

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

Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma

Update juni 2023

Oorspronkelijke publicatiedatum: 6 september 2019



# 1. Samenvatting

## Aanleiding

Het kabinet heeft met het nationale Klimaatakkoord een centraal doel: het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Voor deze opgave is kennis en innovatie nodig, welke wordt beschreven in dertien *Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's* (MMIP's). Voor u ligt het vierde MMIP, getiteld 'Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)'. Dit MMIP draagt bij aan missie B van het Klimaatakkoord (een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving in 2050) en de tussendoelen die voor 2030 geformuleerd zijn. Een groot deel (ongeveer een kwart) van het finale energieverbruik in Nederland wordt gebruikt voor het verwarmen van de gebouwde omgeving<sup>1</sup>. Een van de grootste uitdagingen binnen missie B is dan ook om de warmte- en koudelevering voor bestaande gebouwen te verduurzamen.

## Doelstellingen van MMIP 4

Het MMIP 4-programma heeft als doel om een competitief en aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor eindgebruikers in de bestaande woningbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw te ontwikkelen en vervolgens op te schalen. Dit aanbod bestaat onder meer uit de ontwikkeling van een nieuwe generatie apparaten en systemen voor verwarmen, koelen en warmtapwaterbereiding in de bestaande bouw. Die systemen moeten qua omvang, comfort (geluid, thermisch, klimatisering), inpasbaarheid en betaalbaarheid zodanig afgestemd zijn op de gebruikers, dat zij tijdig de eigen verwarming overzetten naar aardgasvrij. Systemen moeten ook in onderlinge samenhang met andere individuele en collectieve systemen en renovatieconcepten worden ontwikkeld. Daarnaast moeten systemen ontwikkeld worden met oog voor opschaling, uitvoerbaarheid, beschikbaarheid van (geschoold) personeel (Human Capital Agenda), digitalisering, flexibiliteit voor het elektriciteitsnet, circulariteit en materiaalgebruik.

Het MMIP is geen subsidieregeling met een eigen budget. Verschillende subsidieregelingen en R&D budgetten van bedrijven zullen gezamenlijk een bijdrage leveren aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stap verder te brengen. Dit MMIP is tot stand gekomen in nauw overleg met het Programma Advies College (PAC) en biedt handvatten om met focus te werken aan die innovatiethema's die nodig zijn om de (tussen)doelen uit het Klimaatakkoord en tegenwoordig Coalitieakkoord mogelijk te maken. De prioritaire thema's voor de komende periode zijn verwoord in hoofdstuk 3.

In dit MMIP worden een aantal routes geschetst om de doelen van Missie B te behalen:

- Renovatieconcepten gebaseerd op isolatie in combinatie met elektrificatie, door middel van warmtepompen, ventilatiesystemen en kleinschalige warmteopslag. Dit wordt beschouwd als een individuele manier van duurzaam verwarmen en koelen;

---

<sup>1</sup> Warmtemonitor 2019. CBS, TNO (2020)



- De ontwikkeling van collectieve warmte- en koudenetten met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, bodemwarmte, aquathermie, zonthermie en restwarmte in combinatie met seizoensopslag van warmte.
- Verschillende combinaties van individuele gebouwmaatregelen voor ruimteverwarming en-koeling en het bereiden van warmtapwater met collectieve (zeer) lage temperatuur warmtenetten en warmte- en koude uitwisselingsnetten.

### Deelprogramma's en fasering

Dit MMIP richt zich op de ontwikkeling van individuele warmte- en koudeproductie- en opslagsystemen en op grootschalige collectieve warmte- en koudenetten in combinatie met duurzame bronnen en grootschalige warmteopslag. Er wordt vanuit verschillende routes aan de bovenstaande doelstellingen gewerkt. Daarvoor zijn zeven deelprogramma's geformuleerd die elk aan deze doelstellingen bijdragen. De deelprogramma's zijn:

1. Warmtepompen
2. Afgifte-, tapwater en ventilatiesystemen
3. Kleinschalige warmteopslag<sup>2</sup>
4. Duurzame warmte- en koudenetten
5. Grootschalige warmteopslag<sup>3</sup>
6. Geothermie
7. Lagetemperatuurwarmtebronnen (LT-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 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 CO<sub>2</sub>-vrije 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.

Voor een overzicht van de **voortgang van de deelprogramma's** zie hoofdstuk 5 'Nederlandse innovatie-activiteiten', sub-hoofdstuk 'Voortgang op de deelprogramma's.'

---

<sup>2</sup> Met kleinschalige warmteopslagsystemen worden hier individuele systemen bedoeld, die op gebouwniveau geïnstalleerd kunnen worden.

<sup>3</sup> Met grootschalige warmteopslagsystemen worden hier collectieve systemen bedoeld, die op gebiedsniveau (voor meerdere gebouwen) aangelegd worden.



Innovatie-opgaven	Ambitie 2030	Stappen/activiteiten	Doelstelling 2030	Planning			Huidig TRL-niveau				Type instrumenten en projecten nodig
				'20-'23	'23-'26	'26-'30	1-3	4-6	7-8	9-9+	
4.1. Warmtepompen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Versimpelen en versnellen van het installatieproces (intake t/m werkend) met gebouwintegratie en plug-n-play concepten en onderhoud</li> <li>- Focus op doorontwikkelen van concepten die ook koelen en met natuurlijke koudemiddelen</li> <li>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</li> <li>- Geluidsproductie verlagen</li> <li>- Verlagen van impact op en bieden van flexibiliteit aan het elektriciteitsnet</li> <li>- Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten</li> <li>- Systeemrendementen verhogen: verwarming,</li> </ul>	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van circulaire, geoptimaliseerde compressiewarmtepompconcepten in relatie tot andere systeemcomponenten als de cv-ketel (hybride), warmteopslag, warmteafgiftesysteem, tapwater, ventilatie, LT-warmtebronnen en/of (Z)LT-warmte- en koudenet (bronnent). Met een maatschappelijk acceptabel optimum van prijs, energieverbruik, elektrische flexibiliteit, geluid, ruimtegebruik, (installatie)veiligheid, cyberveiligheid en esthetiek. Compressiewarmtepompen worden alleen met natuurlijke koudemiddelen (door)ontwikkeld tenzij dit niet mogelijk is en dan met synthetische koudemiddelen met een zeer lage global warming potential (GWP).</p>	<p>Voor 2026 is er voor elke grondgebonden woning een maatschappelijk acceptabele (hybride) compressiewarmtepomp met koelfunctie, circulair ontwerp, natuurlijk koudemiddel en flexibiliteits-protocol. In 2030 is dit voor elk gebouwtype een feit.</p>						↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, HER+, TSE GO, PPS, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Horizon en Europese / internationale kennisnetwerken (CETPartnership en IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Differentiatie in ISDE voor warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen en (op termijn) flex-sturing</li> </ul>
		<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van compactere, plug-n-play en/of gebouw geïntegreerde (hybride) warmtepompconcepten zodat ze eenvoudig en met minder menskracht en overlast te installeren en onderhouden zijn. Onder meer via digitalisering en data gedreven modellering.</p>	<p>In 2026 moet de gemiddelde installatietijd gehalveerd zijn t.o.v. 2021. In 2030 moet deze gemiddelde installatietijd 65% lager t.o.v. 2021 zijn.</p>						↔	↔	

	<p>warmtapwater en koeling</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compact maken van warmtepompsystemen</li> </ul>	<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van fossiele energie vrije technologische opvolgers van conventionele compressiewarmtepompsystemen, zoals bijvoorbeeld thermo-akoestische, free-piston Stirling motor en magneto-calorische warmtepompen die circulaarder, efficiënter, goedkoper, stiller en/of compacter zijn.</p>	<p>Voor 2030 moet er ten minste een nieuw warmtepomptype concurrerend op de markt gelanceerd zijn.</p>				↔	↔			
4.2. Afgifte-, tapwater- en ventilatie-systemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficiëntie verbeteren van LT-afgiftesystemen voor ruimteverwarming en -koeling, tapwatersystemen (legionellaveilig) en ventilatiesystemen beide met WTW.</li> <li>- Versimpelen en versnellen van het installatieproces met gebouwintegratie en plug-n-play concepten</li> <li>- Geluidsproductie verlagen</li> <li>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</li> <li>- Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten</li> </ul>	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, slimmere, energetisch geoptimaliseerde warmte-koudeconcepten met LT-afgiftesystemen voor ruimteverwarming en -koeling, warmtapwatersystemen met warmteterugwinning en (kook)ventilatiesystemen met warmteterugwinning. Met een maatschappelijk acceptabel optimum van prijs, energieverbruik, elektrische flexibiliteit, geluid, ruimtegebruik, esthetiek, comfort en binnen gezondheidseisen.</p>	<p>In 2030 is er voor elk energie-renovatieproject tenminste een maatschappelijk acceptabel, circulair, gestandaardiseerd, energetisch geoptimaliseerd installatieconcept beschikbaar.</p>						↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, TSE GO, PPS, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Europese regelingen (Horizon, CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p>
		<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van circulaire, stillere, esthetisch aantrekkelijkere, compactere en/of gebouwgeïntegreerde deel-componenten voor afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen die eenvoudig in te regelen, te installeren en onderhouden zijn.</p>	<p>In 2030 zijn op elkaar afgestemde componenten beschikbaar om de doelstelling van activiteit 1 te bereiken.</p>				↔	↔	↔		
		<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van energie-efficiënte, compacte, circulaire en bewezen</p>	<p>In 2026 ten minste drie demonstraties van nieuwe ZLT of LT-</p>				↔	↔	↔		

