid van verschillende boortechnieken geëvalueerd om meer productie/injectie te realiseren vanaf één boorlocatie, wordt er gekeken naar mogelijkheden om warmteverliezen te beperken en worden efficiëntere putontwerpen onderzocht. Ook wordt er onderzoek gedaan naar *drag reducing agents* (DRA's). DRA's kunnen een oplossing bieden om de stromingsweerstand van geothermie-gevoede warmtenetten substantieel (20-30%) te verminderen. Hierdoor treden er minder warmteverliezen op en kunnen kleinere leidingdiameters gebruikt worden. Dit kan leiden tot lagere systeemkosten voor geothermische systemen en warmtenetten.

Knelpunten en benodigde innovaties

Verlagen van de kostprijs van een eenheid aardwarmte (€/MWh) door het verlagen van exploratie-, investerings-, installatie, operatie- en onderhoudskosten en verhogen van de productie.

- Het (goedkoper en efficiënter) acquireren van de juiste gegevens tijdens de exploratie kan leiden tot lagere kosten aan het begin van een project. Denk hierbij aan het ontsluiten van bestaande data, hergebruik/herinterpretatie van bestaande data en het goedkoper uitvoeren van proefboringen en het testen van deze proefboringen. Het grote aantal te verwachten boringen op de middellange termijn (5-10 jaar) geeft ruimte voor nieuwe technologische innovaties die nu nog op een lager TRL-niveau zijn.
- Het acquireren van de juiste gegevens bij realisatie kan leiden tot minder onzekerheid in de productie parameters die belangrijk zijn voor veiligheid. Hierdoor kan waarschijnlijk een hogere productiecapaciteit veilig plaatsvinden en kan ook het reservoirmanagement verder geoptimaliseerd worden.
- Schaalvoordelen in combinatie met een play-based portfolio benadering zullen de kosten, geologische onzekerheden en technische risico's van exploitatie verminderen en de opbrengsten naar verwachting verhogen. Een gecoördineerde exploitatie van de projecten kan de kostprijs verder verlagen.
- Optimaliseren aanleg geothermie: verlagen kosten door integraal te ontwerpen op de gehele levensduur van de put, inclusief het opruimen na afloop.
- Operationele kosten (OPEX) verlagen door bijvoorbeeld verlenging levensduur pompen, verlaging elektriciteitsverbruik, verhoging COP-warmtepomp, e.d. Op de langere termijn kan ook de ontwikkeling van andere pompen of pompconcepten, specifiek toegepast op geothermie, leiden tot een verlaging van de OPEX.
- Putintegriteit: recent is een industriestandaard uitgebracht: 'duurzaam putontwerp'. Deze standaard kan naar de toekomst toe verder geoptimaliseerd worden, bijvoorbeeld door de implementatie van innovaties optimaliseren van bestaande

materialen en technologieën voor specifieke eigenschappen van (*sub*)plays; ontwikkelen van nieuwe materialen tegen corrosie bij hogere temperaturen (ook van bovengrondse onderdelen); *fit for purpose* putontwerpen die effectiever de warmte aan het oppervlak kunnen brengen en/of geschikter zijn voor grotere of variërende debieten.

- De grootste kostenpost van een geothermieproject is de realisatie van de boringen. Door methoden te ontwikkelen die het boorproces kunnen versnellen kunnen de kosten terug worden gebracht. Dit kan ook door andere organisatiemodellen te ontwikkelen, bijvoorbeeld door het organiseren van boorcampagnes waar 'back-to-back' geboord wordt of grootschalig in te kopen van materialen.

Efficiënter en doelmatiger gebruik maken van de ondergrond

- Het ontwikkelen van een nieuwe methodiek voor het bepalen van de vergunningsgebieden, rekening houdend met o.a. de breuken in de ondergrond en interferentie om zo de ondergrond doelmatig te kunnen gebruiken.
- Een ander aandachtspunt is het ontwikkelen van langjarige strategieën voor de regeneratie van bronnen en het afstemmen van productie op de broncapaciteit en levensduur.
- Nuttig inzetten van de bijvangst van geothermisch water. Dit kunnen naast het gebruik van gassen ook de winning van mineralen zijn, bijvoorbeeld Lithium.
- Concepten anders dan doubletten, bijvoorbeeld een meervoudig veld ontwikkelingsplan met meerdere injectieputten en productieputten om zo de ondergrond optimaal te benutten.
- Gebruik van andere temperatuur bereiken. Ondiepe geothermie kan interessant zijn omdat de investeringen en complexiteit (en daarmee risico's) van de projecten aanzienlijk lager zal liggen dan die van diepe geothermie. De temperaturen zijn geschikt voor LT-systemen en kunnen indien nodig door inzet van warmtepompen worden opgewaardeerd.
- Andere concepten, closed loop e.d. waardoor ook andere lagen of gebieden als bron van warmte in aanmerking komen.
- Hergebruik van putten die geabandonneerd worden door de olie en gasindustrie voor closed loop systemen
- Concepten voor combinatie van CO2 opslag en geothermie
- Combinatie van closed loop productiesystemen met BTES-seizoensopslag (i.e. koppeling met zonthermie in zomer opladen, in winter extra productie)

Doorontwikkelen van geothermieconcepten als onderdeel van het warmtesysteem in combinatie met groeistrategieën en de wijkgerichte aanpak

- Zonder warmtenet geen geothermie in de gebouwde omgeving. In de gebouwde omgeving zal eerst collectieve warmtevraag moeten worden gerealiseerd voordat geothermie kan worden ontwikkeld.
- Hier ligt ook een van de grote uitdagingen voor aardwarmte in de gebouwde omgeving: het kunnen aansluiten aan voldoende warmtevraag om een veilige en efficiënte warmtelevering vanuit de aardwarmtebron te kunnen bewerkstelligen. Een geothermiebron is gebaat bij een zo stabiel mogelijk gebruik van het beschikbare vermogen. Dit staat, met name bij nog te ontwikkelen warmtenetten, op gespannen voet met het zogenaamde volloopsценario. Het aanleggen van een warmtenet en het realiseren van aansluitingen bij klanten kost tijd. De warmtevraag

zal zich langzaam ontwikkelen met uiteindelijk het risico dat de vraag zich onvoldoende (snel) ontwikkelt om een bron als aardwarmte vanaf het eerste moment op volledig vermogen te laten draaien. Innovaties die een groeiscenario mogelijk maken met geothermie als warmtebron zijn daarom wenselijk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het voorkomen van negatieve effecten voor het geothermiesysteem bij stilstand (bijv. voorkomen van verstoppingen), door slimme systemen voor hercirculatie, of door slimme combinaties met back-up systemen.

- Combinatie met (grootschalige) HT-buffers en/of duurzame piekvoorziening en een back-up systeem is noodzakelijk voor warmtebedrijven om aan de leveringsverplichting te kunnen doen.
- Het verder ontwikkelen van strategieën voor geothermieprojecten gebaseerd op de ervaring uit de praktijk, inclusief *tooling* (bij voorkeur *open source*);
- Op basis van gerichte pilots of demonstratieprojecten bijdragen aan de versnelde inpasbaarheid van aardwarmte in warmtenetten en de bronnenstrategie voor de gebouwde omgeving. In samenwerking met de warmtebedrijven en met aandacht voor systeemintegratie;

Robuust maatschappelijk draagvlak voor (publieke acceptatie van) geothermie

- De nut en noodzaak van de warmtetransitie wordt door iedereen erkent. Dit is een belangrijk onderdeel van het maatschappelijk draagvlak voor warmtebronnen zoals geothermie. De rol en het belang van geothermie als onderdeel van de warmtetransitie, ook t.o.v. alternatieven, dient ook voor een breder publiek inzichtelijk te worden gemaakt en initiatieven hiervoor moeten worden bevorderd.
- Er moet maatschappelijke acceptatie komen rondom seismiciteit. Potentieel schadelijke seismiciteit moet worden voorkomen. Hier wordt al veel aan gewerkt. Het is dus belangrijk om door te werken op bestaande initiatieven en onderzoeken en mogelijk vervolgonderzoek is hiervoor nodig. Belangrijk is ook om te onderzoeken welke grens acceptabel is.

Verkennen van de ondergrond en verkleinen van het risico op misboringen

- Misboringen kan je voorkomen door een goede verkenning te maken van de ondergrond. Op de middellange termijn kunnen mogelijk door goedkopere proefboringen de exploratiekosten in de onbekende gebieden verkleind worden. Een play-based portfoliobenadering gericht op risico reductie en het vergroten van het herhaalpotentieel kan hierbij helpen en bijdragen aan het versneld ontwikkelen van geothermieprojecten. Ook een eenduidige methodiek voor het inschatten van het reservoir potentieel helpt hierbij.
- Hierbij dient aandacht te komen voor data acquisitie in geothermieputten. Door bepaalde gegevens te meten, kunnen onzekerheden rondom productieparameters verkleind worden waardoor de capaciteit van de bron wellicht veilig verhoogd worden. Dit is belangrijk tijdens de exploratie- en ontwikkelfase maar ook voor monitoring gedurende de levensduur van de putten. Het is voor de data aquisitie over langere periodes daarom van belang om de registratie en opslag van deze data efficiënter en daarmee goedkoper te maken, zeker gezien de verwachte groei van het aantal boringen. Het ontwikkelen van kosten-effectieve geautomatiseerde systemen met (geavanceerde) sensors is daarom van belang.
- Het SCAN-programma loopt om meer duidelijkheid te krijgen van de kansen van de ondergrond in gebieden waar die vanwege datagebrek moeilijk in te schatten zijn,

maar kan het nooit helemaal ondervangen. Verwacht wordt dat na SCAN nog niet in alle gebieden voldoende duidelijkheid zal zijn voor een p90 commercieel project. Het verder ontwikkelen van een garantiefonds is daarom belangrijk voor minder bekende gebieden om ook daar de ontwikkeling van aardwarmte te stimuleren.

- Verder in kaart brengen van de Nederlandse ondergrond (*play-based*) om meer zicht te krijgen op het potentieel voor ondiepe en diepe geothermie. Voortbouwen op het SCAN-programma en het up-to-date houden van ThemoGIS.

Verminderen van emissies, verbeteren van (systeem)rendementen en circulariteit

- Bijvangst van aardgassen en andere stoffen/mineralen zo optimaal mogelijk gebruiken. De bijproducten hiervan verwerken om emissies terug te brengen.
- Optimaliseren bovengronds systeem en levensduur van apparatuur en componenten optimaliseren.
- Verder verhogen van (systeem)rendement: Slimmer omgaan met restwarmtestromen.
- Flexibele warmtelevering uit geothermie vergroten
- Goede verwerking van afvalstoffen en testwater.
- Efficiënter gebruik van hulpstoffen (bijv. inhibitoren) en bevorderen van het gebruik van "groene" alternatieven
- Aan het eind van de levenscyclus van een geothermiebron moet deze worden ontmanteld. Ook hier ligt een innovatieopgave. Mogelijk kunnen de bronnen worden hergebruikt. Ook het gebruik van circulaire materialen moet worden bevorderd waar mogelijk.
- Impact op de temperatuur van het grondwater en de mogelijke invloed daarvan op de grondwaterkwaliteit moet worden gemeten. Ook hier wordt al aan gewerkt maar mogelijk vervolgonderzoek is nodig.

Verminderen van bovengronds ruimtegebruik:

- Bovengrondse ruimtegebruik verminderen zowel gedurende realisatie en productie. Dit is vooral van belang voor de gebouwde omgeving gezien de beperkte ruimte en de hoge kosten van de grond. Randvoorwaarde is dat men wel altijd met een boortoren weer bij de boringen kan voor o.a. onderhoud of om de putten uiteindelijk op te ruimen.

Aandachtspunten voor beleid

Zoals eerder vermeld heeft de sector het Masterplan Aardwarmte opgesteld in samenwerking met de Ministeries van EZK en BZK. In het Masterplan komen de verschillende lijnen van benodigd beleid, innovatie en opschalingsinspanningen bij elkaar. Coördinatie op vraaggestuurde innovatie is hier een essentieel onderdeel van.

- Er zijn veel andere onzekerheden die een grotere rol spelen voor aardwarmteontwikkelaars dan innovatie. Het is daarom belangrijk om aandacht te hebben voor de randvoorwaarden waarin innovatie plaats kan vinden. Voor aardwarmte is specifiek een duidelijke wet en regelgeving met bijbehorende wettelijke kaders van belang, evenals aandacht voor niet-technische innovatie onderwerpen. Voorbeelden zijn wettelijke kaders voor seismiciteit maar ook rondom ondiepe geothermie.