		legionellaveilig tapwatersystemen in combinatie met (Z)LT-warmte en koudenetten.	warmtenetten en in 2030 minimaal één bestaand warmtenet dat naar LT is teruggebracht i.c.m. een legionellaveilige tapwateroplossing.								
4.3. Kleinschalige warmte-opslag-systemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlagen van impact op en bieden van flexibiliteit aan het elektriciteitsnet</li> <li>- Producten en de systeemintegratie optimaliseren van voelbare warmte en PCM-opslagsystemen</li> <li>- Demonstreren en implementeren van TCM-opslagsystemen die goedkoop en met gegarandeerde prestatie op industriële schaal geproduceerd kunnen worden</li> <li>- Systeemkosten verlagen: productie-, aanschaf-, installatie-, en onderhoudskosten</li> <li>- Rendementen van opslagsystemen verhogen: minder warmteverliezen en hogere efficiency</li> <li>- Versimpelen en versnellen van het installatieproces met gebouwintegratie en plug-n-play concepten</li> </ul>	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde, circulaire voelbare warmte- of (latente) PCM-warmteopslagsystemen.	Voor 2030 ten minste drie nieuwe producten op de markt met 25-50% lagere kostprijs dan in 2022.					↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, TSE GO, PPS, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Europese regelingen (Horizon, CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gezien de Nederlandse kennispositie leent dit deelprogramma zich in combinatie met DP4.5 goed voor een Nationaal Groeifondsvoorstel</li> <li>• Om de potentiële impact van warmteopslag op tijd te realiseren is intensivering van middelen/instrumenten nodig. Met name voor de financiering van laag TRL (fundamenteel onderzoek) projecten op het gebied van TCM-technieken</li> <li>• Nieuwe ISDE-categorie toevoegen om innovatieve opslagsystemen (tijdelijk) te stimuleren</li> </ul>	
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van TCM-opslagsystemen door materiaal optimalisatie. Inclusief het (door)ontwikkelen van goedkopere, grootschalige, circulaire productieprocessen zodat TCM's snel geïmplementeerd kunnen worden zodra de technologie succesvol is gedemonstreerd.	Voor 2030 ten minste een op de markt concurrerend TCM-warmteopslag-systeem voor een woning op de markt verkrijgbaar.				↔	↔	↔		
		Activiteit 3: Identificeren van optimale configuratie(s) voor systeemintegratie (incl. flexibiliteit) van kleinschalige warmteopslag in het lokale en centrale energiesysteem en het ontwikkelen van geautomatiseerde regelstrategieën voor deze configuraties.	Voor 2030 zijn er financieel / energetisch geoptimaliseerde concepten op de markt beschikbaar waarbij warmteopslag in woningen wordt aangestuurd o.b.v. beschikbare lokale hernieuwbare energie en in balans met het elektriciteitsnet.						↔		↔
		Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe,	In 2030 ten minste een nieuw				↔	↔	↔		

	- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)	goedkopere, efficiëntere, circulaire en/of compactere kleinschalige warmte-opslagsystemen met een (mogelijk) grotere capaciteit, zoals bijv. opslag met redox principes of voelbare warmteopslag in bijvoorbeeld olie, steen, metalen, vloeibaar cement of andere materialen.	warmteopslag-concept in ontwikkeling dat t.z.t. in potentie kan concurreren met bestaande technieken.							
4.4. Duurzame warmte- en koudenetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demonstreren en energetisch optimaliseren warmte- en koudenetten met meerdere configuraties, meer in samenhang met de evolutie van de woningvoorraad, (meerdere) lokale LT-warmtebronnen en nieuwe vormen van governance.</li> <li>- Doorontwikkelen van warmte- en koudenetten met mogelijkheden voor gelijktijdige warmte- en koudelevering</li> <li>- De onrendabele top van warmte- en koudenetten verlagen.</li> <li>- De efficiëntie van warmte- en koudenetten verbeteren.</li> <li>- Aanlegprocessen voor warmte- en koudenetten versnellen</li> </ul>	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde, circulaire configuraties van warmte- en koudenetten in de bestaande bouw met gedistribueerde warmtebronnen (multi-bronnen), rekening houdend met de evolutie van de woningvoorraad (bijv. isolatie richting de Standaard) en geïntegreerd met installaties achter de voordeur. Optimalisatie houdt onder andere in: vraag- en aanbodsturing van de warmte- én (toenemende) koudevraag, gelijktijdig verwarmen en koelen, retourtemperaturen verlagen, onderling uitwisseling op gebiedsniveau, opslag, regelstrategieën en piekoplossingen voor kostenreductie.</p>	<p>In 2026 ten minste drie demonstraties van nieuwe ZLT-warmtenetten (&gt; 500 weq) en in 2030 minimaal één bestaand MT/HT-warmtenet dat naar LT is teruggebracht. Voor 2030 ten minste 2 nieuwe demonstraties met combinaties van bijv.: Gelijktijdig verwarmen en koelen, bidirectionele afleversets (incl. invoeding zonthermie per installatie), multi-bronnen (&gt; 4) en/of flexibele stooklijn.</p>				↔	↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, TSE GO, PPS, PAW/NPLW, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Innovatiebudget van Nieuwe Warmte Nu, diverse regionale fondsen en regelingen, Europese regelingen (Horizon, CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelingen om de onrendabele top op koudelevering te verminderen of weg te halen.</li> <li>• Regelingen die lager TRL ontwikkelingen ondersteunen t/m de demonstratie.</li> </ul>
		<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe governance en organisatievormen met verdienmodellen voor (verschillende) partijen die ook het</p>	<p>In 2025 moeten er ten minste twee nieuwe publiek/private gestandaardiseerde, financierings- en</p>						↔	

	<p>en wijkoverlast verminderen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toepasbaarheid vergroten en kwaliteit verbeteren van keuzetools, ontwerpprocessen, maatschappelijk verantwoorde uitrolmodellen en bronnenstrategie voor warmte- en koudenetten</li> <li>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</li> </ul>	<p>maatschappelijk draagvlak voor duurzame warmte- en koudenetten vergroten.</p>	<p>organisatievormen zijn.</p>								
		<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van goedkopere, meer circulaire, snellere en minder overlast gevende aanleg-, aansluit- en onderhoudsmethoden voor warmte- en koudenetten.</p>	<p>Voor 2030 moet de aanlegtijd van transport- en distributieleidingen 25% lager zijn en de gebouwaansluitingen 50% sneller zijn t.o.v. 2022.</p>					↔	↔	↔	
		<p>Activiteit 4: (Door)ontwikkelen van methodes en technieken om warmteverlies en elektriciteitsgebruik pompen te verminderen en efficiëntie voor warmtetransport en -afgifte te verhogen.</p>	<p>Ten minste drie demonstraties in bestaande warmtenetten waarbij ten minste 10% efficiëntie wordt gewonnen.</p>					↔	↔	↔	
		<p>Activiteit 5: (Door)ontwikkelen van keuzetools, ontwerpprocessen en (modulaire, flexibele) uitrolmodellen die de doorlooptijd van warmtenetprojecten verminderen en de toekomstbestendigheid en (energie)flexibiliteit van het systeem verbeteren.</p>	<p>Voor 2026 ten minste twee gestandaardiseerde tools die door alle stakeholders (keten-geïntegreerd) voor het volledige ontwikkelings- en optimalisatieproces gebruikt kan worden.</p>						↔	↔	
4.5 Groot-schalige warmte-opslag-systemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demonstreren en systeemintegratie verbeteren van grootschalige warmteopslagsystemen</li> <li>- Systeemkosten verlagen: productie-, investering-, aanleg-, en onderhoudskosten</li> </ul>	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van systemen met voelbare warmteopslag in water en andere materialen en verbeterde systeemintegratie met (kleinschalige) warmte- en koudenetten.</p>	<p>Voor 2030 ten minste drie warmteopslag demonstraties van minimaal 5 TJ per warmtenet.</p>					↔	↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, PPS, PAW/NPLW, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Innovatiebudget van Nieuwe Warmte Nu, diverse regionale</p>
		<p>Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van</p>	<p>Voor 2026 ten minste drie extra</p>					↔	↔		



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Systeemrendementen verbeteren</li> <li>- Ruimtegebruik van grootschalige warmteopslagsystemen verbeteren</li> <li>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</li> </ul>	<p>warmteopslagsystemen in aquifers, met diverse configuraties (bijv. triplets), temperaturen en verbeterde systeemintegratie met warmte- en koudenetten, rekening houdend met ecologie- en drinkwaterkaders.</p> <p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige PCM-warmteopslagsystemen die goedkoper, efficiënter, meer circulair en/of compacter zijn dan grootschalige systemen met voelbare warmteopslag.</p> <p>Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige TCM-warmteopslagsystemen, inclusief de mechanische stabiliteit voor transport, die leiden tot goedkopere, efficiëntere, meer circulaire en/of compactere systemen in vergelijking met systemen met voelbare warmteopslag.</p>	<p>demonstraties van MT- of HT-warmteopslag in aquifers.</p> <p>Voor 2030 ten minste een demonstratie op schaal in een warmtenet.</p> <p>Voor 2030 ten minste een demonstratie op schaal in een warmtenet.</p>							<p>fondsen en regelingen, Europese regelingen (Horizon, Interreg, CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dit deelprogramma leent zich i.c.m. DP4.3 voor een Nationaal Groeifondsvoorstel</li> <li>• Om warmteopslag op tijd voor het toekomstige energiesysteem te ontwikkelen en op te schalen is intensivering van (gerichte) middelen/ instrumenten nodig.</li> <li>• Regelingen voor systeemintegratie (zoals MOOI SIGOHE)</li> <li>• Kennisontwikkeling rondom ecologie en veiligheid</li> </ul>
4.6 <i>Geothermie</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demonstreren en systeemintegratie verbeteren van ondiepe en diepe geothermie-systemen</li> <li>- Systeemkosten voor geothermie verlagen: exploratie-, investering-, aanleg-, installatie-, operatie- en onderhoudskosten.</li> </ul>	<p>Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van (huidig) toegepaste doublet geothermieconcepten op ondiepe en diepe schaal in combinatie met glastuinbouw en warmtenetten en met oog voor het verbeteren en optimaliseren van: kosten, efficiëntie, broeikasgas uitstoot, circulariteit, het gebruik van play-based portfolio benaderingen, bronduur, project doorlooptijd en</p>	<p>Tot en met 2026 ten minste tien succesvolle geothermieprojecten in de gebouwde omgeving (excl. glastuinbouw). Voor 2026 tenminste drie succesvolle ondiepe geothermieprojecten (500-1500 meter).</p>					↔ ↔ ↔	↔ ↔ ↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, HER+, PPS (TKI Urban Energy, TKI Energie &amp; Industrie en TKI Nieuw Gas), PAW/NPLW, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Innovatiebudget van Nieuwe Warmte Nu, diverse regionale fondsen en regelingen,</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De toepassing van geothermiesystemen versnellen en opschalen.</li> <li>- De efficiëntie en broeikasgas uitstoot van geothermiesystemen verbeteren.</li> <li>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</li> </ul>	het nuttig inzetten van de bijvangst van geothermisch water en gas.								<p>Europese regelingen (Horizon, Interreg, CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dit deelprogramma leent zich voor een Nationaal Groeifondsvoorstel</li> <li>• Om geothermie op tijd voor het toekomstige energiesysteem te ontwikkelen en op te schalen is intensivering van (gerichte) middelen/ instrumenten nodig</li> <li>• Een gecoördineerde sector-overstijgende instrumentarium is voor de sectoren gebouwde omgeving, glastuinbouw, nieuw gas en industrie nodig om versplintering van inzet te voorkomen</li> <li>• Aparte instrumenten voor kennisontwikkeling rondom ecologie en veiligheid</li> </ul>	
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van nieuwe/goedkopere technieken en methoden om de ondergrond in kaart te brengen en daarmee projectrisico's en aanverwante kosten te verlagen.	Voor 2030 is er ten minste een demonstratie van een 25% goedkopere methode (t.o.v. 2022) om kans op misboringen met minimaal 80% te verminderen.					↔	↔		↔
		Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe geothermiesystemen die goedkoper, efficiënter, (on)dieper, emissiearm, veiliger, circulaire, succesvoller en sneller geïmplementeerd kunnen worden dan gangbare doublet geothermiesystemen in relatie tot de gebouwde omgeving (zoals bijv. single-hole, horizontale, closed loop systemen en systemen met gedistribueerde invoeding)	Voor 2030 demonstratie van ten minste drie verschillende nieuwe geothermie-systeemtypes.					↔	↔		
4.7 Lage-temperatuur-warmtebronnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Systeemkosten voor LT-warmtebronnen verlagen: productie-, investering-, aanleg-, installatie-, en onderhoudskosten</li> <li>- Systeemintegratie verbeteren van LT-warmtebronnen in (gecombineerde) individuele en</li> </ul>	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van bodemwarmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie, circulariteit en lagere milieueffecten.	Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.					↔	↔	<p><b>Continuering van bestaande instrumenten:</b> MOOI, DEI+, PPS, PAW/NPLW, HER+, KIC, NWO, NWA, SMO-middelen</p> <p><b>Andere regelingen:</b> Innovatiebudget van Nieuwe Warmte Nu, diverse regionale fondsen en regelingen, Europese regelingen (Horizon,</p>	
		Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van aquathermie-	Voor 2030 een kostenverlaging van					↔	↔		

<p>collectieve warmtesystemen</p> <p>- Verbeteren van de circulariteitsprestaties (met name embodied carbon en mogelijke terugwinning van materialen bij einde levensduur)</p>	<p>warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie, circulariteit en lagere milieueffecten.</p>	<p>20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.</p>									<p>CETP), en internationale kennisnetwerken (IEA TCP's)</p> <p><b>Instrumenten die nodig zijn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelingen voor kleine projecten (zoals TSE GO)</li> <li>• Kennisontwikkeling rondom ecologie en veiligheid</li> </ul>
	<p>Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van zonthermie-warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie en circulariteit.</p>	<p>Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.</p>					↔	↔			
	<p>Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van de uitkoppeling van industriële en binnenstedelijke restwarmte- en koudebronnen voor verwarmen en koelen van gebouwen en invoeding in (kleine) collectieve systemen gericht op inpassing, kostenverlaging, opschaling, circulariteit en systeemintegratie.</p>	<p>Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.</p>					↔	↔			

## Positionering

### *Sectoren:*

Op een paar MMIP 4 thema's zijn er duidelijke relaties met andere sectoren (buiten de gebouwde omgeving):

- **Industrie:** De industriële sector staat, net zoals de gebouwde omgeving, voor de uitdaging om haar warmtevraag te verduurzamen. Bij de industrie gaat het dan vooral om de verduurzaming van HT-proceswarmte. Voorbeelden van terreinen met raakvlakken met de gebouwde omgeving zijn de ontwikkeling van geothermie systemen als MT-/HT-warmtebron, de opwaardering van LT-warmtebronnen met industriële warmtepompen die ook in collectieve systemen in de gebouwde omgeving hun toepassing vinden en het opslaan van HT-warmte en koude. Daarnaast kan industriële restwarmte een kansrijke warmtebron voor (nabijgelegen) gebieden van de gebouwde omgeving zijn.
- **Energiesysteem (gas- en elektriciteitssysteem):** De toegevoegde waarde van warmte en -koude voor het totale energiesysteem blijft een onderbelicht thema. Een belangrijke uitdaging voor de energietransitie is om de vraag en aanbod van energie integraal te gaan verduurzamen. Twee belangrijke manieren daarvoor zijn elektriciteit gebruiken wanneer er veel hernieuwbare opwek is en het toepassen van energieopslag. Recente onderzoeken laten zien dat het omzetten van elektriciteit naar warmte (Power-2-Heat; P2H) en het opslaan van deze warmte (Power-2-Heat + Storage; P2H+S) veel kansen bieden om het gebruik van hernieuwbare elektriciteit te spreiden en te faciliteren. P2H+S kan hiermee als flexibiliteitsoptie ingezet worden om netcongestie te verminderen. Daarnaast speelt dat bij de omzetting van elektriciteit naar moleculen en terug naar elektriciteit, restwarmte vrijkomt. Als deze omzetting dichtbij de gebouwde omgeving plaatsvindt, kan deze in de Gebouwde Omgeving worden benut.
- **Glastuinbouw:** De glastuinbouwsector valt onder het MMIP 4-programma maar, ten opzichte van andere toepassingsgebieden (woningbouw, utiliteitsbouw en bedrijventerreinen), sluiten we voor deze sector zoveel mogelijk aan bij externe kennis en programma's zoals het programma Kas als Energiebron. Met de TKI Tuinbouw & Uitgangsmaterialen is er direct contact over de ondersteuning van warmte- en koude-innovaties die voor zowel de gebouwde omgeving als de glastuinbouw relevant zijn.

### *Sterktes/zwaktes kennispositie en positie bedrijven:*

Op de thema's van MMIP 4 is een brede verscheidenheid aan stakeholders actief. Er is nu een groot innovatie-ecosysteem (> 200 partijen) op het domein van MMIP 4. Binnen het domein van warmte- en koude vervagen de grenzen tussen de verschillende sub-ecosystemen voor individuele en collectieve verduurzamingsroutes. Om het energiesysteem van de toekomst vorm te geven en daarmee de klimaatdoelstellingen te halen zijn geïntegreerde, synergetische verduurzamingsroutes met combinaties van individuele en collectieve oplossingen van belang. Dit vraagt om het laten ontstaan en ondersteunen van nieuwe partijen en rollen. Het ecosysteem zal daarnaast verder uitgebreid moeten worden om nieuwe technieken sneller door een bredere groep bedrijven te kunnen laten adapteren. Hierin spelen de opschalingsprogramma's een belangrijke rol. Voor meer informatie zie hoofdstuk 7.