- Gegeven de opgave in de transitie is het belangrijk om de keten en de randvoorwaarden zo in te richten dat geothermie ook tot stand kan komen daar waar het nodig is. Dit vraagt een meer integrale blik op de warmteketen en een ketenaanpak. Het afdekken van het volloopriscio is voor geothermie hier een belangrijk onderdeel van.
- SDE++: is de huidige SDE-regeling afdoende om de doelstelling te halen? Is er een andere systematiek nodig voor warmte om te voorkomen dat door overaanvragen op de SDE++, waar elektriciteitsbronnen relatief gunstiger in de ranking staan dan warmtebronnen, warmte projecten niet eens aan bod komen? Moeten we naar een andere SDE-systematiek waarbij de hoogte van de SDE++ wordt aangepast afhankelijk van het risicoprofiel inclusief het meenemen van de ontwikkelkosten en technische meerkosten voor de gebouwde omgeving in het basisbedrag? Ook is het verstandig om de periode van vier jaar na toekenning flexibeler te maken omdat die voor geothermie projecten in de gebouwde omgeving te kort blijkt te zijn.
- Garantieregeling: deze is er alleen voor projecten met een P90. Kan de garantieregeling worden uitgebreid voor gebieden waarin de onzekerheid van de ondergrond groter is en een p90 onvoldoende is voor een commercieel project? Dit geldt zeker voor de 'witte vlekken' of SCAN- gebieden. Wellicht is hier een regionale opvolging mogelijk voor het afdekken van het boorrisico in plaats van het afdekken van de opbrengst.
- Duurzaamheidscriteria: de combinatie warmtepompen en geothermie scoort slecht op duurzaamheid. De COP van de warmtepomp is laag. Het duurzaam inkopen van elektriciteit voor de warmtepomp mag niet worden meegerekend in de duurzaamheid van het systeem (alleen als er een directe verbinding is tussen de elektrische opwek en de warmtepomp). Ook zorgt de bijvangst bij geothermie ervoor dat geothermie lager scoort als bron kijkend naar de BENG.
- Aandacht voor een gedegen vooronderzoek binnen het investerings- en stimuleringskader. In het vooronderzoek wordt de status van kennis in andere toepassingsgebieden verzameld en onderzocht om de kennishiaten en de toepasbaarheid vast te stellen. Hierdoor is het mogelijk een duidelijke onderzoeksvraag te formuleren die goed aansluit bij de markt.
- Ondersteun het verder ontwikkelen van de kennis en innovatie community die is ontstaan rondom aardwarmte
- Kijk naar de mogelijkheden voor demonstraties van innovaties die niet direct in een commercieel project kunnen worden toegepast. Mogelijk zijn aanpassingen nodig in de wet- en regelgeving of wettelijke kaders om hier ruimte voor te bieden. In de windsector wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van innovatiekavels.

Deelprogramma 7: lage temperatuur warmtebronnen

Om aardgas te vervangen is het van belang om lokale, duurzame warmtebronnen voor gebouw- en gebiedsmaatregelen verder te ontwikkelen. Warmtepompen en efficiënte, lage temperatuur warmtenetten hebben lage temperatuur warmtebronnen nodig. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt over de verduurzaming van warmtebronnen voor warmtepompen en warmtenetten. Belangrijk hierbij is het beter in kaart brengen van de verschillende warmtebronnen die in ons land aanwezig zijn. Dit wordt onder andere gedaan door de Regionale Energie Strategieën en de Warmtetransitievisies van gemeentes. Regio's, provincies en gemeentes worden gevraagd om lokale data over warmtebronnen aan te leveren om nationale overzichten zoals Warmteatlas aan te vullen. Deze data wordt vervolgens gebruikt voor nationale berekeningen zoals de Startanalyses. Ook (lokale) stakeholders kunnen gebruik maken van deze data voor berekeningen in hun eigen regio's.

Duurzame lage temperatuur warmtebronnen zijn nodig voor warmtepompen en warmtenetten. Er zijn verschillende lage temperatuur warmtebronnen (LT) die potentieel duurzaam warmte en koude kunnen leveren aan de gebouwde omgeving. Zo kan er warmte worden gewonnen uit de bodem, lucht, oppervlaktewater, zonthermische systemen of uit restwarmte van industriële processen, datacenters, de glastuinbouw en (gebouwen met) grote koelinstallaties. Voordat de warmte gebruikt kan worden voor verwarming of tapwater moet het in sommige gevallen worden opgewaardeerd. Dit kan door middel van een centrale of decentrale (booster) warmtepomp.

Om effectiever gebruik te maken van warmtebronnen en om nieuwe bronnen te ontsluiten zijn technische en sociale innovaties nodig. De algehele doelstelling van dit deelprogramma is om de toepassing van LT-bronnen als robuust onderdeel van de bronnenmix voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in Nederland te vergroten en te versnellen. Het gaat om de ontwikkeling van praktijkgerichte kennis die nodig is om de nu bestaande barrières weg te nemen en de juiste randvoorwaarden te creëren voor grootschalige toepassing.

Kenmerkend is dat LT-warmtebronnen in veel gevallen een warmtepomp nodig hebben om de juiste temperatuur te leveren voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouwsector. Zo kan opwaardering van LT-warmte met centrale warmtepompen een belangrijke rol spelen in LT- en MT-warmtenetten. Ook in de woning spelen (booster) warmtepompen een rol in het opwaarderen van warmte voor tapwaterverbruik of ruimteverwarming. Bepaalde warmtebronnen kunnen ook gebruikt worden om WKO's en andere ondergrondse opslagsystemen te regenereren of balanceren. De bronnen verschillen van elkaar; de ene levert stabielere warmte dan de ander en is makkelijker of juist moeilijker te integreren in het warmtesysteem. Daarnaast verschilt de schaal van de bronnen sterk en is bij aquathermie en zonthermie (seizoens)opslag onderdeel van de keten. De vraagstukken die opgelost moeten worden om grootschalige toepassing mogelijk te maken zijn veelal generiek, of het zijn systeemvragen.

De inzet van LT-bronnen zoals aquathermie, zonthermie en hergebruik van restwarmte wordt op verschillende plekken lokaal en kleinschalig toegepast, maar de klimaatdoelen maken het noodzakelijk om dit op te schalen: van kleinschalige initiatieven naar grootschalige, met vaak verschillende LT-bronnen gevoede warmtenetten. Deze opschaling roept nieuwe kennisvragen op: hoeveel warmte kan daadwerkelijk worden gewonnen, hoe richten we de hele keten efficiënt in, wat zijn de kosten ervan, wat zijn potentiële voordelige of nadelige gevolgen voor de aquatische- en bodemecologie en welke bestuurlijke en juridische randvoorwaarden zijn nodig?

Het ontwikkelen van collectieve systemen in combinatie met grootschalige warmteopslag en met meerdere gedistribueerde warmtebronnen wordt in deelprogramma 4 besproken. Ook lucht is een belangrijke LT-warmtebron. De innovatievragen en knelpunten van deze bron worden besproken in deelprogramma 1 over warmtepompen.

Algemene knelpunten en benodigde innovaties

Voor veel van de warmtebronnen in dit deelprogramma zijn de knelpunten hetzelfde. Daarom worden er in dit deel van het hoofdstuk algemene knelpunten benoemd. Later in het hoofdstuk worden meer specifieke knelpunten en innovatievragen per sub-deelprogramma's. De algemene knelpunten en boogde innovaties zijn:

Verlagen van investerings-, aanleg-, operationele- en onderhoudskosten

- Systeemkosten kunnen verlaagd worden door beter en meer inzicht te creëren in de diverse kostenonderdelen van projecten in zowel de aanleg als operationele fase kunnen LT-bronnen met gerichte innovatie concurrerender gemaakt worden ten opzichte van andere warmtebronnen.

Doorontwikkelen van individuele en collectieve LT-warmte- en koudebronconcepten:

- Het verbeteren van de techniek en het ontwerp van LT-systemen en ketens staat hier centraal. Dit kan bijvoorbeeld in combinatie met opslag en/of systemen met LT-bronnen die opgewaardeerd worden met (grootschalige) warmtepompen. Denk hierbij aan het in samenhang ontwikkelen van aquathermie met WKO's om de zomer-winter onbalans te ondervangen en koude te kunnen leveren. Of bijvoorbeeld individuele concepten waarbij bodembronnen worden geregenereerd in de zomer met gebouwkoeling en/of zonthermie.

Doorontwikkelen van opschalingsstrategieën voor warmtebronnen

- Het ontwikkelen van opschalings- en implementatiestrategieën is belangrijk voor het effectief ontsluiten van warmte uit (nieuwe) bronnen. Door 'werkend te leren' kan ervaringskennis worden opgebouwd. Het gaat hierbij met name om de juridische, beleidsmatige en organisatorische aspecten. Van belang is om het geleerde van individuele projecten beschikbaar te krijgen voor de markt. Gestructureerd en gecentraliseerd opbouwen en dissimineren van kennis is nodig op vlak van ruimtelijke planning, gebiedsontwikkeling, financiering en transitiekunde. Er zijn tools en beleidsinstrumenten nodig die deze strategische keuzes en gebiedsprocessen ondersteunen.

Deelprogramma 7.1: bodemwarmte

Inleiding

Dit deelprogramma richt zich op de innovatievragen van ondiepe bodemenergiesystemen tot maximaal 500 meter diepte. Met bodemenergie kunnen onder meer gebouwen, woningen, kassen en fabrieken op een duurzame manier worden verwarmd en gekoeld. Bij ondiepe bodemenergie wordt warmte en of koude in de ondiepe ondergrond gebruikt. Grondwater is de energiebron.

In het verwarmen of koelen van de gebouwde omgeving is een centrale rol voor warmte- en koudeopslag (WKO) weggelegd. WKO-systemen kunnen bovendien uitstekend worden ingezet als seizoensopslag voor LT-bronnen zoals aquathermie waaruit vooral in de zomer warmte kan worden onttrokken.

Veel WKO's en bodemlussen zijn in onbalans: er wordt meer warmte uit onttrokken dan dat de bodem uit zichzelf kan regenereren. Voor een duurzame werking is een juiste dimensionering van belang en of moeten bronnen in de zomer worden geregenereerd om bodemwarmtesystemen niet uitgeput te laten raken. Het is ook van belang om de interferentie tussen naastgelegen bodemwarmtesystemen goed af te stemmen, ook met oog op de lange termijn.

Huidige stand van zaken

Bodemenergiesystemen worden in Nederland al meer dan 30 jaar toegepast, zowel de open als gesloten systemen. In Nederland zijn ruim 2.000 WKO's in bedrijf en meer dan 40.000 gesloten systemen met bodemlussen (GBES).

Nieuwe technieken zijn op de markt met bodemlussen in de gebouwfundering, damwanden van waterwegen, e.d. In innovatieprojecten wordt onder meer gewerkt aan bronnetten waarbij meerdere gesloten bodemsystemen worden gekoppeld en naar gelang van de gevraagde capaciteit kunnen worden toegevoegd. Ook op kleinere schaal zijn systemen op de markt waarbij enkele woningen een diepere bodembron delen (200-500 meter).

Er wordt in Nederland over bodemenergie gesproken bij gebruik van de ondergrond tot een maximale diepte van 500 meter. Er zijn twee soorten bodemenergiesystemen: **Open bodemenergiesystemen:** Bij deze bodemenergiesystemen worden onttrekkings- en infiltratiebronnen gemaakt. Het grondwater pompt men vervolgens eerst uit de bron of aquifer omhoog. En vervolgens wordt het grondwater na gebruik voor verwarming en of verkoeling weer terug in de bodem gebracht (geïnjecteerd/geretourneerd). **Gesloten bodemenergiesystemen:** Bij gesloten bodemenergiesystemen wordt geen grondwater verplaatst. In de systemen wordt een vloeistof, vaak met toegevoegde antivriesmiddelen, in buizen door de bodem geleid. De vloeistof komt dan ook niet in direct contact met het grondwater. De warmte en koude uitwisseling met het grondwater vindt plaats via het contact met de wand van het gesloten buizenstelsel in de ondergrond.

Op vele plaatsen is het gebruik van de ondergrond beperkt door vervuiling en of in drinkwatergebieden. In het Landelijk Grondwater Register moeten bodembronnen worden aangemeld en overheden hebben veel kennis gebundeld en online beschikbaar gemaakt (o.m. via het Bodem+ initiatief).

Knelpunten en benodigde innovaties

Verlagen van de kostprijs van bodemenergiesystemen

- Innovaties zijn nodig om de aanlegkosten van bodemsystemen te verlagen. Voornamelijk door innovaties in de boortechneken, boorsnelheden, boorwagens (kleiner en beter toegankelijk) en automatisering en robotisering van boorwagens. Daarmee kan één boormeester bijv. meerdere opgestelde boorwagens coördineren en bedienen. Maar denk ook aan slimme combinaties van meerdere woningen per bron, diepere bronnen, e.d.

Verhogen van energetische en financiële rendement door slimme technieken, regelingen en concepten:

- Doorontwikkelen van de diverse technieken om de prestaties van bodemsystemen te verhogen, weerstand te verlagen, zomer-winter prestaties te optimaliseren, flexibiliteit aan het elektriciteitsnet te kunnen bieden (zie ook MMIP5), interferentie met naastgelegen systemen te verkleinen, e.d.

Doorontwikkelen methoden om (potentiële) ecologische effecten te minimaliseren:

- Ontwikkelen van betere technieken voor het afsealen van ondoordringbare lagen die worden doorboord, zodat op meer plaatsen het gebruik van de ondergrond mogelijk wordt. Bij gesloten systemen moet er meer aandacht zijn voor oplossingen om vervuiling door potentiële lekkages te voorkomen en/of door een milieuvriendelijker alternatief voor antivriesmiddel te kiezen. Denk in dit kader ook aan de toegepaste materialen en de levensduurverlenging cq verwijderbaarheid op langere termijn.