### *Samenhang met nationale en internationale programma's*

Er is een duidelijke relatie tussen de doelstellingen van MMIP 4 en de doelstellingen van andere organisaties en programma's. Zo wordt er met de andere MMIP's op verschillende thema's nauw samengewerkt, waaronder MMIP 2 (Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving), MMIP 3 (Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving), MMIP 5 (Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving), MMIP 7 (CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem), MMIP 13 (Systeemintegratie) en de drie MMIP's van TKI Bouw & Techniek (Missie B+). TKI Urban Energy werkt ook nauw samen met de opschalingsprogramma's Uptempo!, Verbouwstromen en Platform Verduurzaming Bedrijventerreinen Nederland (PVB NL). Een aantal TKI Urban Energy werknemers maken onderdeel van de doorsnijdende thema-programma's van de Topsector Energie: Digitalisering, Human Capital Agenda (HCA) en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI). Verder heeft MMIP 4 regelmatig contact met andere nationale organisaties en programma's zoals het Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving, NPLW (voorheen ECW), Programma Verduurzaming Industrie en Glastuinbouw (via NVDE), de Vraaggestuurde Programma's van TNO, het EBN Innovatieprogramma, Nieuwe Warmte Nu! (Nationaal Groeifonds-project) en Invest-NL. Op Europees gebied is er via RVO contact omtrent Nederlandse deelname aan de Europese subsidieprogramma's zoals: Interreg, Horizon Europe, Clean Energy Transition Partnership (CETP), CEF / TEN/T, LIFE, Innovation Fund en Eureka/Eurostars. Via RVO is er ook op internationaal gebied contact over Nederlandse deelname aan de International Energy Agency Technology Collaboration Programmes (IEA TCP's) (zie [dit overzicht](#) voor meer informatie).

### *Strategie internationaal:*

TKI Urban Energy probeert op verschillende manieren inzicht te krijgen in waar Nederland, ten opzichte van andere landen, goed in is of iets van kan leren. Samen met verschillende partners, waaronder RVO, kennis- en onderwijsinstellingen, monitort TKI Urban Energy de voortgang van internationale innovatieprojecten en subsidieprogramma's waar Nederland aan meedoet. Ook de deelname aan diverse Tasks/Annexen binnen de TCP's van het IEA wordt samen met RVO gevolgd. Er worden bijeenkomsten georganiseerd om al deze kennis met het netwerk van de Topsector Energie te delen.

Nederland is wereldleider in het aanleggen en opereren van ondiepe, ondergrondse wko-systemen. Diverse stakeholders geven aan dat Nederland ook in de internationale kopgroep zit voor het ontwikkelen van compacte warmteopslagsystemen (PCM's, TCM's en systemen o.b.v. redox-principes). Om deze bevindingen te toetsen wordt in 2023/2024 gewerkt aan een assessment van de huidige stand van zaken van warmteopslag in Nederland en ten opzichte van het buitenland. Nederland neemt ook deel aan het Europees-project PUSH-IT om ondergrondse energieopslag verder te ontwikkelen en demonstreren.

De grote ontwikkelingen rondom de productie van warmtepompen vinden vooral buiten Nederland plaats. Het onderzoek en de innovatie binnen Nederland richt zich vooral op nieuwe werkingsprincipes (thermo-akoestisch en Stirling), nieuwe configuraties voor



woningen of collectieve systemen (voor Nederlandse context) of vraagstukken over systeemintegratie met elektriciteit.

Via het INTERREG-programma D2Grids (2018-2022) is de afgelopen jaren door Nederland gewerkt aan een generiek model voor en de algehele promotie van het 5de-generatie warmte- en koudenetten gedachtengoed. Met de eerste demonstraties van deze slimme, zeer lage temperatuur warmte- en koudenetten loopt Nederland nu dus voorop ten opzichte van de rest van de wereld.

*Innovatiesysteem en consortiumvorming:*

De afgelopen jaren zijn er ruim 700 innovatieve projecten opgezet om de gebouwde omgeving te verduurzamen, gesteund vanuit de ministeries van Economische Zaken en Klimaat en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties via de Topsector Energie-regelingen die de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) uitvoert. TKI Urban Energy helpt daarbij door:

- innovators de weg naar financiering te wijzen;
- of naar samenwerkingspartners;
- consortia te begeleiden, van idee tot uitvoering;
- kennisuitwisseling mogelijk te maken;
- publiek-private projecten te ondersteunen;
- onderzoek naar trends en actuele ontwikkelingen te initiëren;
- bevindingen met beleidsmakers te delen;
- veelbelovende innovaties te helpen opschalen en naar de praktijk te brengen, onder meer via de programma's Uptempo!, PVB Nederland en Verbouwstromen.

Vanuit MMIP 4 is er ook aandacht voor maatschappelijke, ecologische/ruimtelijke, financiële/economische, institutionele en omgevingsfactoren die een steeds belangrijker knelpunt zijn bij de opschaling van innovatieve systemen en concepten.



# Inhoudsopgave

<b>1. Samenvatting</b>	<b>2</b>
<b>2. Inleiding</b>	<b>17</b>
Totstandkoming MMIP 4	17
Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving	18
<b>3. Innovatieopgave</b>	<b>19</b>
Innovatiebehoefte vanuit Klimaat- & Coalitieakkoord	19
Missie vraagt op meerdere niveaus om systeemintegratie	22
Huidige stand van zaken (nationaal)	23
Huidige stand van zaken (internationaal)	25
Deelprogramma's	27
<b>4. Nederlandse innovatie-inzet</b>	<b>29</b>
Deelprogramma 1: warmtepompen	34
Deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen	40
Deelprogramma 2.1: afgiftesystemen	40
Deelprogramma 2.2: tapwatersystemen	43
Deelprogramma 2.3: ventilatiesystemen	45
Deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag	48
Deelprogramma 4: duurzame warmte en koudenetten	51
Deelprogramma 5: grootschalige warmteopslag	56
Deelprogramma 6: geothermie	60
Deelprogramma 7: lagetemperatuurwarmtebronnen	64
Deelprogramma 7.1: bodemwarmte	66
Deelprogramma 7.2: aquathermie	68
Deelprogramma 7.3: zonthermie	69
Deelprogramma 7.4: restwarmte	70
<b>5. Nederlandse innovatie-activiteiten</b>	<b>73</b>
Missiegedreven, meerjarige aanpak	73
Instrumenten & activiteiten	73
Benodigde inzet van publieke middelen	75
Toelichting op de benodigde inzet voor MMIP 4-projecten	77
Voortgang op de deelprogramma's	79
Overzicht van MMIP-specifieke activiteiten	80
<b>6. Samenhang op hoofdlijnen</b>	<b>81</b>
Samenhang met andere MMIP's	81
Samenhang met doorsnijdende thema's	84
Digitalisering	84
Human Capital Agenda	85
Maatschappelijk Verantwoord Innoveren	86
Circulariteit	87
Samenhang met andere programma's	88



<b>7. Stakeholders/actoren (samenwerkingen op hoofdlijnen)</b>	<b>90</b>
<b>8. Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren op hoofdlijnen</b>	<b>93</b>
Maatschappelijke factoren	93
Ecologische en ruimtelijke factoren	94
Financiële en economische factoren	95
Institutionele factoren	96
<b>9. Communicatie, leren en disseminatie</b>	<b>98</b>
Communicatie, leren en disseminatie vanuit TKI Urban Energy	98
Uptempo	98
Meer informatie	98
Monitoring en evaluatie	98
Standardisatie en normering	99
Valorisatie, marktcreatie en wettelijke kaders	100
Valorisatie en marktcreatie	100
Wettelijke kaders	101
<b>Ad 1. Financiering</b>	<b>103</b>
<b>Ad 2. Randvoorwaarden/beleid</b>	<b>104</b>
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 1: warmtepompen	104
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen	105
Aandachtspunten voor beleid: afgiftesystemen	105
Aandachtspunten voor beleid: tapwatersystemen	105
Aandachtspunten voor beleid: ventilatiesystemen	106
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag	107
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 4: duurzame warmte- en koudenetten	107
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 5: grootschalige warmteopslag	108
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 6: geothermie	109
Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 7:	
lage temperatuur warmtebronnen	110
Aandachtspunten voor beleid: bodemwarmte	111
Aandachtspunten voor beleid: aquathermie	111
Aandachtspunten voor beleid: zonthermie	111
Aandachtspunten voor beleid: restwarmte	112
<b>Colofon</b>	<b>113</b>





## 2. Inleiding

### Totstandkoming MMIP 4

Het kabinet heeft met het nationale Klimaatakkoord en het Coalitieakkoord een centraal doel: het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Als onderdeel van het Klimaatakkoord is een Integrale Kennis en Innovatieagenda opgesteld (IKIA), waarin beschreven is welke kennis en innovatie nodig is om de doelen in het klimaatakkoord mogelijk te maken. De IKIA formuleert vijf missies en daaronder dertien *Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's* (MMIP's) en drie nieuwe MMIP's van TKI Bouw & Techniek. De MMIP's geven focus en richting aan de kennis- en innovatievraagstukken.

Dit document betreft het vierde MMIP, getiteld '*Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)*'. Dit innovatieprogramma draagt bij aan missie B van het Klimaatakkoord (een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving in 2050) en de tussendoelen die voor 2030 geformuleerd zijn. Op weg naar 2050 wordt voor 2030 een aantal tussendoelen gesteld. In 2030 wordt gestreefd naar:

- Isoleren van 2,5 miljoen woningen met nadruk op uifaseren slechte labels (E, F en G): 1,5 miljoen koopwoningen; en 1 miljoen huurwoningen worden geïsoleerd naar de Standaard voor woningisolatie;
- Uifaseren slechte labels in de utiliteitsbouw: Voor 2027 verduurzamen van de 15% gebouwen met slechtste energiestaat, energielabel G conform de nieuwe labelclassificatie tot minimaal energielabel C (60.000 gebouwen). Voor 2030 verduurzamen van gebouwen met energielabel F conform de nieuwe labelclassificatie tot minimaal energielabel C (60.000 gebouwen);
- Overstappen op duurzame installaties of een warmtenet: 1 miljoen geïnstalleerde (hybride) warmtepompen in de bestaande bouw. Realiseren van 500.000 nieuwe aansluitingen op een warmtenet in de bestaande bouw (in woningequivalenten);
- Verlagen van de milieu-impact van energierenovaties door inzetten op circulaire principes als het reduceren van gebruik van schaarse- en energie-intensieve materialen en levensduurverlenging;
- Minimaal 20% van het lokale energiegebruik wordt binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt;
- Grotere inzet duurzame bronnen: Bijmengen van 1,6 BCM groen gas, dit komt neer op 2,9 Mton CO<sub>2</sub>-reductie per 2030.
- Verduurzaming van de warmtevraag in de glastuinbouw met lokale bronnen (aquathermie, zonthermie en geothermie) met seizoensopslag (1 Mton CO<sub>2</sub>-besparing in 2030).