Doorontwikkelen methoden om ondergrond beter en goedkoper in kaart te kunnen krijgen:

- Nieuwe en betere technieken zijn nodig om vooral de ondergrond tussen 200-500m beter in kaart te kunnen brengen t.b.v. bodemenergiesystemen.

Aandachtspunten voor beleid

- Er is een bestaand beleidskader voor WKO-systemen. Bij grootschalige inzet van WKO-systemen is er kans op onderlinge interferentie. Het is cruciaal dat hiervoor een beleidskader wordt ontwikkeld. WKO-systemen zijn namelijk van belang voor de opslag van LT-bronnen die seizoensgebonden leveren. Ook combinaties met hoge temperatuuropslag moet in beleidskaders worden opgenomen.
- Ondiepere systemen krijgen geen SDE++ in tegenstelling tot diepere systemen (vanaf 500 meter). Onderzocht moet worden in hoeverre stimulering nodig is om een level playing field t.o.v. diepere systemen te realiseren. Het gaat hierbij vooral om de grotere (collectieve) en diepere/duurdere (200-500 meter) systemen.
- De bestaande belemmeringen in de regelgeving t.a.v. warmte onttrekking of opslag in de ondergrond blijven deels bestaan door de onbekendheid van de

effecten op langere termijn. Meer kennis en de deling daarvan is nodig om koudwatervrees bij lagere overheden weg te nemen.

- Het verbeteren van normen voor bodemenergiesystemen blijft een aandachtspunt.
- Er is nog meer kennis nodig over de ondergrondse bodemgesteldheid op diepten tussen de 200 en 500 meter t.b.v. bodemenergiesystemen.

Deelprogramma 7.2: aquathermie

Inleiding

Alleen al aquathermie kan een substantiële bijdrage leveren aan het verduurzamen van de warmte- en koudevraag in de gebouwde omgeving. Het technisch potentieel bedraagt circa 50% van de totale warmtevraag in Nederland. Dit kan worden gerealiseerd door een combinatie van (1) de winning van warmte en koude uit het oppervlakte-, afval- of drinkwater, (2) (laag) thermische opslagsystemen in de bodem en (3) distributie via slimme warmtenetten. Maar ook op individueel niveau kan aquathermie een rol spelen bij de warmtevraag van woningen en gebouwen i.c.m. een warmtepomp .

Aquathermie is het gebruiken van warmte en koude uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater om gebouwen te verwarmen of te koelen. De verschillende vormen van aquathermie zijn thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), uit afvalwater (TEA) of uit drinkwater (TED). De warmte uit het water wordt als dat nodig is opgeslagen in de bodem en daarna opgewaardeerd met een warmtepomp. Dat kan centraal met een collectieve warmtepomp, of met een warmtepomp per gebouw.

Huidige stand van zaken

Er zijn al meer dan 65 gerealiseerde projecten met aquathermie bekend. En op meer dan 100 locaties in Nederland worden de mogelijkheden aquathermie toe te passen onderzocht. De meeste projecten zijn op relatief kleine schaal toegepast (projecten van tientallen tot zo'n 1000 woningen) voor warmte, koude en een combinatie daarvan. Er zijn ook grotere projecten in voorbereiding van enkele honderden tot enkele duizenden woningen.

Naast als bron voor warmtenetten lopen er ook projecten waarbij aquathermie op woning of gebouwniveau wordt ingezet. Bijvoorbeeld door warmte terug te winnen uit het eigen afvalwater of uit lokaal oppervlaktewater (waterwoningen).

Binnen het Programma Aardgasvrije Wijken zijn diverse proeftuinen met aquathermie gestart. In 2019 heeft een groot aantal organisaties, waaronder de waterbeheerders en het Rijk de 'Green Deal Aquathermie' ondertekend en is onder die vlag het Netwerk Aquathermie gestart, getrokken door een programmabureau. In 2020 is het onderzoeksproject WarmingUp gestart waarin specifieke kennis ontwikkeld wordt over de potentie van aquathermie, de ecologische randvoorwaarden en slimme technieken en ontwerpen.

Knelpunten en benodigde innovaties

Doorontwikkelen van systeemconcepten met aquathermie

- Ontwikkelen van concepten voor aquathermie op verschillende schaalgroottes (woning/blok/wijk) en in verschillende systeemplays (temperatuurniveaus, combinatie met warmtepompen, seizoensopslagconcepten). Het doel is om de techniek beter te positioneren bij de afwegingen rondom CO₂-uitstootreductie in de gebouwde omgeving;

Onderzoeken van ecologische effecten:

- De toepassing van aquathermie kan het aquatische ecosysteem en het bodemecosysteem beïnvloeden. Ook kunnen er effecten zijn voor andere gebruiksfuncties. Er is langjarige monitoring nodig om die effecten in kaart te brengen. Centraal in die monitoring staat de vraag wat het effect is van een verlaging of verhoging van de watertemperatuur (bij TEO) op de ecologie en of dit speelt bij verschillende watertypen.

Verbeteren van systeemcomponenten:

- Het verbeteren van het concept en materiaal van de warmtewisselaars en filters om warmteoverdracht te optimaliseren, weerstanden laag te houden en de levensduur te verlengen door aangroei te voorkomen.

Kennis over toepassingsmogelijkheden en verbeteren van rekenmethodieken:

- Er is behoefte aan kennis en rekenmethodieken om inzicht te krijgen in de toepassingsmogelijkheden van aquathermie. In specifieke situaties moet eenvoudiger inzicht verkregen kunnen worden in hoeveel warmte kan worden onttrokken en welke invloed dat bijvoorbeeld heeft op de ecologie (TEO), de efficiëntie van de microbiële waterzuivering (TEA) en de kwaliteit van het water en de benodigde energie voor verwarming voor tapwater (TED).

Aandachtspunten voor beleid

- Er is een beleidskader nodig voor het afgeven van vergunningen voor het grootschalig winnen van warmte uit oppervlaktewater en het lozen van relatief koeler water terug op het oppervlaktewater. Hetzelfde geldt omgekeerd voor het winnen van koude om koeling te kunnen leveren in tijden van warmte.
- Door de combinatie van warmte- en koudelevering uit te sluiten van SDE++ subsidie voor aquathermie, kunnen minder energiezuinige systemen voor koeling de voorkeur krijgen.
- Grootschalige toepassing van TEA en TED-systemen in de komende jaren vraagt om meer synthese tussen de primaire taak van een waterzuiverings- en drinkwaterbedrijf en de neventaak van het leveren van warmte (aquathermie).

Deelprogramma 7.3: zonthermie

Inleiding

Zonnewarmte, ook wel zonthermie genoemd is een bron die opnieuw in opkomst is. Warmte wordt doorgaans onttrokken via een warmtevoerend medium: in de meeste gevallen is dat water (al dan niet in combinatie met een antivriesmiddel). De thermische energie uit dit warme water kan dan overgedragen worden aan processen, zoals het verwarmen van ruimtes in de gebouwde omgeving, of gebruikt worden voor warm tapwaterbereiding. Ook is het mogelijk om zonthermie toe te passen in de industrie. Bij relatief kleine schaal (bijvoorbeeld <math><200\text{ m}^2</math> conform de gehanteerde ondergrens in SDE++) kan dit lokaal geregeld worden: de energie-afnemer zet zonnecollectoren op het eigen dak of terrein en koppelt die aan de eigen installatie. Bij grootschalige projecten is de hoeveelheid opgewekte energie echter van dusdanige omvang

dat verdeling over meerdere afnemers voor de hand ligt. Hiermee komt aansluiting op een warmtenet in beeld. Een ander aandachtspunt betreft de ongelijktijdigheid van vraag en aanbod: in de zomer is het warmte-aanbod het grootst (en de warmtevraag doorgaans relatief klein), maar juist in de winter bestaat er een significante warmtevraag, terwijl het warmte-aanbod uit zonnewarmte dan minimaal is. De link tussen de seizoenen kan worden gemaakt middels een seizoensgebonden warmteopslag (deelprogramma 5) of via gebouw gebonden compacte warmteopslagsystemen (deelprogramma 3).

Ondanks dat het een volwassen technologie betreft is de potentie voor de energietransitie nog enorm. Zonthermische systemen moeten concurreren met PV-systemen op (particuliere) daken. Door de salderingsregeling en de eenvoudigere installatie is PV op dit moment nog in het voordeel.

Huidige stand van zaken

Uit een rapport voor een eerste aanzet van een Routekaart Zonthermie wordt het potentieel voor zonnewarmte in 2050 geschat op 60 PJ, waarvan 35 PJ voor woningen en 25 PJ voor overige sectoren (utiliteit, landbouw en industrie). Als zonthermie op een succesvolle manier gecombineerd wordt met seizoensopslag dan stijgt het potentieel naar 80 PJ (ongeveer 10% van de geschatte totale Nederlandse warmtevraag), waarvan 54 PJ voor woningen (ongeveer 26% van de verwachte warmtevraag voor woningen in 2050).

Thermische zonne-energie is een verzamelbegrip voor warmtewinning uit bestraling door de zon. Om thermische zonne-energie op te wekken wordt vaak gebruik gemaakt van zonnecollectoren. Deze collectoren zijn gemaakt van een materiaal dat snel warm wordt in de zon. Met deze opgevangen warmte kan vervolgens water worden verwarmd, opgeslagen en/of als bron dienen voor een individuele warmtepomp. Naast passieve zonne-energie kunnen een aantal typen thermische zonne-energiesystemen worden onderscheiden: zonne-boilers, zonnecollectoren, PVT-panelen, en concentrerende zontechnieken. Daarnaast kan zonnewarmte worden geoogst uit gevels en bijvoorbeeld asfalt.

In de strijd met zon-PV delven zonthermische systemen het onderspit, als ze überhaupt al overwogen worden. Oorzaken hiervoor zijn de hoge installatiekosten en het gebrek aan concurrentie die in de PV markt wel is ontstaan. Ook het vooralsnog uitblijven van de afbouw van de salderingsregeling helpt niet in de strijd om de business case van een vierkante meter op het dak.

De meest gebruikelijke toepassingsvorm van zonthermie in Nederland zijn zonnewarmtecollectoren. In Nederland wordt er gewerkt aan systemen met de volgende types zonnewarmtecollectoren:

- **Afgedekte zonnewarmtecollectoren:** Dit zijn vlakkeplaatcollectoren of vacuümbuiscollectoren die over het algemeen warmte produceren tussen de 20 en 80 °C. Afgedekte vlakkeplaatcollectoren hebben isolatie aan de achterkant en zijn aan de voorkant 'geïsoleerd' door een laag van lucht of ander gas met een afsluitende glasplaat erboven.
- **Afgedekte PVT-collectoren:** Dit zijn vlakkeplaatcollectoren, meestal vergelijkbaar met een afgedekte zonnewarmtecollector, waarbij de absorber een PV absorber is, die daarmee zowel warmte als elektriciteit levert. Isolatie aan de achterkant en via een luchtlaag aan de voorkant is essentieel. Een PV-paneel op een absorber alleen, maakt nog geen afgedekte PVT-collector.
- **WISC of "onafgedekte" zonnecollectoren:** WISC staat voor Wind- en Infrarood Sensitieve Collectoren. Deze collectoren bevatten geen isolatie aan de voorkant en soms beperkt achter de absorber. Deze collectoren kunnen gebruikt worden als zwembadcollector, voor regeneratie van een grondbron of als directe bron voor een warmtepomp. Vanwege de warmtewisseling met de omgeving, kan dit ook een omgevingscollector zijn, waarbij de temperatuur van de vloeistof vaak net onder de buitentemperatuur is.
- **WISC-PVT collectoren** zijn WISC-collectoren met een PV-paneel met een warmteovergang naar een thermische absorber.
- **Concentrerende zonnecollectoren:** De aanzet tot de Routekaart Zonthermie geeft aan dat concentrerende zonnecollectoren in eerste instantie geen grootschalige toepassing zullen krijgen in de gebouwde omgeving. Dit komt door de hoge fractie diffuus licht in Nederland.

Afgedekte zonnewarmtecollectoren worden (in Nederland) vrijwel altijd op een dak geplaatst en soms op een vrij veld. Er zijn in Europa verschillende projecten waar collectoren in een façade zijn geplaatst. Op gebied van onafgedekte PVT-collectoren lopen momenteel veel ontwikkelingen. Onafgedekte collectoren kunnen ook in de gevel geplaatst worden. Het is ook mogelijk om zonnewarmte te oogsten via oppervlaktes die door de zon warm worden zoals gebouwdelen (gevels en daken) en asfaltwegen of parkeerplaatsen.

In Nederland wordt er nu gewerkt aan de volgende productmarktcombinaties:

- **Zonneboiler voor warm tapwater:** Dit is momenteel een groot marktaandeel van de geïnstalleerde collectoren. Een zonneboilersysteem heeft typisch een zonnefractie van ca. 50% voor vrijstaande of rijtjeswoningen en 30-40% voor bijvoorbeeld galerijwoningen met een beperkt dakoppervlak. Deze optie kan zowel voor individuele huishoudens als op laagbouw of wijkniveau worden

toegepast. Daarnaast is dit ook geschikt voor utiliteit met een hoge warmwatervraag, zoals recreatie, zwembaden en verzorgingstehuizen.

- **Zonnewarmte voor warm tapwater en ruimteverwarming (“combi”-systemen):** Deze systemen zijn al langer op de markt. Nederland kent vooral kleine combisystemen (collectoroppervlak < 10 m²) met een beperkte zonnefractie voor ruimteverwarming. Bij een lager warmteverbruik is het moeilijk om een hoge zonnefractie te halen, omdat ruimteverwarming geconcentreerd is in donkere wintermaanden. Ook zijn er al zgn. leegloopsystemen gedemonstreerd waarbij antivriesmiddelen niet nodig zijn en de geleverde warmte gemanaged wordt door het systeem leeg te laten lopen bij vorst en/of een lage warmtevraag.
- **WISC/onafgedekte zonthermische of WISC-PVT warmte als bron voor een warmtepomp:** Vanwege de goede warmteoverdracht tussen collector en omgeving, kan een WISC-collector niet alleen warmte produceren als de zon schijnt, maar ook als de zon niet schijnt. WISC-collectoren zijn ook omgevingscollectoren. Het gebruik van een brine/water warmtepomp met WISC-collectoren kan geluidsvoordelen hebben over lucht/water warmtepompen en ruimtevoordelen hebben over bodemwarmtepompen met een geboorde bron.
- **Hoge temperatuur en midden temperatuur warmtenetten:** Zonnewarmte is niet of nauwelijks geschikt voor hoge temperatuur warmtenetten. Als de temperatuur verlaagd kan worden op (een deel van) het net, is dit gunstig voor de toepassing van zonnewarmte en andere duurzame technieken en zorgt dit voor lagere warmteverliezen (zie deelprogramma 4). Voor midden temperatuur warmtenetten kan zonnewarmte wel een rol spelen. In Denemarken en Oostenrijk zijn voorbeelden van grote tot zeer grote zonnewarmte installaties in combinatie met pit storage (Denemarken) of met een lage zonnefractie. Een andere optie is een zonnecollectorveld met een grote warmtepomp.
- **(Zeer) lage temperatuur warmtenetten:** Voor (zeer) lage temperatuur warmtenetten is zonnewarmte geschikt, vooral in combinatie met opslagtechnologieën. Er zijn momenteel een aantal concepten in ontwikkeling voor een wijknet of een blok huizen met zonnewarmte:
 - Een voorbeeld hiervan is het project ‘de Zonnet’. Daarbij worden PVT-panels op daken gekoppeld aan een laagtemperatuur warmtenet (ca. 14-18°C) en een WKO. Elke woning heeft een individuele warmtepomp. Een voordeel hiervan is dat de brontemperatuur voor de warmtepomp in de winter relatief hoog is.
 - Een ander voorbeeld is Drake Landing in Canada waar met een groot systeem en grote opslag meer dan 90% zonnewarmte voor ruimteverwarming gerealiseerd is.
 - In Beijum is in 1982 een groot systeem (2358 m² collectoren) met een bodemwarmteopslag van 23000 m³ gerealiseerd voor 96 woningen. Het systeem had een zonnefractie van 54% en is in 2009 gerenoveerd, er zijn onder andere nieuwe collectoren geplaatst.
 - De eerste grootschalige zonneweides die zich richten op zonthermie i.c.m. glastuinbouw en ondergrondse opslag zijn ook al gerealiseerd. Een voorbeeld hiervan is te vinden in Heerhugowaard.

- **Regeneratie van bodemwarmte bronnen:** Onafgedekte (zonthermische of PVT) collectoren kunnen toegepast worden voor de regeneratie van een WKO of bodembron.

Zonnewarmte als bron voor koeling is waarschijnlijk geen kansrijke PMC onder Nederlandse omstandigheden. Nachtkoeling met onafgedekte collectoren eventueel met warmtepomp is wel een mogelijkheid.

Knelpunten en benodigde innovaties

Werken aan verdere kostprijddaling van componenten, optimaliseren van het installatieproces en opschaling:

- Door systemen verregaand geïndustrialiseerd te fabriceren en meer plug-n-play te maken kan de installatie sneller en goedkoper worden verlopen. Bij hybride (PVT) zonnepanelen heb je naast E ook W kennis/installateurs nodig, wat de installaties kostbaarder en moeilijker opschaalbaar maakt.

Doorontwikkelen van zonthermieconcepten op verschillende schaalgroottes:

- Ontwikkelen van concepten voor zonthermie op verschillende schaalgroottes (woning/blok/wijk) en in verschillende systeemlayouts (temperatuurniveaus, combinatie met warmtepompen, seizoensopslagconcepten) met centrale opwek (zoals zonneweides) en decentrale opwek (op daken). Het doel is om de techniek beter te positioneren bij de afwegingen rondom CO₂-uitstootreductie in de gebouwde omgeving; Verschillende configuraties hebben voor- en nadelen, zowel technisch als economisch. Ook het circulatie medium is van belang: Er is vraag naar milieuvriendelijke media, maar het medium moet ook bestand zijn tegen hogere temperaturen en voldoende vorstbestendig zijn.

Inzichtelijker maken van (individuele) opwek:

- Daarnaast is er een vraag naar het inzichtelijker maken van zonthermie opwek. Betere user-interfaces kunnen, net zoals dit bij zon-PV het geval is, een rol spelen om de acceptatie ervan te vergroten. Eventueel gekoppeld met inzicht in warm(tap)water gebruik.

Aandachtspunten voor beleid

- Geothermie en LT-bronnen zaten in de laatste SDE++. Het overgrote deel van de warmteprojecten voor de gebouwde omgeving in de SDE++ valt nog buiten de boot omdat de subsidie intensiteit (€/ton CO₂) hoger is dan van bijv. CCS en zon-PV. Van belang om de mogelijkheden voor subsidiëring te verbeteren om zo tot opschaling en een lagere kostprijs te komen.
- Maatregelen die een stimulerend effect hebben op zonthermie zijn: a.) (verhoogde) belastingen op fossiele energiedragers, b.) verplichte aandelen hernieuwbare energie in de energievoorziening op gebouw- of wijkniveau, c.) subsidies zoals bijvoorbeeld SDE+ in de *market take-off* periode, d.) demonstratiebudgetten en (georganiseerde) overdracht van leerpunten.
- Sommige kostenverhogende aspecten rondom zonthermie zouden tegengegaan kunnen worden door extra aandacht van beleidsmakers. Dit geldt bijvoorbeeld voor grondkosten, onzekerheden rondom het concept en financieringsconstructies.

- De afbouw van de salderingsregeling zal een positief effect hebben om de strijd op de m2 op particuliere daken ten gunste van zonthermische systemen.

Deelprogramma 7.4: lage temperatuur restwarmte

Inleiding

Lage temperatuur restwarmte dat normaal geloosd zal worden wordt ook als een warmtebron gezien voor de warmtetransitie. De overheid stimuleert het gebruik van restwarmte en er wordt een nieuwe 'ophaalrecht' opgenomen in de nieuwe Warmtewet. Hiermee krijgen warmtebedrijven een relatief goedkope bron van warmte beschikbaar om via hun warmtenet aan hun afnemers te leveren. Echter is het ophaalrecht is bij de meeste bedrijven/sectoren nog nagenoeg onbekend. Bedrijven zijn vooral benieuwd wat deze nieuwe rol, van restwarmteproducent zijn, precies inhoudt. Naast de ophaalrecht, heeft de overheid aan PBL gevraagd om een advies voor de SDE++ 2021 om nieuwe opties toe te voegen aan de regeling waar onder andere benutting van restwarmte. Benutting van restwarmte kan daarmee vanaf 2021 mogelijk ook subsidie krijgen. Daarnaast mogen nieuwe gebouwen vanaf 1 januari 2021 gebruik maken van restwarmte en -koude om aan de BENG-eisen te voldoen.

Restwarmte is warmte die vrijkomt bij industriële processen, datacenters, de glastuinbouw en gebouwen met grote koelinstallaties (zoals bedrijfspanden, winkelcentra of metrotunnels) en daarbij niet meer economisch rendabel te gebruiken is. Zonder uitwisseling naar andere gebouwen of aansluiting op een warmtenet wordt deze hoeveelheid warmte geloosd. Als er extra energie nodig is om warmte te produceren dan is het geen restwarmte, meestal gaat het dan om aftapwarmte van een elektriciteitscentrale. Die produceert minder elektriciteit om zo de warmte te kunnen produceren. Ook bij een warmtekrachtkoppeling (WKK) is geen sprake van restwarmte, maar van bewust opgewekte warmte die extra energie vraagt.

Er zijn een aantal innovatie-uitdagingen om lage temperatuur restwarmte goed te kunnen benutten voor de warmtetransitie. Om de restwarmte op een goed bruikbare temperatuur uit het proces van de bronlocatie te halen, zijn er bij de locatie vaak aanpassingen nodig. Restwarmte kan uitgewisseld worden tussen enkele gebouwen of via meerdere gebouwen die aangesloten zijn op een warmtenet. Vooral het gebruik van restwarmte in warmtenetten is nog weinig ervaring mee. In sommige gevallen kan de restwarmte meteen gebruikt worden voor ruimteverwarming en tapwater. In andere gevallen moet het eerst opgewaardeerd worden door een centrale of decentrale warmtepomp. Het ontwerpen van systeemconcepten met restwarmtebenutting vraagt om verdere doorontwikkeling in de komende jaren.

Beschikbaarheid van bronnen, de temperatuur en de afstand tot een (bestaand) warmtenet of afnemer zijn belangrijke parameters voor de haalbaarheid van een restwarmteproject. Daarnaast is langdurige beschikbaarheid van deze bronnen van belang om toekomstige levering te waarborgen. Hierdoor is een restwarmteproject altijd maatwerk en vaak technisch niet ingewikkeld, maar organisatorisch wel.

Daarnaast speelt er vooral bij het grootschalig toepassen van meerdere (kleine) restwarmtebronnen het belang om adequate multibronnen-strategieën te ontwikkelen

voor collectieve warmtesystemen. Veel kleine bronnen maken namelijk ook één grote warmtebron. Het ontwikkelen van dit soort strategieën en uitrolmodellen wordt in deelprogramma 4 besproken.

Huidige stand van zaken

Onderlinge warmte-uitwisseling tussen bedrijven wordt al op een paar plekken in Nederland toegepast en wordt al onder andere met energiebesparingswetgeving gestimuleerd. Warmte wordt in sommige gevallen via stoomnetten op hogere temperaturen uitgewisseld voor productieprocessen. Nieuw is wel het uitwisselen van zowel warmte als koude. Een voorbeeld hiervan is in Aalsmeer waar warmte en koude tussen een datacenter en drie andere gebouwen wordt uitgewisseld.

Grootschalige toepassing van restwarmtelevering naar de gebouwde omgeving via warmte- en koudenetten moet echter nog op gang komen. Wel zitten er meerdere projecten in de pijpleiding en zijn er ook al een enkele praktijkvoorbeelden. Er zijn diverse proeftuinwijken van het PAW-programma die restwarmte willen benutten. Bestaande projecten kunnen grofweg verdeeld worden op basis van MT- of LT-restwarmteverbruik.

Met betrekking tot uitkoppeling van MT-restwarmte naar de gebouwde omgeving zijn er een paar initiatieven. Een benoemingswaardig voorbeeld is Hengelo, waar stoom uit restwarmte van afvalhoutverwerking wordt uitgewisseld met een zoutproducent. Vervolgens wordt een deel van de 40 graden restwarmte van deze zoutproductie gecascadeerd naar omliggende bedrijfspanden en een ander deel naar twee decentrale energiecentrales. Deze twee energiecentrales hebben warmtepompen die de restwarmte opkrikken tot een temperatuur van 70 graden en daarna via een warmtenet leveren aan ongeveer zeshonderd woningen en een vijftal bedrijven in Hengelo-Zuid. De warmtepompen worden aangedreven door duurzame elektriciteit uit zonneparken van het afvalverwerkingsbedrijf.

In Rotterdam wordt restwarmte uit de haven uitgewisseld tussen bedrijven voor industriële processen, het verwarmen (en koelen) van nabijgelegen bedrijfspanden en het voeden van de Rotterdamse stadsverwarmingsnetten. In Maastricht wordt restwarmte uit een papierfabriek gebruikt voor het verwarmen (en koelen) van voor de verwarming en koeling van 20 appartementen, 20.000 m² kantoorruimte en 30.000 m² winkelruimte. In Huissen worden de mogelijkheden verkend om een bestaand warmtenet van agrobedrijven uit te breiden naar een nieuwbouwwijk en de buurt Zilverkamp in Huissen. Zilverkamp is ook een van de proeftuinen van het PAW-programma.

Met betrekking tot uitkoppeling van LT-restwarmte voor de gebouwde omgeving zijn er nog geen concrete praktijkvoorbeelden maar wel een paar lopende projecten. In zowel Groningen als de Amsterdamse wijk Middenmeer wordt er gewerkt aan warmtenetten waarbij onder andere lokale restwarmte uit datacentra gebruikt zal worden. In Maasniel (Roermond) - een van de proeftuinwijken - wordt ook gekeken naar een LT-warmtenet met restwarmte van een nabijgelegen papierfabriek.