Dit innovatieprogramma is oorspronkelijk in 2019 tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van TKI Urban Energy, met medewerking van een breed scala aan personen en organisaties vanuit het bedrijfsleven, kennisinstellingen, de overheid en verschillende brancheverenigingen (zie colofon). In 2020 en 2021 is het programma op bepaalde punten aangescherpt en in 2023 is het programma geactualiseerd naar



een nieuwe indeling, mede op basis van wensen vanuit de ministeries EZK en BZK, feedback vanuit het Programma Adviescollege (PAC), signalen uit de markt, voortgang in lopende innovatieprojecten en algeheel voortschrijdend inzicht (zie colofon).

De voornaamste wijzigingen in 2023 zijn:

- De indeling van het document is in opdracht van EZK gewijzigd zodat het overeenkomt met de structuren van alle MMIP's (inclusief die van de andere Missies).
- Er is een aantal nieuwe hoofdstukken toegevoegd:
  - Innovatieopgave
  - Nederlandse innovatie-inzet
  - Nederlandse innovatie-activiteiten
  - Stakeholders/actoren (samenwerkingen op hoofdlijnen)
  - Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren op hoofdlijnen

## Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving

Een groot deel (ongeveer een kwart) van het finale energieverbruik in Nederland wordt gebruikt voor het verwarmen en koelen van de gebouwde omgeving<sup>4</sup>. Een van de grootste uitdagingen binnen missie B is dan ook om de warmte- en koudelevering voor bestaande gebouwen te verduurzamen.

Het MMIP 4 programma heeft als doel om een competitief en aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor eindgebruikers in de bestaande woningbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw te ontwikkelen en vervolgens op te schalen. Dit aanbod bestaat onder meer uit de ontwikkeling van een nieuwe generatie apparaten en systemen voor verwarmen, koelen en warmtapwaterbereiding in de bestaande bouw. Die systemen moeten qua omvang, comfort (geluid, thermisch, klimatisering), inpasbaarheid en betaalbaarheid zodanig afgestemd zijn op de gebruikers, dat zij tijdig de eigen verwarming overzetten naar aardgasvrij. Systemen moeten ook in onderlinge samenhang met andere individuele en collectieve systemen en renovatieconcepten worden ontwikkeld. Daarnaast moeten systemen ontwikkeld worden met oog voor opschaling, uitvoerbaarheid, beschikbaarheid van (geschoold) personeel (Human Capital Agenda), digitalisering, flexibiliteit voor het elektriciteitsnet, circulariteit en materiaalgebruik.

Met behulp van de innovaties binnen dit MMIP hebben vastgoedbezitters, gemeenten en huiseigenaren steeds betere mogelijkheden om over te stappen op duurzame warmte en koude voor elk type gebouw, wijk of bedrijventerrein. Om de benodigde ontwikkelingen, zoals geschetst in de deelprogramma's, tot uitvoering te krijgen is een intensieve samenwerking tussen de innovators, gemeenten, energiebedrijven, bouw- en installatiesector, kennisinstituten en gebouweigenaren nodig. Door gezamenlijk en vanuit diverse perspectieven te innoveren kunnen we het doel bereiken om een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving in 2050 te realiseren.

---

<sup>4</sup> Warmtemonitor 2019. CBS, TNO (2020)



## 3. Innovatieopgave

### Innovatiebehoefte vanuit Klimaat- & Coalitieakkoord

Warmte en koude zijn in de gebouwde omgeving verantwoordelijk voor ruim 40% van de finale energievraag. Wereldwijd is de energievraag voor koeling al 10% van het totale energiegebruik. De focus in de gebouwde omgeving in Nederland ligt nu vooral op het reduceren van de verwarmingsvraag door isolatie en op het verduurzamen van warmte met een warmtepomp of warmtenet. Doordat de kans op veel warmere perioden in de zomer de komende decennia toeneemt (KNMI) moet **koelen onderdeel worden van de 'warmtetransitie'**. De te nauwe focus op 'aardgasvrij maken' moet worden verbreed vanwege de toenemende behoefte aan zomercomfort met de daarbij behorende energievraag.

De schaa sprong die moet worden gemaakt voor het realiseren van de vastgelegde doelen in het Coalitieakkoord en Fitfor55 in de gebouwde omgeving lukt alleen wanneer er voldoende passende technieken op de markt zijn en we het tekort aan voldoende gekwalificeerde monteurs in de installatiemarkt kunnen oplossen. De nieuwe normering voor warmtetoestellen per 2026 zal hierbij een belangrijke rol spelen om de sector te ondersteunen. De installatie van individuele en collectieve verwarmingsconcepten met warmtepompen en warmtenetten vraagt nu nog relatief veel manuren van goed geschoolde monteurs. Het is van belang dat er **nieuwe installatiemethoden, vormen van prefab en plug & play-technieken** worden ontwikkeld om de grote aantallen mogelijk te gaan maken. Hiermee kunnen niet alleen **installatietijden worden verkort**, maar wordt het bijvoorbeeld ook mogelijk om met **bepaalde opleidingseisen** sneller en meer zijinstromers in de branche aan het werk te krijgen.

Bij verwarmingsconcepten wordt nu vaak gestreefd naar het één-op-één kunnen vervangen van de cv-installatie met een hogetemperatuurwarmtepomp (HT-warmtepomp), middentemperatuurwarmtenet (MT-warmtenet) of hogetemperatuurwarmtenet (HT-warmtenet). In modellen scoort een dergelijk verwarmingsconcept qua totale kosten vaak goed omdat isoleren niet (direct) nodig is. Verwarmen op hoge temperatuur is energetisch gezien veel minder duurzaam dan verwarmen met een lage temperatuur. Er is onderzoek nodig om het energetisch en economisch optimum te zoeken tussen het **aanpassen van de isolatie, het ventilatie- en/of afgiftesysteem**. Als woningen geschikt gemaakt zijn voor verwarming op lage temperatuur wordt het bovendien makkelijker om **lokale laagwaardige warmtebronnen** duurzaam te ontwikkelen. Er is kortom **meer aandacht nodig voor de spijtvrije renovatie van woningen om LT-verwarming (<50°C) mogelijk te maken**.

Door de focusverschuiving naar LT-verwarming komt meer aandacht voor het **verduurzamen van tapwatersystemen**. Energiebesparing staat hier op gespannen voet met legionellaregelgeving die mogelijk ook nog strenger wordt. De energiesector



en de watersector moeten elkaar vinden om innovaties te ontwikkelen om duurzame tapwatersystemen te realiseren.

Weersvoorspellingen maken het mogelijk om warmte- en koude installaties te laten anticiperen op weersveranderingen. Bovendien is het van belang om de **flexibiliteitspotentie die warmte- en koude systemen kunnen hebben voor het elektriciteitsnet te ontsluiten**. Hiervoor is het nodig om de diverse systemen (warmtepomp, ventilatie, tapwater, buffer) in woningen/gebouwen in **onderlinge samenhang te kunnen aansturen** op basis van genoemde externe informatie. Zo wordt het mogelijk lokale pieken op het elektriciteitsnet te voorkomen en elektriciteitsvraag in de tijd te verschuiven. Maar ook kan worden geanticipeerd op een weersverandering en kan worden gestuurd op bewonersgedrag.

In woningen, wijken en gebieden zullen zich steeds vaker momenten voordoen met een overschot of tekort aan elektriciteit. Het is logisch om energie zo min mogelijk te transporteren en dus zoveel mogelijk lokaal te gebruiken. Bovendien is het van belang om daar waar mogelijk netverzwinging te voorkomen of beperken. Door in te zetten op **lokale warmteopslag** en deze op momenten van overtollige elektriciteit te laden kunnen energiestromen lokaal worden ingezet. Dit zogenoemde **power-to-heat (P2H) principe verdient meer aandacht en onderzoek**. Door de elektrificatie van de verwarmingsvraag is het van belang deze af te gaan stemmen op de momenten dat er al of niet zon- en windenergie beschikbaar is. Om dit te bevorderen moet worden gewerkt aan meer **integratie van de elektrische- en de warmtesector**. Door de noodzaak en exportkansen voor warmteopslagtechnieken **leent dit onderwerp zich goed voor een Nationaal Groeifondsvoorstel of andere aanvullende financiële ondersteuning**.

Opslaan van energie is in het toekomstige energiesysteem van 2050 met dominante energieproductie uit zon en wind van groot belang. Blijven investeren in innovatieve manieren om **warmte en koude te bufferen** voor dag/nacht, windstille winterweken of seizoenen is van groot belang. Zo is Nederland al koploper in de aanleg van WKO's. Maar ook met de ontwikkeling van bijvoorbeeld het opslaan van hogere temperaturen in de ondergrond (HTO) en thermochemische opslag (TCM) zit Nederland wereldwijd in de kopgroep. Investerings in innovatie op dit domein bieden daarmee internationale export kansen.

Het **uitrollen van warmtenetten** in bestaande wijken en bedrijventerreinen blijkt een grote uitdaging te zijn en vraagt naast technische oplossingen ook een meer programmatische aanpak. Zo is er nog geen gedeelde visie over de beste routes en configuraties en zijn deze bovendien van vele (lokale) factoren afhankelijk. De vergelijking met aardgas zal nog een aantal jaren een dominante rol blijven spelen, vooral ook omdat een gedragen eindbeeld ontbreekt. Het maatschappelijk draagvlak is broos, wat gemeenten aanzet tot het zoeken naar alternatieve governance- en eigendomsstructuren. Het is derhalve van belang dat er gewerkt blijft worden aan **kennisontwikkeling en-deling** om versneld door deze zoekende fase in de warmte- en koudetransitie heen te komen. Het gehonoreerde Groeifondsvoorstel NieuweWarmteNu! gaat hier een impuls aan geven.



De versnelling van de uitrol van warmtenetten zou wel eens kunnen komen van **kleinschalige warmtenetten**. Deze warmtenetten nemen veel van de risico's weg en bieden interessante opties om een veelheid aan kleinere lokale warmtebronnen te ontsluiten. Op termijn kunnen kleinere warmtenetten – als dit nuttig is - bovendien worden gekoppeld waarmee ook grotere bronnen ontsloten kunnen worden. Kleinschalige warmtenetten kennen bovendien veel minder stakeholders en zijn vanuit Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI) perspectief een aantrekkelijke manier om tot gedragen opschaling te komen.

Ondanks de potentie van geothermie in Nederland blijft/blijkt deze moeilijk te ontsluiten te zijn. De opschaling van geothermie voor de gebouwde omgeving is afhankelijk van een voldoende grote warmtevraag en daarmee van de uitrol van warmtenetten. Cross-sectorale samenwerking is van belang met TKI Nieuw Gas en TKI Energie & Industrie om de benodigde innovaties voor elkaar te krijgen, de risico's en kosten op een acceptabeler niveau te krijgen en de CO<sub>2</sub> uitstoot omlaag te brengen. Naast de aandacht voor het verder optimaliseren van doubletten is **meer aandacht voor nieuwe vormen van geothermie nodig in relatie tot de gebouwde omgeving**. Denk hierbij aan het onderzoeken van diepten tussen 200 en 1500 meter met vernieuwende putconcepten en mogelijkheden van middentemperatuur- en hogetemperatuurwarmteopslag (MT- en HT-warmteopslag) in aquifers. Geïsoleerde woningen kunnen met lagere verwarmingstemperaturen toe en hebben voor verwarming de hoge temperaturen uit diepe geothermie niet nodig. Bovendien brengen putten in ondiepere ondergrond minder problemen met zich mee.

Voor **aquathermie en bodemenergie** spelen vooral de effecten op ecologie en drinkwaterveiligheid een belangrijke rol bij de verdere opschaling. Vooral het demonstreren en meten/monitoren zijn van belang om vertrouwen te creëren en de (on)mogelijkheden goed in beeld te krijgen. Parallel moet worden gewerkt aan verdere normering en wetgeving.

Een aantal innovatiethema's betreffen wereldmarkten, waarin Nederland maar een beperkte rol speelt of kan spelen. Voor warmtepompen is in Nederland vooral ruimte voor het ontwikkelen van apparatuur die specifiek is gemaakt voor de Nederlandse gebouwenvoorraad. Denk hierbij aan het oplossen van geluidsissues, compactheid, e.d. Er wordt ook gewerkt aan enkele vernieuwende warmtepompconcepten (bijv. thermo-akoestisch) die dicht bij een marktintroductie zijn. Ook bij geothermie speelt dat in Nederland vooral moet worden ingezet op de specifieke doorontwikkeling voor de Nederlandse ondergrond en warmtevraag in de gebouwde omgeving. Ten aanzien van 5<sup>de</sup> generatie warmtenetten en de ontwikkeling van warmteopslagmethoden (TCM, Redox) zit Nederland wereldwijd in de kopgroep. Een aantal van deze technieken **biedt op termijn stevige exportkansen**.

In het algemeen blijft het van belang dat bij alle ontwikkelde technieken voor verwarmen en koelen wordt gewerkt aan **kostprijzdaling en verbeterde toepasbaarheid** in woningen en gebouwen, waaronder het **stiller en compacter** maken van de diverse apparaten en **verbeterde installatie- en aanlegtechnieken**. In de breedte geldt dat **circulariteit** moet worden meegenomen in de doorontwikkeling van alle technieken. Technieken staan bovendien nooit op zichzelf en hebben



interactie met de gebruiker, andere apparaten en het energienet. Een **integrale focus** is daarmee van belang om te komen tot werkende totaalconcepten.

## Missie vraagt op meerdere niveaus om systeemintegratie

In de laatste jaren van de warmtetransitie wordt het duidelijk dat het “binair denken” over individuele en collectieve aanpakken in de meeste situaties niet tot het optimale resultaat leidt. 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 inpassing in relatie tot het elektriciteitssysteem (het leveren van flexibiliteit) en duurzame opwek, sociaal-maatschappelijk draagvlak, circulariteit van gebruikte materialen, digitalisering en het versterken van de Human Capital Agenda (zie hoofdstuk zes). Innovaties uit dit MMIP bieden dan ook kansen voor andere sectoren en andere MMIP's en andersom (zie hoofdstuk zes).

Ook geopolitiek is het van belang om integraler te ontwikkelen. Warmte-koudesystemen die zoveel mogelijk gebruik maken van lokale bronnen als lucht, water, bodem, wind en zon hoeven met innovatieve sturing steeds minder of zelfs niet meer afhankelijk te zijn van hulpbronnen van buiten de directe omgeving.

Met de noodzaak van het integraal ontwerpen van warmte-koudesystemen is de uitdaging om daarbij oog te houden voor het reduceren van complexiteit. 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 nog. Er is daardoor te veel maatwerk nodig waarmee ook de faalkansen en de kans op suboptimale 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 heeft 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 worden 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, compactheid, installatiegemak, gebouwintegratie, circulariteit en smart grid readiness. Deze systemen worden vervolgens in onderlinge samenhang ‘gemanaged’ door een Home Energy Management System (HEMS) of Building Energy Management System (BEMS).



- (Z)LT-warmte- en koudesystemen (zoals bronnetten) met (meerdere) LT-warmtebronnen, grootschalige warmteopslag en warmte- en koudelevering die speciaal zijn afgestemd op de aangesloten 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. Warmte- en koudenetten kunnen dan onderdeel uitmaken van een District Energy Management Systeem (DEMS) die eventueel gekoppeld is met HEMS'en en BEMS'en.
- Grootschalige power-to-heat en opslag van warmte kan in potentie een belangrijke rol spelen in het totale energiesysteem: Power-to-heat biedt een bron van flexibiliteit door in te spelen op lage of zelfs negatieve stroomprijzen; warmteopslag biedt een vorm van seizoensopslag die met elektrische batterijen lastig gerealiseerd kan worden. In principe gaat het hier om het maken van logische, symbiotische koppelingen tussen de warmte- en elektriciteitssector.
- 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. Denk hierbij ook aan het realiseren van een multi-bronnenmix om leveringszekerheid van hernieuwbare energie te garanderen.
- 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.

## Huidige stand van zaken (nationaal)

In totaal is er in de periode 2019-2023 €77.477.916 euro gegaan naar 80 gestarte of lopende projecten die aan de doelstellingen van MMIP 4 werken (bepaald doormiddel van de jaarlijkse TKI Urban Energy portfolioanalyse, zie colofon). Voor een overzicht van de **voortgang van de deelprogramma's** zie hoofdstuk 5 'Nederlandse innovatie-activiteiten', sub-hoofdstuk 'Voortgang op de deelprogramma's.' Hier staat een tabel die de voortgang van de MMIP 4-deelprogramma's weergeeft doormiddel van een 'stoplichten model' voorzien van een kwalitatieve toelichting.

Recent zijn flinke stappen gezet in het doorontwikkelen van warmtepompsystemen. In de afgelopen jaren is er een succesvolle implementatie geweest van een industriële lucht/water-HT-warmtepomp met een natuurlijk koudemiddel voor het verwarmen van een appartementengebouw. Ook zijn er eerste proof of concepts ontwikkeld van de thermo-akoestische en de free-piston Stirling warmtepomp. Ook zijn nieuwe lucht/water-warmtepompen geïntroduceerd met een volledige binnenopstelling en HT-



warmtepompen die zowel individueel (warmtapwater en ruimteverwarming met CO<sub>2</sub> als koudemiddel) en collectief werken. En is er een hybride warmtepomp/gasheatersysteem op de markt beschikbaar gekomen als vervanger voor volledige gasheaters in bedrijfshallen. Er lopen in Nederland diverse monitoringprojecten om beter zicht te krijgen op de prestaties van (hybride) warmtepompen. Metingen van [installatiemonitor.nl](http://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.

Qua tapwatersystemen is er een plug-n-play douchecabine op de markt gekomen met een warmteterugwinning van 85% die alleen een koudwateraansluiting (en uiteraard een elektriciteitsnetaansluiting) 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. Op het gebied van (efficiënte) naverwarming van warmtapwater in combinatie met LT-warmtenetten lopen nu ook steeds meer ontwikkel- en demonstratieprojecten.