Ook zijn er twee projecten waar LT-restwarmte gecombineerd wordt met warmte- én koudenetten voor de gebouwde omgeving. In het kantoren- en bedrijfengebied Amstel III van Amsterdam Zuidoost wordt er gewerkt aan een collectieve warmte- en koudenet die gevoed wordt door vier datacentra in het gebied. Het terrein ontwikkelt zich van een bedrijfvenzone naar een woon-werkgebied. In Heerhugowaard wordt ook een collectief warmte- en koudenet ontwikkeld om verschillende bedrijven, instellingen en wooncomplexen met elkaar te verbinden. Het doel is om restwarmte van de bedrijven te gebruiken gekoppeld met warmte en koude uit de bodem. Ongeveer 400 nabijgelegen woningen zijn de afgelopen jaren gerenoveerd tot Nul-Op-De Meter-woningen en zullen allemaal worden voorzien door dit warmte- en koudenet.

Datacentra zijn een mogelijk belangrijke lage temperatuur restwarmtebron voor een paar regio's in de toekomst. Datacentra produceren een constante stroom aan restwarmte die kan worden benut voor het verwarmen van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Er zijn ongeveer 100 datacenters in Nederland en door de beschikbaarheid van goede dataverbindingen is er een gunstig vestigingsklimaat voor internationale bedrijven. Meeste van deze datacenters liggen op dit moment in de Metropool Regio Amsterdam. Echter is er wel onderscheid te maken tussen verschillende soorten datacenters. Bijzonder grote datacentra ('hyperscales') worden vaak gevestigd op plekken waar ruimte goedkoop is en (hernieuwbare) elektriciteit ruim voorhanden is. Hier is restwarmtelevering aan de gebouwde omgeving in sommige gevallen niet eenvoudig. Een grotere potentie voor de gebouwde omgeving zijn de 'colocatie' datacenters en serverparken in de clusters van steden (zoals Amsterdam) en op enkele campussen van universiteiten, kennisinstellingen en/of bedrijfventerreinen. Bij dit soort clusters zijn vaak ook woonwijken en bedrijfvengebieden in de buurt die restwarmte kunnen gebruiken voor verwarmen en koelen. In dit kader is ook interessant het initiatief te benoemen van het plaatsen van computerservers in gebouwen, waarmee de restwarmte direct ingezet kan worden. In dit geval is de warmte meteen op zijn plek en moet de 'data' reizen.

Een andere uitdaging bij restwarmteverbruik uit datacenters is wanneer adiabatiscche koelsystemen worden toegepast. In tegenstelling tot compressie-koelsystemen zijn adiabatiscche koelsystemen minder geschikt om warmte te leveren. In de winter is het koud en kan droge koeling of adiabatiscche koeling zeer lage koelwatertemperaturen geven. Het opgewarmde koelwater is dan mogelijk minder interessant (te laag in temperatuur) voor hergebruik.

Er zijn al partijen in Nederland die interessante innovaties bieden voor efficiëntere restwarmtewinning uit datacentra. Zo worden er water- en oliegekoelde processorkoelers ontwikkeld waarbij restwarmte makkelijker kan worden uitgekoppeld. Bij sommige concepten zijn processorkoelers ondergedompeld in water of olie (zogenheten "immersed cooling"). Dit soort processen kunnen restwarmte met hogere afgiftetemperaturen van bijvoorbeeld 55 graden leveren in plaats van de 30 graden die normaal vanuit de ventilatielucht van datacentra wordt gehaald.

In Nederland zijn er ook onderzoeken geweest naar de rol van PCM's op binnenvaartschepen om restwarmte van industrie te transporteren naar andere gebieden van de gebouwde omgeving.

Knelpunten en benodigde innovaties

Doorontwikkelen van gestandaardiseerde concepten voor restwarmteafname

- Er is behoefte aan het doorontwikkelen en standaardiseren van concepten die qua kosten en energetische efficiënte restwarmte uit industriële processen, (bestaande) koelingen en bijvoorbeeld datacenters halen. Er moet aandacht zijn voor minimale impacts op bedrijfsprocessen. Als het uitkoppelen van restwarmte meer gestandaardiseerd (met meer zekerheid over de kosten en technische consequenties) kan worden dan zal dit ook helpen om de bereidwilligheid in de industrie en bij andere afnemers te vergroten. Andersom zullen deze ontwikkelingen ook warmtebedrijven helpen om via concrete praktijkvoorbeelden en ervaringen mogelijke afnemers te overtuigen. Er is ook aandacht nodig voor het (door)ontwikkelen en demonstreren van kleinschalige warmte-uitkoppelingen, zoals tussen een lokale warmteleverancier (lokale supermarkt of fabriek) en een nabijgelegen flatgebouw/appartementencomplex. Door ontwikkeling en/of demonstratie kan duidelijk gemaakt worden of de business case voor dit soort kleinschalige initiatieven robuust genoeg is. Er moet binnen dit kader ook aandacht zijn voor het ontwikkelen van multi-bronnenstrategieën waar meerdere kleinere lage temperatuur restwarmtebronnen een warmtenet voeden. Voor meer informatie over dit soort collectieve systeemontwikkeling zie deelprogramma 4.

Doorontwikkelen van (nieuwe) concepten om afstand tussen restwarmtebron en afnemer te overbruggen

- Oplossingen zijn nodig om de afstand tussen de plaats waar de restwarmte is en waar deze nodig is te kunnen overbruggen. Dit is vooral interessant voor gevallen waar een pijpleiding te lang en te duur kan zijn. Voorbeelden zijn het transporteren van warmte via PCM's op binnenvaartschepen of via TCM's in vracht, trein of vaarttransport. Voor meer informatie over deze opslagmethodes zie deelprogramma 5.

Aandachtspunten voor beleid

- Het ophaalrecht dat is voorzien in de nieuwe warmtewet zal verder uitgewerkt moeten worden en 'werkbaar' gemaakt moeten worden. Onder meer juridisch, qua business cases en bijv. in combinatie met SDE++ en andere subsidies.
- Er moet breder worden gekeken naar de rol van datacentra en andere potentiële warmteleveranciers in relatie tot de gebouwde omgeving. De energie-efficiënte inclusief warmte-uitkoppeling naar een warmtenet moet worden meegenomen in het ontwerpproces van datacentra en bijvoorbeeld in de vergunningsprocedures en huurcontracten.
- LT-bronnen zoals restwarmte zijn vaak niet groot genoeg om een heel warmtenet van voldoende warmte te voorzien. Er moet beleidsmatig en qua wetgeving dus worden ingezet op het mogelijk maken van een multibronnen aanpak in warmtenetten: veel kleine bronnen maken ook één grote.

3. Doorsnijdende thema's

Dit hoofdstuk biedt een overzicht van maatschappelijke thema's en daarmee samenhangende randvoorwaarden die belangrijk zijn voor het behalen van de doelen van MMIP 4. Het betreft: Digitalisering, Veiligheid, Human Capital Agenda, Maatschappelijk Verantwoord Innoveren en Circulariteit.

Digitalisering, veiligheid, maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital en circulariteit zijn belangrijke randvoorwaarden voor dit innovatieprogramma.

Digitalisering

Bijvoorbeeld bij een collectieve warmtevoorziening zoals het warmtenet zijn er innovatie-opgaven binnen de ICT. Het aansluiten van meerdere duurzame warmtebronnen op één net is technisch mogelijk. Maar hoe worden de samenwerkingsvormen geregeld en wat is het verdienmodel voor verschillende partijen binnen een collectief systeem? Een ander vraagstuk dat speelt is het opwaarderen van de warmte uit een laagtemperatuurnet. Doe je dit met een collectieve of individuele warmtepomp? De wijken binnen de regeling Programma Aardgasvrije Wijken gaan grotendeels aan de slag met nieuwe warmtenetten of stappen over naar een MT/LT-net. Hieruit volgen hopelijk effectieve leidraden voor andere gemeenten om de technische en socio-economische stap te maken naar een duurzame warmtevoorziening.

Uit bovengenoemde situaties blijkt dat binnen dit MMIP de integratie tussen de technieken van de deelonderwerpen belangrijk zijn om de gebouwde omgeving aardgasvrij te krijgen. Denk bijvoorbeeld aan sensoren die op basis van de temperatuur en luchtvochtigheid een warmtepomp in combinatie met een ventilatie-unit kunnen aansturen, om zo de meest efficiënte en energiezuinige warmte te kunnen afgeven. Data is het toverwoord. Door middel van algoritmes die gebruikersvoorkeuren en input over bijvoorbeeld weersomstandigheden meenemen, kan doelgericht energie worden gebruikt voor verwarming en verkoeling van een ruimte. Voor de installatie en het onderhoud van zo'n systeem is het van belang dat een installateur kennis heeft van het meet- en regelsysteem én de mechanische onderdelen van de warmtepomp (zie Human Capital Agenda hierboven). Dit is onder andere terug te zien in de fiets- en autobranche: waar vroeger een auto kapotging door een mechanisch defect is tegenwoordig veel vaker een boordcomputer of accu de oorzaak van het defect. Dit vraagt om andere competenties van installateurs en een verbreding van zijn of haar kennis. Mensen moeten ontzorgd worden door experts die op meerdere markten thuis zijn.

Digitale tools kunnen helpen bij het in kaart brengen van lucht- en temperatuurstromen in een woning. Daardoor kun je de effecten van bijvoorbeeld natuurlijke ventilatie door drukval beter in 'Jip en Janneke-taal' aan de man brengen. Dat draagt bij aan een gezondere en energiezuinigere leefomgeving.

Human Capital Agenda

Om de energietransitie in de gebouwde omgeving te laten slagen, is het essentieel dat er voldoende en goed opgeleide mensen beschikbaar zijn. Via de Human Capital Agenda (HCA) spant de Topsector Energie zich in voor de kwaliteit, gelijkwaardigheid en toegankelijkheid van scholing.

Er is een grote behoefte aan het opleiden, in stand houden en omscholen van getraind personeel in de installatiebranche. Sommige uitvoerende partijen geven nu al aan dat ze een achterstand van kennis en expertise in de markt ervaren. Naarmate er meer warmte en koudesystemen worden geïmplementeerd, zal de vraag naar goed opgeleide installateurs stijgen.

Bijvoorbeeld, de monteurs die zich momenteel bezighouden met de installatie van HR-ketels zouden in de toekomst ook warmtepompen kunnen installeren. Deze mensen moeten dan wel bij- of omgeschoold worden. Mede door flexibele sturing van apparatuur, meet- en regelsystemen en sensortechnieken krijgen hardware-producten zoals een warmtepomp steeds meer een IT-focus. Deze technieken zijn (nog) nauwelijks geïntegreerd in HR-ketels, bijscholing zou hier dus op moeten focussen.

Voor het onderzoeken en pionieren naar de ontwikkeling en toepassing van nieuwe koude- en warmteconcepten is de link met mbo's, hbo's en universiteiten van belang. We moeten aandacht besteden aan het opleiden van voldoende vaktechnische mensen, zodat de installatie van duurzame technieken geen beperkende factor vormt in de energietransitie. Een 'varkenscyclus' binnen de beroepsopleidingen zou zonde zijn van al onze tijd, kennis en inzet op het gebied van het ontwikkelen van duurzame warmte.

Ook afstudeer-, promotie- of PDEng-trajecten doen belangrijke stappen voor kennisontwikkeling en kennisdeling. De innovaties op alle TRL-niveaus moeten een evenredige hoeveelheid instrumenten, ruimte en tijd krijgen om door te groeien naar producten of diensten waar de energietransitie bij gebaat is.

Een *learning community (LC)*-aanpak biedt mogelijkheid tot verdieping en verbreding. Stadslabs, *fieldlabs*, *hotspots* en dergelijke, zijn samenwerkingsverbanden van onderwijsinstellingen, kennisinstellingen en bedrijven (zoals *field labs* en *living labs*) die werken aan innovatiegedreven oplossingen. LC's zijn een belangrijke schakel in het opbouwen en verspreiden van kennis en kunde; de deelnemers zijn in projecten bezig met het ontwikkelen van capaciteiten (leren), met de opbouw van kennis in de praktijk (werken) en met de implementatie van vernieuwende oplossingen (innovatie). Op deze manier kunnen verschillende aspecten van de energietransitie concreet en integraal aan bod komen. Dit kan helpen om het grote abstracte probleem van een snelle nationale of zelfs mondiale transitie hanteerbaar en inzichtelijk te maken, en om oplossingen te genereren die effectief en acceptabel zijn.

Voor meer informatie over de Human Capital Agenda voor MMIP's van de gebouwde omgeving kunt u terecht bij het MMIP-rapport "Versnelling van energierenovaties in de gebouwde omgeving" van MMIP 3.

Maatschappelijk Verantwoord Innoveren

Er moet kennis en ervaring worden opgebouwd over hernieuwbare en aardgasloze warmte- en koudeconcepten voor de gebouwde omgeving, op zowel technisch als sociaal vlak. Innovaties binnen warmte- en koudeconcepten moeten binnen afzienbare tijd in pilotlocaties worden uitgevoerd, getest en geëvalueerd. Daarna kunnen concrete verbeteringen in de volgende stappen van de opschaling worden bereikt. We moeten open blijven communiceren met bewoners en omwonenden, want maatschappelijke acceptatie van bijvoorbeeld geothermie, grootschalige thermische opslag en warmtenetten is belangrijk. Deze collectieve warmtevoorzieningen kunnen alleen tot stand komen als er een significante afzet van de duurzame warmte binnen een compact gebied (wijk) is. De slaagkans van zo'n project hangt in grote mate af van het maatschappelijk enthousiasme.

Dit geldt niet alleen voor collectieve, maar ook voor individuele warmtevoorziening. Goed opgeleide mensen zijn nodig die de bewoners kunnen adviseren en overtuigen bij het aardgasloos maken van de woning (zie Human Capital Agenda boven). Het is bijvoorbeeld belangrijk om vertrouwen op te bouwen dat een warmtepomp hetzelfde comfort niveau kan leveren als een gasketel. Technische en financiële kennis van de verschillende aardgasloze opties zijn daarbij noodzakelijk om de bewoners objectief van advies te kunnen voorzien.

Voor de uitrol van grootschalige thermische opslag of het gebruik van geo- of aquathermische reservoirs moeten uitgebreide exploratie- en risicostudies van de ondergrond worden uitgevoerd. Bij voldoende draagvlak onder de lokale bevolking, zouden deze bronnen een significante rol kunnen gaan spelen in de warmtetransitie. Het zou betreurenswaardig zijn dat door NIMBY-procedures deze ontwikkelingen niet door zouden kunnen gaan, zoals dat bij de pilotlocatie voor CO₂-opslag in Barendrecht is gebeurd.

Circulariteit

De energietransitie gaat gepaard met een andere omgangsvorm met materialen en het herinrichten van waardestromen (zie het oranje kader). In de gebouwde omgeving vertaalt dit zich in circulaire gebiedsontwikkeling en circulaire bedrijvigheid en samenwerkingskansen. In een circulaire economie veranderen de rollen in de keten; gebruikers worden leveranciers en andersom. Dit proces gaat ook gelden voor de energietransitie. Daar horen nieuwe verdienmodellen bij en veranderende rollen voor organisaties die in deze sector actief

Niveau's van circulariteit (10 R's):

- Refuse: weigeren/voorkomen gebruik
- Reduce: verminderen van gebruik'
- Redesign: circulair herontwerpen
- Re-use: product hergebruiken (2e hands)
- Repair: onderhoud en reparatie.
- Refurbish: product opknappen
- Remanufacture: nieuw product van 2e hands
- Re-purpose: hergebruik product maar anders
- Recycle: verwerking/hergebruik materialen
- Recover: energie terugwinning

zijn. Dat biedt economische kansen op het gebied van dienstverlening, hergebruik, reparatie en recycling.

Voor innovatieprojecten binnen MMIP 4 zal er steeds meer aandacht komen voor de volgende principes:

Keuze van materialen

- De milieu-impact van gebruikte materialen moet zo klein mogelijk zijn (of in ieder geval in verhouding staan tot de gerealiseerde impact op energiegebied). Afval wordt tijdens het productieproces zoveel mogelijk beperkt.

Verlengen van de levensduur

- Het is belangrijk om de levensduur van technologieën te verlengen; zowel de levensduur van materialen als de aanpasbaarheid en flexibiliteit van infrastructuur en gebouwen.

Minimalisering van de restmaterialen bij het einde van de functionele levensduur en optimaal hergebruik van materialen en componenten

- Tijdens het ontwerpproces moet er aandacht zijn voor hergebruik van materialen en componenten na de levensduur (*design for disassembly*). Hergebruik kan zowel binnen als buiten de sector plaats vinden. Een uitgangspunt kan zijn om zo min mogelijk samengestelde materialen te gebruiken aan het einde van de levensduur (vanwege armaturen, lijmen, e.d.) niet meer kunnen worden hergebruikt.

Gemakkelijker verwijderen en terugwinnen van restmaterialen aan het einde van de functionele levensduur

- Restmaterialen (zoals leidingen, bodemlussen, e.d.) moeten op gemakkelijke manieren verwijderd en teruggewonnen kunnen worden uit de ondergrond. Deze restmaterialen moeten zoveel mogelijk hergebruikt kunnen worden.

4. Opzet van het innovatieprogramma

Meerjarige missiegedreven aanpak

De MMIP's en daaruit voortvloeiende innovaties zijn een middel om de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord en de geformuleerde missies op termijn te realiseren. Missiegedreven innovatiebeleid richt zich op het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen en op het benutten van de economische kansen.

Fundamenteel & toegepast onderzoek en innovatie vragen om een uitgebalanceerde combinatie van publieke en private financiering en om een geschikt stimuleringsinstrumentarium.

Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen we in dit MMIP vooral de kennis en innovaties moeten ontwikkelen die al voorbij de laagste *technology readiness levels* (TRL's) zijn. Ook moeten we doorbouwen op de kennis die al is opgedaan en op ontwikkelingen die al zijn gestart. Tegelijkertijd zijn geheel nieuwe innovaties op fundamenteel niveau van belang om invulling te geven aan de missies voor 2050. In elk deelprogramma worden kennis- en innovatievraagstukken benoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen drie verschillende fases:

- Onderzoeken (TRL 1-3);
- Ontwikkelen (TRL 4-6);
- Demonstreren en implementeren (TRL 7-9).

Daarnaast bevat elk deelprogramma een aantal niet-technologische thema's waarop kennisontwikkeling dient plaats te vinden. Deze zijn niet te vatten in een TRL-fase en worden als 'doorsnijdende' thema's gezien.

Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen we vooral de kennis en innovaties moeten benutten die al voorbij de laagste TRL's zijn.

Instrumenten en financiering

Het MMIP is geen subsidieregeling en heeft geen eigen budget. Verschillende subsidieregelingen leveren gezamenlijk een bijdrage aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stapje verder te helpen. Om de missie van dit MMIP te realiseren, wordt gebruik gemaakt van een breed scala aan instrumenten en activiteiten, namelijk:

Fundamenteel en toegepast onderzoek vragen een gebalanceerde combinatie van publieke en private financiering en een geschikt stimuleringsinstrumentarium.

- Financiële middelen en instrumenten voor consortia en MKB innovatoren;

- Kennisdeling; door middel van o.a. kennisdossiers, whitepapers en evenementen
- Deelnemen en initiëren van overlegstructuren op het vlak van normering, certificering en standaarden;
- Signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving.

Daarbij hoort ook een gebalanceerde inzet van financiële middelen over de gehele innovatieketen, van funderend en toegepast onderzoek tot pilots en demo's.

De volgende instrumenten zijn met name relevant zijn voor het bereiken van de missie⁵:

- Onderzoeken (TRL 1-4): Kennis- en Innovatieconvenant (KIC), Open competitie middelen NWO, PPS-fonds en de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze instrumenten richten zich met name op fundamenteel onderzoek en industrieel onderzoek. Voor investeringen die benodigd zijn voor onderzoek is het instrument Investerings NWO-Groot relevant.
- Ontwikkelen (TRL 4-7): 'Vrije' middelen van TNO (SMO-middelen), de MOOI-regeling, de Urban Energy-subsidieregeling van de Topsector Energie, de Hernieuwbare Energietransitie (HER+) en het PPS-toeslag instrument. Deze instrumenten richten zich met name op industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots.
- Demonstreren en implementeren (TRL 7-9): Hernieuwbare Energietransitie (HER+), diverse categorieën van de Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+). Deze instrumenten richten zich met name op experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots en demonstratieprojecten.

De instrumenten vallen onder auspiciën van verschillende organisaties (het ministerie van EZK, RVO, TKI, TNO en NWO).

Huidige budgetten (2020)

Onderstaande tabel toont een overzicht van het huidige publieke budget, met een totaal van € 124 miljoen dat definitief is ingezet ten behoeve van MMIP 2 tot en met 5. Het budget is uitgesplitst naar verschillende instrumenten en TRL-niveaus en is (uitgedrukt in miljoenen euro's). Een aantal projecten dat is ingediend in 2020 is nog niet definitief beschikt, waardoor dit bedrag van €124 miljoen niet het volledige beschikte subsidiebedrag betreft dat definitief is ingezet ten behoeve van MMIP 2 tot en met 5. Het budget is uitgesplitst naar verschillende instrumenten en TRL-niveaus en is (uitgedrukt in miljoenen euro's).

⁵ Sommige instrumenten richten zich op een breder domein dan alleen de gebouwde omgeving of zelfs de energiesector.

GO 2020 (publiek) (per jaar)	NWO*	TNO	Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)								TOTAAL
	Diversen	Diversen	MOOI	PPS	TSE GO	DEI+ energie-innovatie en efficiëntie	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aardgasloos	HER	
TRL 1-4	14,0										14,0
TRL 4-7		13,3	63,4	2,2	2,9					1,7	83,5
TRL 7-9						13,3	8,7	0,5	3,6	0,0	26,1
	14,0	13,3	63,4	2,2	2,9	13,3	8,7	0,5	3,6	1,7	123,6

De inschatting van NWO-middelen is een gebaseerd op de middelen die in vorige KICs beschikbaar waren en die in voorgaande jaren zijn ingezet voor projecten op het GO-domein. Beschikbare middelen bestaan o.a. uit NWA (108 miljoen in 2019), KIC (100 miljoen in 2019), open competitie (127 miljoen), Zwaartekracht (115 miljoen voor 2018-2019).

Rekening houdend met verschillende maximum subsidiepercentages en private cofinancieringseisen, is een schatting gemaakt van de jaarlijkse totale projectomvang voor het 'Urban Energy' domein in 2020 (inclusief de ontwikkeling van zonne-energie, maar exclusief windenergie). Deze bedraagt ongeveer €244 miljoen in totaal.

GO 2020 (totaal) (per jaar)	NWO	TNO	Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)								TOTAAL
	Diversen	Diversen	MOOI	PPS	TSE GO	DEI+ energie-innovatie en efficiëntie	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aardgasloos	HER	
TRL 1-4	14,0										14,0
TRL 4-7		14,5	100,0	3,3	4,4					3,4	125,6
TRL 7-9						53,2	34,8	2,0	14,4	0,0	104,4
	14,0	14,5	100,0	3,3	4,4	53,2	34,8	2,0	14,4	3,4	244,0

Publiek / privaat: DEI+: 25%/75%, HER: 50%/50%, PPS en TSE GO: 66%/33%, TNO: 90% /10%, NWO: 100% publiek

Europese en regionale budgetten (zoals Horizon 2020, ERA-net, INTERREG) en de MIT-regeling zijn in deze opzet buiten beschouwing gelaten, maar dragen vanzelfsprekend ook bij aan de missie van de MMIP's. Het is wenselijk om het organiserend vermogen van de verschillende MMIP's ook op deze instrumenten te richten.

Beschikbare budgetten (2021-2024)

In de tweede helft het jaar wordt de allocatie van publieke middelen aan de innovatieprogramma's vastgesteld voor het daaropvolgende jaar, op basis van de ambities die in het Klimaatakkoord en de daarvan afgeleide IKIA zijn geformuleerd. De allocatie wordt vastgelegd in het Kennis- en Innovatie Convenant (KIC). De middelen worden ingezet voor onderzoek, innovatieontwikkeling en pilots en demonstraties.

Hierbij wordt rekening gehouden met de toegenomen investeringsbereidheid van marktpartijen.

Nauw betrokkenen bij de MMIP's hebben jaarlijks de beschikking over een 'eigen' onderzoeksbudget. Door middel van korte studies of onderzoeken kunnen ze snel en gericht ondersteuning bieden aan de programmavoorstellen die door marktpartijen worden ingediend.

Er wordt ook instrumentarium ontwikkeld om de energietransitie te versnellen en de marktvrage te stimuleren. Denk bijvoorbeeld aan de 'Startmotor' of de Renovatieversneller waarin corporatiebezit gebundeld wordt aangeboden aan marktpartijen. Een ander voorbeeld is het door TKI Urban Energy en CLICKNL geïnitieerde programma Uptempo!, waarin op gestructureerde wijze aanbiedende en vragende partijen met elkaar worden verbonden. De ervaringen die in dit programma worden opgedaan zullen vervolgens in het proces van opschaling van de energietransitie worden ingezet.

Het is de bedoeling dat de innovatieagenda's van NWO en TNO waar mogelijk op elkaar worden afgestemd ten behoeve van impactverhoging.

Benodigd budget voor bereiken versnelling (2022-2025)

Om de doelen van het MMIP te bereiken is een goede synergie nodig tussen de verschillende subsidie-instrumenten. Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen we vooral de kennis en innovaties moeten benutten die al voorbij de laagste TRL's zijn. We zien in 2020 een significante afname in het beschikbare subsidiebudget, en tegelijkertijd dat recente subsidieregelingen fors zijn overschreden.