Met betrekking tot ventilatiesystemen worden steeds meer systemen met wtw op de markt gebracht die met weinig (tot geen) breekwerk geïnstalleerd kunnen worden. Deze systemen zijn toe te passen op bestaande mechanische ventilatiesystemen of laten de luchttoevoer en -afvoer via het trapgat plaatsvinden. Ook zijn er decentrale ventilatiesystemen met wtw die in het raamkozijn opgenomen kunnen worden en per ruimte de ventilatie kunnen regelen.

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. Daarnaast zijn er startups actief die bijvoorbeeld boilerkasten met vacuüm isolatie ontwikkelen en grotere waterbuffers met zelfdragende constructie die bij een woning in de grond kunnen worden geplaatst. Een Nederlandse TCM-warmteopslagsysteem wordt in diverse labs in Europa getest via een Europees project. En er zijn belangrijke stappen gezet om de uitdagingen rondom de stabiliteit van de zoutbedden te adresseren. Om deze TCM-systemen te (gaan) vermarkten zijn er al een aantal startups opgestart of in oprichting.

Binnen het WarmingUP consortium dat eind 2022 is afgerond zijn veel rapporten verschenen voor verschillende warmtenet- en bronthema's. Daarnaast zijn er diverse Proeftuinen Aardgasvrije Wijken gestart die met (Z)LT en zijn MT-warmtenetten op basis van één of meerdere LT-bron(nen) aan de slag gegaan. Ook het leveren van koude speelt een grotere rol bij de afwegingen voor het aanleggen van warmtenetten. Op enkele plaatsen worden warmte- en koudenetten ontworpen of gebouwd. Dit gebeurt zowel in woonwijken als op bedrijventerreinen. Ook vinden er demonstraties van kleinschalige uitbreidbare warmte- en koudenetten plaats.

Aansluitend op het WarmingUP programma zijn inmiddels de eerste demonstratielocaties voor HT-warmteopslag een feit. Via de Proeftuinen Aardgasvrije Wijken (PAW) zijn er bovendien projecten gerealiseerd op Vlieland en in Nagele waar een ondergrondse wijkopslag in combinatie met zonthermie is toegepast. In 2022 is Groeifondsvoorstel NieuweWarmteNu! vergund, waarin 11 vliegwielprojecten met





innovatieve componenten worden gerealiseerd en een innovatieprogramma van ongeveer 20M Euro vorm krijgt. In 2023 starten bovendien verschillende nieuwe consortia vanuit de MOOI 2022 regeling.

Met betrekking tot geothermie zijn er nu ongeveer 25 actieve doubletten in operatie in Nederland. Deze projecten generen vooral warmte voor de glastuinbouw. Op meerdere locaties is een geothermiesysteem in ontwikkeling of wordt de haalbaarheid onderzocht, voornamelijk voor de gebouwde omgeving. In 2022 is bekend geworden dat het Delftse Aardwarmteproject definitief zal worden gestart. Door de stevige link van dit project met de TU Delft en de installatie van vele meetapparatuur is de verwachting dat dit project stevig zal bijdragen aan de Nederlandse kennispositie. In de SDE++ ronde van 2022 is er voor 22 geothermieprojecten en een waarde van ongeveer 2,5 miljard Euro subsidie aangevraagd (bron: Geothermie Nederland). Het is nog spannend hoeveel van die projecten daadwerkelijk subsidie krijgen toegewezen en tot realisatie komen. Daarnaast is er vanuit TKI Nieuw Gas een PPS-programma in de maak, in samenwerking en afstemming met TKI Urban Energy/MMIP 4, EBN en Geothermie Nederland, voor geothermie innovatieprojecten.

Op het gebied van LT- warmtebronnen zijn er diverse 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 restwarmte. De inzet van collectieve warmtepompen spelen hier een belangrijke rol. In Dorkwerd is in 2022 een groot zonnearmteveld voor een warmtenet geopend dat in 25% van de warmtevraag zal voorzien. Verder zijn er op bedrijventerreinen enkele netten met restwarmte en -koudeuitwisseling gedemonstreerd. Vanaf het najaar 2020 is het mogelijk ook SDE++ subsidie aan te vragen voor aquathermieprojecten en is de aquathermieviewer gelanceerd. Diverse projecten zijn hierdoor inmiddels in ontwikkeling.

## Huidige stand van zaken (internationaal)

Via Europese subsidieregelingen en binnen de Technology Collaboration Programmes (TCP's) van het International Energieagentschap (IEA) is het mogelijk om in internationaal verband aan innovaties te werken. Nederland doet geregeld mee aan Europese innovatieprojecten binnen de Europese subsidieprogramma's: Interreg, Horizon Europe, Clean Energy Transition Partnership (CETP), CEF / TEN/T (subregeling CB RES), LIFE (subprogramma 'Clean Energy Transition'), Innovation Fund, Eureka / Eurostars. Op internationaal niveau doet Nederland mee aan de volgende TCP's van IEA: [Photovoltaic Power Systems Programme](#) (PVPS), [Energy in Buildings and Communities](#) (EBC), [Energy Efficient End-Use Equipment](#) (4E), [Energy Storage](#) (Energy Storage), [Heat Pumping Technologies](#) (HPT), [User-Centred Energy Systems](#) (USERS), [Smart Grids](#) (ISGAN), [Solar Heating & Cooling](#) (SHC) en sinds kort



doet Nederland met een proefjaar t/m medio 2023 mee aan [District Heating & Cooling \(DHC\)](#).

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 was projectleider van de 'Comfort Climate Box', een project dat valt onder 'affordable heating and cooling' van de IEA. Verder is Nederland actief betrokken bij de IEA TCP's HTP en ES (Energy Storage). 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 internationaal 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. Nederlandse partijen zijn actief in lopende H2020-programma's (zoals IMAGE, SURE, DESTRESS, GEMEX, GEOWELL) en GEOTHERMICA-projecten (zoals HEATSTORE, PERFORM, GECONNECT, CAGE, DEEP, RESULT, GRE-GEO en TESTCEM). Daarnaast is er veel kennisuitwisseling via de Energy Storage TCP van het IEA. Onder dit programma is er onder meer ook aandacht voor de economische modellen voor warmteopslag.

In het HEATSTORE-project zijn in Europees verband lessen over grootschalige warmteopslag geleerd en gedeeld met verschillende landen. In dit programma zijn 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. In Nederland is inmiddels in Wieringermeer een grootschalig demoproject van een HT-warmteopslagsysteem in een ondergrondse aquifer voor seizoensopslag van warmte. Via het Horizon Europe project PUSH-IT, gecoördineerd door een Nederlandse universiteit, wordt ook gekeken naar ondergrondse warmteopslag op hogere temperatuur met onder andere restwarmteopslag in de zomer om vervolgens in de winter voor ruimteverwarming toegepast te worden.

Via het INTERREG-programma D2Grids (2018-2022) is ook door Nederland (Mijnwater is de lead-partner) de afgelopen jaren gewerkt aan een generiek model voor en de algehele promotie van het 5<sup>de</sup>-generatie warmte- en koudenetten gedachtengoed.

## Deelprogramma's

Binnen MMIP 4 zijn zeven deelprogramma's geformuleerd om de innovatie-uitdagingen te adresseren. In de deelprogramma's wordt gewerkt aan onderdelen van de totale systeemoplossing voor energierenovaties. Via regelingen en programma's wordt ervoor gezorgd dat deelcomponenten in nauwe samenwerking met de andere deelprogramma's en/of MMIP's bijdragen aan totaalconcepten om de doelen van de warmtetransitie te kunnen halen. De volgende deelprogramma's zijn geformuleerd:

### *Deelprogramma 1: Warmtepompen*

In dit deelprogramma ligt de focus op warmtepompen als individuele warmteoplossing voor de woningbouw en utiliteitsbouw. 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.

### *Deelprogramma 2: Afgifte, ventilatie en tapwatersystemen*

In dit deelprogramma komen de innovatievragen voor afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen achtereenvolgens aan bod. Op het gebied van afgiftesystemen ligt de nadruk op de doorontwikkeling van LT- afgiftesystemen zoals vloerverwarming en convectoren, waardoor duurzaam geproduceerde warmte van lagere temperaturen een woning kan verwarmen. De focus bij de nieuwste tapwatersystemen ligt enerzijds op oplossingen die zich richten op het efficiënt produceren en bufferen in een boilervat i.c.m. LT-warmtebron/bronnnet en het voorkomen van legionella daarbij en anderzijds op het efficiënter maken van warmtapwater. In het sub-deelprogramma voor ventilatiesystemen 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.

### *Deelprogramma 3: Kleinschalige warmteopslag*

Het synchroniseren van vraag en aanbod van energie is één van de grootste uitdagingen van de energietransitie. De hoofdvraagstukken in dit deel van het programma zijn: 1) 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; 2) 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; 3) 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.

#### *Deelprogramma 4: Duurzame warmte- en koudenetten*

Dit deelprogramma richt zich op warmtedistributie en het ontwerp-, implementatie- en organisatieproces van warmte- en koudenetten. Sommige LT- en ZLT-warmtenet concepten bieden ook de mogelijkheid om koude te leveren. Bij LT- en ZLT-warmtenetten zijn de warmteverliezen lager. Voor warmtenetten zijn ook de organisatie en de financiële haalbaarheid en betaalbaarheid van belang. Niet alleen nieuwe (bestaande) wijken moeten worden aangesloten op een warmtenet, ook bestaande warmtenetten moeten worden verduurzaamd.