- In februari 2020 opende de MOOI-regeling waarbij €27 mln subsidie beschikbaar werd gesteld voor de gebouwde omgeving en €10,9 mln subsidie beschikbaar werd gesteld voor hernieuwbare elektriciteit op land. Op prinsjesdag 2020 werd bekend dat het budget voor de gebouwde omgeving verruimd werd tot €57 mln. Uiteindelijk zijn er 87 vooraanmeldingen geweest voor de MOOI regeling en hebben 40 consortia een definitieve subsidieaanvraag ingediend. Hiervan zijn 16 projecten gehonoreerd. Daarnaast waren er vier projecten met een positieve beoordeling, maar deze vier projecten zijn afgewezen op basis van beschikbaar budget. Grofweg had er dus 25% extra subsidie aan innovatieprojecten besteed kunnen worden, die significant hadden bijgedragen aan missie B.
- Voor de TSE GO was een bedrag van €2,7 mln beschikbaar, waarvoor er 10 projecten zijn gehonoreerd. Er waren 32 aanmeldingen die voor €10,4 mln hebben ingediend.
- Voor de PPS-toeslag 2020 zijn 14 projecten gehonoreerd die niet-concurrerend hebben ingediend. Vanaf 2021 worden alle PPS-voorstellen in concurrentie ingediend. Dit heeft in PPS-toeslag 2021 ertoe geleid dat 28 voorstellen zijn ingediend met een gemiddeld budget van €310.000, terwijl het beschikbare budget €3,6 mln is voor 2021. Dit betekent dat 11 á 12 voorstellen gehonoreerd kunnen worden.

In 2021 zal minder innovatiebudget beschikbaar zijn dan in 2020. Het beschikbare subsidiebudget zal naar verwachting afnemen van €119 mln in 2020 tot ongeveer €30-80 mln in 2021, terwijl het beschikbare innovatiebudget 2019 nog €164 mln bedroeg. In 2022 is juist weer een hoger beschikbaar innovatiebudget te verwachten, mits de MOOI-regeling en TSE GO doorgaan zoals verwacht. Daarmee is het jaarlijks beschikbare subsidiebudget sterk fluctuerend voor innovatoren, wat kan leiden tot vertraging voor het beschikbaar komen van innovatieve oplossingen in de markt. Met name het ontbreken van de TSE GO in 2021 zorgt voor een gebrek aan stimulering voor gerichte innovatie door MKB. Daarnaast zien we met de MOOI regeling dat de nadruk van de innovatieregelingen meer richting de hogere TRL's is opgeschoven. Dit veroorzaakt in de praktijk een gat tussen beschikbare budgetten tussen de lagere TRL's en hogere TRL's. Dit werkt remmend voor de doorontwikkeling van innovaties die vanuit de meer fundamentele onderzoeksprojecten gestart zijn. Dit pleit ervoor om elk jaar de MOOI en TSE GO regelingen open te stellen voor innovatieve consortia. Hiermee kunnen onderzoekers en innovatoren meer gelijkmatig werken aan innovaties wat ook de snelheid van de ontwikkeling ten goede zal komen.

Monitoring en evaluatie

Het ontwikkelen van innovaties is geen lineair proces. Het is nodig om te toetsen of ontwikkelde oplossingen afdoende beantwoorden aan het bereiken van de missie. Bovendien kunnen ontwikkelde innovaties tegelijkertijd weer leiden tot nieuwe uitdagingen. Daarnaast speelt wet- en regelgeving een rol; deze bepalen de richting en snelheid waarmee oplossingen worden ontwikkeld. Door kaders aan te passen of juist gelijk te houden, kan de behoefte aan bepaalde oplossingen veranderen.

Monitoring en effectmeting zijn voor het welslagen van het missiegedreven innovatiebeleid van groot belang. We zullen communiceren hoe men de effecten meet en doelen denkt te realiseren, zodat consortia hierin de uitvoering rekening mee kunnen houden. Door het dynamische karakter van het MMIP zal er behoefte zijn aan herijking en bijstelling van het programma. Hierbij is een balans nodig tussen langjarig commitment en flexibele bijsturing. Lessen vanuit innoverende consortia, onderzoek naar de effectiviteit van de ontwikkelde innovaties, ontwikkelingen in de markt en (mogelijke) aanpassing van belemmerende wet- en regelgeving zullen de ingrediënten aanreiken voor dit iteratieve proces.

Per deelprogramma worden de belangrijkste innovatiethema's beschreven en Key Performance Indicators (KPI's) bepaald. Deze KPI's, afgeleid van de missies uit het klimaatakkoord en de daaruit afgeleide missies voor dit MMIP, vormen de basis om periodiek een deelprogramma te evalueren en de voortgang te monitoren. Speciaal hiervoor wordt een Innovatie Monitoring Unit opgericht die de hiervoor benodigde tools en methodieken ontwikkelt zodat de voortgang onafhankelijk kan worden getoetst. Deze Monitoring Unit voert de toetsing ook daadwerkelijk uit en doet aanbevelingen om de uitvoering van het MMIP te verbeteren. Implementatie van de aanbevelingen is aan het team dat verantwoordelijk is voor het MMIP-programmamangement.

Het is belangrijk om te nauw samen te werken en te leren van ervaringen in Nederland en het buitenland. Daarom zullen in Nederland in ruime mate proeftuinen en fieldlabs moeten worden opgezet, waar innovatieve renovatieconcepten in praktijkomstandigheden worden onderzocht en beproefd. Een voorbeeld van een succesvol fieldlab in Nederland is The Green Village in Delft. Daarnaast moet er een nationaal monitoringsprogramma worden opgezet waarin data uit ontwikkelprojecten, proefprojecten, fieldlabs, pilot- en demo-projecten en ook uit commerciële projecten centraal worden verzameld en geanalyseerd. Zo kunnen we optimaal leren van alle ontwikkelingen en implementaties. De opzet van een dergelijk programma is essentieel om de gewenste versnelling in kennisontwikkeling en implementatie in Nederland te kunnen bereiken.

Valorisatie, marktcreatie en wettelijke kaders

Valorisatie en marktcreatie

Vanwege het missiegedreven karakter van dit MMIP is het van belang om ook aandacht te besteden aan valorisatie (aanbodstimulering) en marktcreatie (vraagstimulering). Missies worden immers pas gerealiseerd als innovaties toegepast worden, want dan ontstaat economische en maatschappelijke waarde. Voor valorisatie worden vier sporen geïdentificeerd: het stimuleren van startups, het ontwikkelen van kennis richting marktintroductie (testen, demonstreren, valideren, implementeren), het verspreiden van nieuwe kennis en de ontwikkeling van menselijk kapitaal. Voor marktcreatie worden ook vier sporen voorgesteld: het aankoopbeleid van de overheid, financiële en fiscale prikkels, regelgeving en normering en gedragsbeïnvloeding.

Qua valorisatie wordt voortgebouwd op activiteiten die reeds lopen in de topsectoren. TKI's zullen blijvend kennisverspreiding blijven organiseren. Voor een versnelling op het gebied van valorisatie zal de Topsector Energie ook meer aandacht geven aan private financieringsmogelijkheden om bedrijven in staat te stellen om meer en sneller te innoveren.

Binnen de verschillende instrumenten wordt gezocht naar consortia die expliciet aandacht hebben voor relevante ontwikkelingen in de markt en veranderingen van wettelijke kaders. Van grotere consortia en voorstellen, met name bij de MOOI-regeling, wordt verwacht dat zij een transitiepad schetsen voor verdere uitrol van hun resultaten, met aandacht voor markt en wettelijke kaders. Projectvoorstellen moeten inzichtelijk en aannemelijk maken hoe hun oplossingen bijdragen aan het bereiken van de MMIP-missies.

Consortia die actief zijn binnen dit MMIP worden tevens betrokken bij het signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving. Daarmee organiseren we structurele input waarmee we aansluiting zoeken bij de verschillende gremia die zich richten op (het maken van voorstellen voor) de aanpassing van wettelijke kaders. Er wordt gestreefd naar een actieve dialoog met de ministeries van EZK, BZK en I&W om oplossingen te vinden om deze belemmeringen en knelpunten weg te nemen.

Voor het stimuleren van de markt voor gebouwen met een goede energieprestatie, is het van belang om de regelgeving doorlopend, voorspelbaar en consistent, aan te scherpen en te handhaven. Denk daarbij aan een jaarlijkse aanscherping van het BENG-beleid voor nieuwbouw en de regelgeving voor energieprestatie verbeterende renovaties. Dit zal voor verdere innovatie en kostprijzdaling van innovatieve renovatieconcepten zorgen. Verdieping van het onderzoek naar de effectiviteit van deze regelgeving is noodzakelijk om de vereiste snelheid en volume te kunnen realiseren. Een voorbeeld: Bij commercieel vastgoed met een grootverbruikersaansluiting, speelt het probleem dat het huidige bouwbesluit/ NTA8800/ BENG te weinig prikkels geeft aan gebouweigenaren en bouwpartijen om optimaal gebruik te maken van het potentieel van innovatieve renovatieconcepten. Het is van groot belang om met alle stakeholders goede afspraken te maken hoe deze toepassing optimaal gestimuleerd kan worden. Ook is het belangrijk dat er meer informatie beschikbaar komt over de toepassing van systemen voor de productie van duurzame energie voor investeerders en gebruikers.

Wettelijke kaders

Gemeentes, provincies, waterschappen, etc. werken op dit moment aan Regionale Energie Strategieën (RES). Dit doen zij samen met diverse belangenorganisaties in 30 regio's. De RES is een instrument om gezamenlijk te komen tot keuzes voor de verduurzaming van het energiesysteem in een bepaalde regio en, daaraan gekoppeld, tot een beter beleid en vergunningsprocedures. Om binnen de afzonderlijke RES'en goede keuzes te kunnen maken, is goede, onafhankelijk geverifieerde kennis nodig over de verschillende technische mogelijkheden per type areaal, zoals gebouwen, land, infra en water. Het is daarom belangrijk om gedegen onderzoek te doen naar de verschillende waardecomponenten van deze opties. Denk aan financiële en niet-financiële waarden zoals esthetiek, maatschappelijke acceptatie, effecten op ecologie en biodiversiteit en de te verwachten kosten. Dit type breed opgezette maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA) kan een doorlopende input zijn voor de ontwikkeling of jaarlijkse bijstelling van de RES'en.

De RES'en stellen een Regionale Structuur Warmte (RSW) op per regio, die als input dienen voor de transitievisie warmte van gemeenten. Gemeenten stellen de transitievisie warmte op voor eind 2021, zoals afgesproken in het klimaatakkoord en vastgelegd in de omgevingswet. In de transitievisie warmte wordt per wijk de route uitgestippeld voor een CO₂-neutrale gebouwde omgeving in 2050. Hiermee krijgen gemeentes de regie in de wijkgerichte aanpak.

De besluitvorming voor het afgeven van vergunningen vindt plaats op gemeentelijk en provinciaal niveau. Daar is behoefte aan handvatten en richtlijnen om voor specifieke locaties tot een optimale afweging en vergunningsverlening te komen. Soms zijn er tegenstrijdige kwaliteiten en belangen zoals energiebesparing, beschermd stadsgezicht, natuurwaarde en biodiversiteit. Rondom de vergunningverlening speelt een duidelijk afwegingskader een belangrijke rol. Dit kader zal toepasbaar moeten zijn op specifieke locaties, moet gevuld zijn met recente en objectieve kennis en moet begrijpelijk zijn voor niet-technische gebruikers.

Daarnaast zijn er verschillende richtlijnen en bepalingsmethoden voor de energieprestatie voor gebouwen die richtinggevend zijn voor de investeringen voor gebouweigenaren. Voor Utiliteitsbouw geldt volgens de Europese Energie-Efficiency Richtlijn (EED) dat ondernemingen met 250 fte of meer, óf meer dan € 50 miljoen én een jaarlijkse balanstotaal van meer dan € 43 miljoen moeten voldoen aan de EED Energie-auditplicht. Daarnaast geldt op grond van het activiteitenbesluit milieubeheer dat bedrijven met een jaarlijks energieverbruik van 50.000 kWh elektriciteit of 25.000 m³ aardgas een energiebesparingsplicht door de zogenaamde erkende maatregelen uit te voeren. Voor kantoren geldt de energielabel C plicht in 2023.

Standardisatie en normering

Standaardisatie draagt bij aan de impact van innovaties in MMIP4. Binnen dit MMIP wordt voorzien in een integrale aanpak voor standaardisatie ten dienste van onderzoek, ontwikkeling en innovatie. Dit richt zich op alle fasen van innovatie: van projectidee, uitvoering en evaluatie tot disseminatie. Deze samenhang tussen innovatieprojecten en (internationale) standaardisatie is weergegeven in de onderstaande figuur. Oog voor standaardisatie is belangrijk voor projecten binnen dit MMIP.



Communicatie, leren en disseminatie

Resultaten uit de innovatieprojecten worden actief gedeeld via uitgebreide rapportages, publieke samenvattingen, presentaties tijdens bijeenkomsten, afstemming met en leren van andere MMIP's en meer. Het streven is om interactie tussen verschillende innovatoren op gang te brengen, waarbij de overheid en de markt expliciet worden betrokken om kennis te nemen van de nieuwste ontwikkelingen. Dat geeft een versnelling aan het realiseren, inbedden en vermarkten van de ontwikkelde innovaties.

Qua valorisatie wordt voortgebouwd op de activiteiten die reeds lopen in de Topsectoren (zoals het stimuleren van start-ups, kennisverspreiding naar het MKB en human capital). Voor verdere versnelling op het gebied van valorisatie zal vanuit de Topsector Energie meer aandacht worden besteed aan private financieringsmogelijkheden (via een masterclass financiering, een investors day en een loketfunctie voor financieringsvraagstukken). Aandacht voor andere financieringsroutes is essentieel om bedrijven in staat te stellen te innoveren. Subsidies kunnen namelijk nooit de volledige financieringsbehoefte van innovatieve bedrijven dekken, doordat niet alle bedrijfsuitgaven subsidiabel zijn en doordat subsidies nooit de volledige gemaakte kosten dekken; er wordt altijd een in-kind of in-cash bijdrage gevraagd.

Uptempo

Het in 2019 gestarte programma Uptempo! is relevant voor innovaties in de gebouwde omgeving. Dit programma beoogt om de ontwikkelde energieoplossingen uit de innovatieprogramma's te verbinden aan vragende partijen zoals gemeentes, woningcorporaties, gebouweigenaren en particuliere woningeigenaren. Bijkomend voordeel van die vraagbundeling is dat de partijen zo innovatieverspreiding en -opscaling ondersteunen.

Meer informatie

Bij het opstellen van programmavoorstellen kan van de volgende informatie over projecten en innovaties gebruik gemaakt worden:

- De [projectapplicatie](#) van de Topsector Energie
- De [projectencatalogussen](#) voor de verschillende programmalijnen van TKI Urban Energy.
- De [kennisbank](#) van TKI Urban Energy.
- Het [YouTube-kanaal](#) van de Topsector Energie.

Samenwerking in regionale en internationale context

Samenwerking in regio's

De regio vormt in veel gevallen het startpunt voor innovatie, omdat bedrijven, kennisinstellingen, overheden en burgers juist op regionale schaal met elkaar samenwerken. Afspraken met de regio's vormen dan ook een belangrijke basis onder het missiegedreven kennis- en innovatiebeleid. Onderstaande tabel geeft weer wat de provincies aan toegevoegde waarde bieden:

Groningen	Vanuit de aardbevingsproblematiek in de provincie is er drang om snel van het gas af te gaan en meer inzicht te krijgen hoe de bodem te herstellen en versterken. Met behulp van het WarmteTransitieCentrum zal er uitvoeringskracht en onderzoek worden gedaan in de regio.
Zuid-Holland	TU Delft, Deltares en TNO zijn zeer belangrijke spelers in de ontwikkeling van kennis over duurzame warme en koude in deze provincie. Zij zijn samen met bijvoorbeeld gemeenten betrokken bij een aantal initiatieven zoals Geothermie Innovatie Centre Rijswijk, WKO-kring EnergieRijk Den Haag, Warmtealliantie, Geothermie Alliantie, Warmtemeer in HIC en HTO.
Brabant	Aan de TU/e vindt onderzoek plaats naar kleinschalige warmteopslagsystemen en demo's voor slimme compacte warmteopslag inclusief <i>peakshaving</i> , handelsplatform en <i>smart grid</i> . Ook is er kennis van de diepe ondergrond in relatie tot geothermie en boren en worden er en in de regio pilots ontwikkeld voor grootschalige thermische opslag.
Overijssel	Regio's kunnen zorgen voor meer samenhang tussen de diverse pilots en bijvoorbeeld de ontwikkeling van een pilot voor heel Nederland faciliteren. Het gaat dan om een groot aantal woningen, bijvoorbeeld 100.000. Er kunnen dan afspraken worden gemaakt met de warmtepompindustrie over kostprijsverlaging van enkele warmtepompconcepten als voorwaarde om te mogen leveren binnen de pilot. Op die manier kunnen <i>economies of scale</i> worden afgedwongen in de markt. Ze bieden experimenteerruimte in Proeftuin Regionale Warmtetransitie Overijssel (nu 15 warmtenetten) inclusief financieringsconstructies. Bij Hogeschool Saxion wordt onderzoek gedaan naar samenwerkingsmodellen en robotiseringstechnieken van de aanleg van warmtenetten. In de regio komt veel restwarmte van 40°C vrij die nu nog onbenut blijft. Verder stelt de regio experimenteerruimte beschikbaar voor geothermie in de gebouwde omgeving (Zwolle) en glastuinbouw (Koekoekspolder).
Noord-Holland	Noord-Holland is bezig met het ontwikkelen van aansluitingsconcepten van woningen (gestapeld en grondgebonden) op warmtenetten die snel en betaalbaar zijn en waarbij een minimum aan hak- en breekwerk nodig is. Op de Energy and Health Campus in Petten vindt samenwerking plaats op het gebied van kennisontwikkeling tussen verschillende partijen.
Limburg	De Chemelot Campus is een clustering waarin samengewerkt wordt tussen overheden, kennisinstellingen, MKB en grote bedrijven. Er is hier plaats voor experimenteerruimte voor innovatie en valorisatie.

Internationale link

Met de IEA, Mission Innovation, Horizon2020 en TCP's is het mogelijk om in internationaal verband te werken aan innovaties. Warmtepompen worden momenteel voornamelijk buiten Nederland geproduceerd. Het onderzoek binnen Nederlandse kennisinstellingen en bedrijven houdt zich bezig met nieuwe principes of vraagstukken over systeemintegratie. Nederland is projectleider van de 'Comfort Climate Box', een project dat valt onder 'affordable heating and cooling' van de IEA. In internationaal gezelschap wordt hier gewerkt aan het ontwikkelen en integreren van componenten in een systeem die samen moeten zorgen voor een comfortabel binnenklimaat in

woningen. Hierin komen de onderwerpen warmtepompen, energieopslag en energie-opwekkingsmodules terug.

Nederland heeft een internationaal leidende kennispositie wat betreft kleinschalige warmteopslagsystemen en compacte warmteopslag. Vijf opeenvolgende *calls* in FP7-H2020 met betrekking tot compacte warmteopslag zijn gewonnen door Nederlands geleide consortia, te weten: FP7 EINSTEIN, FP7 MERITS, H2020 CREATE, H2020 SCORES, H2020 HEAT-INSYDE. Verder is er betrokkenheid bij het Horizon Europe-programma 'Partnership Built Environment and Construction' (werktitel: 'People-centric sustainable built environment'). Nederland heeft hieraan hoge prioriteit gegeven. Ook door middel van de KIC InnoEnergy en Mission Innovation (doel: *secure, clean and efficient energy*) wordt er in international verband gewerkt aan innovaties.

Voor kleinschalige warmteopslagsystemen ligt er een nieuwe, wereldwijde markt met een enorm potentieel, waarin de Nederlandse industrie een leidende marktpositie kan verwerven (zowel in de chemische industrie als in de apparatenbouw). Er is momenteel nog weinig concurrentie – snelheid is geboden om dit exportpotentieel te benutten. Naast warmte ligt een tweede route van koeling in het verschiet met gebruik van dezelfde technologie. Door onze leidende positie zijn we voorloper op het gebied van kleinschalige warmteopslagsystemen. Samenwerking met Duitse chemische industrie in de opschaling van de productie thermochemisch materiaal is daarbij nodig. Overige Europese samenwerking richt zich op demonstratie en validatie van deze nieuwe technologie.

Nederland heeft een leidende kennispositie op het vlak van geothermie. Dankzij de olie- en gasindustrie is er decennialang kennis ontwikkeld ten aanzien van exploratie, boren en omgaan met geologische risico's. TNO en andere Nederlandse partijen zijn actief in lopende H2020 programma's (zoals IMAGE, SURE, DESTRESS, GEMEX, GEOWELL) en GEOTHERMICA-projecten (zoals HEATSTORE, PERFORM, GECONNECT, CAGE). Daarnaast is Nederland een van de snelst groeiende landen qua geothermie (in termen van aantallen projecten en PJ). De Nederlandse geothermiesector is ook actief in andere landen.

In het EU HEATSTORE-programma worden in Europees verband lessen over grootschalige warmteopslag geleerd en gedeeld met verschillende landen. In dit programma worden vijf grootschalige demonstratieprojecten ontwikkeld. In Denemarken wordt bijvoorbeeld veel gebruik gemaakt van warmtenetten gecombineerd met grote waterbassins (*pit storage*). In Duitsland is ook ervaring met opslag in waterhoudende lagen op hogere temperaturen. Nederland kan leren van deze ervaringen en heeft zelf ook een grootschalige demoproject in ontwikkeling.

Smart ventilation systems worden momenteel ontworpen in Frankrijk, de techniek is hier verder dan in Nederland. Ook wordt daar gewerkt aan het ontwikkelen van sensoren voor *Indoor Air Quality* (IAQ) en vinden er in Nederland studies plaats naar de relatie tussen luchtkwaliteit en woningrenovatie. Deze kennis kan de Nederlandse woningbouw en kassenbouw helpen.

5. Colofon

Elk jaar worden innovatieprojecten afgerond, worden nieuwe projecten opgestart, worden projectconsortia bezocht of nader bestudeerd en worden er onderzoeksoopdrachten opgeleverd. De hiermee opgedane kennis en inzichten geven in meer of mindere mate aanleiding tot herziening van de innovatieprogramma's. Het proces van terugblikken, analyseren en het herzien van innovatieprogramma's is een continu proces dat door TKI Urban Energy wordt uitgevoerd onder de noemer 'permanente portfolioanalyse' ⁶.

In nauwe samenwerking met RVO is in 2020 de cyclus van de portfolioanalyse (inclusief data- en informatieverzameling) voor het eerst volledig doorlopen. In samenwerking met de Programma Adviescolleges (PAC) zijn er van elk MMIP herziene versies tot stand gekomen. De herziene versies zijn mede namens de voorzitters van de PAC's voorgelegd aan het Missie Innovatieteam Gebouwde Omgeving. Het MI-team heeft de herziene versies in september 2020 vastgesteld. De herziene MMIP's staan (wederom) aan de basis van innovatieregelingen voor de gebouwde omgeving.

Het Programma Adviescollege van MMIP4 bestaat uit de volgende personen: Charles Geelen (voorzitter), Robert Jan van Egmond (verantwoordelijk programmamanager), David van Petersen, Johan van Bael, Erik Caelen, Maurice Hanegraaf, Huub Keizers, Laurens Knegt, Henk Looijen, Ivo Pothof, Jorien Schaaf, Johan Slobbe, Sabine Jansen, Jentse Hoekstra, Marion Bakker, Paul Ramsak.

Aan dit document hebben de volgende mensen meegeschreven:

Bonne van der Veen (Deltares), David van der Woude (BZK), David van Petersen (TKI Urban Energy), Erik Caelen (Itho Daalderop), Frank Agterberg (Vereniging Warmtepompen, voorheen DHPA), Huub Keizers (TNO), Ivo Pothof (Deltares), Jorien Schaaf (EBN), Julia de Geus (TKI Urban Energy), Maurice Hanegraaf (TNO), Olaf Adan (TNO), Peter Odermatt (EBN), Pieter Loonen (TKI Urban Energy), Ralf Vermeer (EZK), Rik te Raa (TKI Urban Energy), Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy) en Wouter Borsboom (TNO).

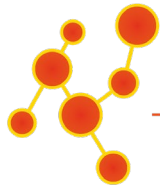
De volgende mensen hebben aan dit document bijgedragen:

Anne Booijmans (EZK), Bouwe Meijer (TKI Urban Energy), Charles Geelen (VWP), Daniel van Rijn (RVO), Eelco van der Eijk (EZK), Frank Schoof (SPG), Frank van den Berg (TNO), Gerda Lenselink (Deltares), Gijs de Man (Stadverwarming Purmerend), Henk Looijen (Rijkswaterstaat), Henk Visscher (TU Delft), Herm van der Beek (EZK), Jesper Juffermans (RVO), Johan van Bael (VITO), Johan Slobbe (BZK), John Post (TSE), Joost Koch (RVO), Laetitia Ouillet (TU/e), Laurens Knegt (Paradera), Lennart Goemans (EZK), Lex Bosselaar (RVO), Luuk Beurskens (ECN-TNO), Maarten de Vries (TKI Urban Energy), Marcel Hoek (NWO), Mari van Dreumel (I&W), Marion Bakker (RVO), Marleen Spiekman (TNO), Martin Bloemendal (KWR & TU Delft), Martin van der Hout (DAGO), Nora Heijnen (EBN), Paul Klaassens (BZK), Paul Ramsak (RVO),

⁶ De methodiek van de permanente portfolioanalyse wordt nu ook voor en met de andere sub-TKI's van TKI Energie uitgewerkt en toegepast. Tevens wordt met RVO verbinding gelegd met de ministeries ten behoeve van de 'monitoring en effectmeting'.

Philip Vardon (TU Delft), Piet Jacobs (TNO), Pim Donkers (TNO), Reinier Romijn (Unie van Waterschappen), Robert de Velde (RVO), Rogier Groeneveld (TKI Urban Energy), Roy Dekker (EZK), Rutger van der Brugge (Deltares), Sabine Jansen (EZK), Sandra de Keijzer (NWO), Teun Bokhoven (TKI Urban Energy), Tjalling de Vries (EZK), Walid Atmar (VLA), Wendela Slot (EZK), Wendela Waller (TKI Urban Energy), Nora Heijnen (EBN) en Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy).

Bij vragen over het document of als een toelichting wordt gevraagd, kan contact worden opgenomen met Robert Jan van Egmond, programmamanager Duurzame Warmte en Koude (robertjan@tki-urbanenergy.nl)



TKI URBAN ENERGY

Topsector Energie

TKI Urban Energy

Arthur van Schendelstraat 550D
3511 MH Utrecht

T +31 30 747 00 27

E info@tki-urbanenergy.nl

T www.tki-urbanenergy.nl