#### *Deelprogramma 5: Grootschalige warmteopslag*

De focus van dit deelprogramma is de (door)ontwikkeling van grootschalige warmteopslag op collectief niveau. 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.

#### *Deelprogramma 6: Geothermie*

Geothermie kan een belangrijke rol spelen in de warmtetransitie als duurzame basislastbron voor warmtenetten. Het ontwikkeltraject kent veel knelpunten rond de ontwikkeling van de warmteketen, wet- en regelgeving, vergunningen, geologie en ondergrond, subsidiëring en financiering, draagvlak en warmteafzet om op stoom te komen. De focus van dit deelprogramma ligt op het ontwikkelen van innovaties die deze vraagtekens oplossen.

#### *Deelprogramma 7: Lagetemperatuurwarmtebronnen*

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.



## 4. Nederlandse innovatie-inzet

Om impact te hebben met missiegedreven innovatiebeleid, is het nodig om focus aan te brengen in de thema's waarop Nederland innovatie-inzet pleegt. Dit innovatieprogramma beoogt om juist die thema's op te pakken die aansluiten bij de geformuleerde innovatiedoelstellingen, Nederlandse sterktes en het potentieel verdienvermogen. Dat betekent ook dat we sommige onderwerpen niet actief in Nederland zullen oppakken, bijvoorbeeld omdat hier internationaal al zeer veel op gebeurt.

Het verwarmen en koelen van woningen en gebouwen in Nederland wijkt af van de ons omringende landen. Zo worden gebouwen in Nederland dominant met aardgas verwarmd. Bovendien hebben woningen en gebouwen in ons land specifieke kenmerken en bouwwijzen. Daarnaast zijn er een andere cultuur, ander klimaat en wordt Nederland gekenmerkt door de beschikbaarheid van warmtebronnen zoals waterlichamen en een specifieke ondergrond. Dit alles levert op dat er naast meer algemene en overal toepasbare innovatiethema's vooral ook lokale innovatievragen spelen die in dit MMIP worden geadresseerd. De lokale aanpassing van meer algemeen toepasbare (internationale) innovaties is van belang, evenals de integratie van standalone oplossingen in een systeem.

De onderstaande tabel onderscheidt per deelprogramma op welke innovatieonderwerpen er prioritair Nederlandse inzet moet plaatsvinden en welke innovatieonderwerpen niet actief worden opgepakt. Verder in dit hoofdstuk worden de prioritaire innovatieonderwerpen per deelprogramma's uitgebreid behandeld. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de innovatiebehoefte in verschillende ontwikkelfasen (onderzoek, ontwikkeling, demonstratie, implementatie).

Thema	Kennis- en innovatievraagstukken	Doelstelling
<b>Deelprogramma 1 Warmtepompen</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van circulaire, geoptimaliseerde compressiewarmtepompconcepten in relatie tot andere systeemcomponenten als de cv-ketel (hybride), warmteopslag, warmteafgiftesysteem, tapwater, ventilatie, LT-warmtebronnen en/of (Z)LT-warmte- en koudenet (bronnnet). Met een maatschappelijk acceptabel optimum van prijs, energieverbruik, elektrische flexibiliteit, geluid, ruimtegebruik, (installatie)veiligheid, cyberveiligheid en esthetiek. Compressiewarmtepompen worden alleen met natuurlijke koudemiddelen (door)ontwikkeld tenzij dit niet mogelijk is en dan met synthetische koudemiddelen met een zeer lage global warming potential (GWP).	Voor 2026 is er voor elke grondgebonden woning een maatschappelijk acceptabele (hybride) compressiewarmtepomp met koelfunctie, circulair ontwerp, natuurlijk koudemiddel en flexibiliteits-protocol. In 2030 is dit voor elk bouwtype een feit.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van compactere, plug-n-play en/of gebouw geïntegreerde (hybride) warmtepompconcepten zodat ze eenvoudig en met minder menskracht en overlast te installeren	In 2026 moet de gemiddelde installatietijd gehalveerd zijn t.o.v. 2021. In 2030 moet deze



	en onderhouden zijn. Onder meer via digitalisering en data gedreven modellering.	gemiddelde installatietijd 65% lager t.o.v. 2021 zijn.
	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van fossiele energie vrije technologische opvolgers van conventionele compressiewarmtepompsystemen, zoals bijvoorbeeld thermo-akoestische, free-piston Stirling motor en magneto-calorische warmtepompen die circulaire, efficiënter, goedkoper, stiller en/of compacter zijn.	Voor 2030 moet er ten minste een nieuw warmtepomptype concurrerend op de markt gelanceerd zijn.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het (door)ontwikkelen van compressiewarmtepompen met op F-gassen gebaseerde koudemiddelen tenzij dit voor een bepaald gebouwtype <u>echt niet</u> mogelijk is. In dit laatste geval zal er dan altijd met een synthetische koudemiddel met een zeer lage globale warming potential (GWP) (door)ontwikkeld moeten worden. Deze koudemiddelen moeten vervolgens over hun <u>hele levensduur</u> een lage GWP hebben, dus niet een hogere GWP bij afbraak/hervorming in bepaalde luchtlagen hebben.</li> </ul>	
<b>Deelprogramma 2 Afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, slimmere, energetisch geoptimaliseerde warmte-koudeconcepten met LT-afgiftesystemen voor ruimteverwarming en -koeling, warmtapwatersystemen met warmteterugwinning en (kook)ventilatiesystemen met warmteterugwinning. Met een maatschappelijk acceptabel optimum van prijs, energieverbruik, elektrische flexibiliteit, geluid, ruimtegebruik, esthetiek, comfort en binnen gezondheidseisen.	In 2030 is er voor elk energie-renovatieproject tenminste een maatschappelijk acceptabel, circulair, gestandaardiseerd, energetisch geoptimaliseerd installatieconcept beschikbaar.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van circulaire, stillere, esthetisch aantrekkelijkere, compactere en/of gebouwgeïntegreerde deelcomponenten voor afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen die eenvoudig in te regelen, te installeren en onderhouden zijn.	In 2030 zijn op elkaar afgestemde componenten beschikbaar om de doelstelling van activiteit 1 te bereiken.
	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van energie-efficiënte, compacte, circulaire en bewezen legionellaveilig tapwatersystemen in combinatie met (Z)LT-warmte en koudenetten.	In 2026 ten minste drie demonstraties van nieuwe ZLT of LT-warmtenetten en in 2030 minimaal één bestaand warmtenet dat naar LT is teruggebracht i.c.m. een legionellaveilige tapwateroplossing.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>N.v.t.</li> </ul>	
<b>Deelprogramma 3 Kleinschalige warmteopslag</b>		
Geïdentificeerde innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde, circulaire voelbare warmte- of (latente) PCM-warmteopslagsystemen.	Voor 2030 ten minste drie nieuwe producten op de markt met 25-50% lagere kostprijs dan in 2022.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van TCM-opslagsystemen door materiaal optimalisatie. Inclusief het (door)ontwikkelen van goedkopere,	Voor 2030 ten minste een op de markt concurrerend TCM-



	grootschalige, circulaire productieprocessen zodat TCM's snel geïmplementeerd kunnen worden zodra de technologie succesvol is gedemonstreerd.	warmteopslag-systeem voor een woning op de markt verkrijgbaar.
	Activiteit 3: Identificeren van optimale configuratie(s) voor systeemintegratie (incl. flexibiliteit) van kleinschalige warmteopslag in het lokale en centrale energiesysteem en het ontwikkelen van geautomatiseerde regelstrategieën voor deze configuraties.	Voor 2030 zijn er financieel / energetisch geoptimaliseerde concepten op de markt beschikbaar waarbij warmteopslag in woningen wordt aangestuurd o.b.v. beschikbare lokale hernieuwbare energie en in balans met het elektriciteitsnet.
	Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe, goedkopere, efficiëntere, circulaire en/of compactere kleinschalige warmte-opslagsystemen met een (mogelijk) grotere capaciteit, zoals bijv. opslag met redox principes of voelbare warmteopslag in bijvoorbeeld olie, steen, metalen, vloeibaar cement of andere materialen.	In 2030 ten minste een nieuw warmteopslag-concept in ontwikkeling dat t.z.t. in potentie kan concurreren met bestaande technieken.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>In 2023 staat een herijking van de roadmap (nationaal/internationaal) van opslaginnovaties gepland om te kunnen bepalen op welke innovaties inzet gepleegd moet blijven worden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>
<b>Deelprogramma 4 Duurzame warmte- en koudenetten</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van goedkopere, energetisch geoptimaliseerde, circulaire configuraties van warmte- en koudenetten in de bestaande bouw met gedistribueerde warmtebronnen (multi-bronnen), rekening houdend met de evolutie van de woningvoorraad (bijv. isolatie richting de Standaard) en geïntegreerd met installaties achter de voordeur. Optimalisatie houdt onder andere in: vraag- en aanbodsturing van de warmte- én (toenemende) koudevraag, gelijktijdig verwarmen en koelen, retourtemperaturen verlagen, onderling uitwisseling op gebiedsniveau, opslag, regelstrategieën en piekoplossingen voor kostenreductie.	In 2026 ten minste drie demonstraties van nieuwe ZLT-warmtenetten (> 500 weq) en in 2030 minimaal één bestaand MT/HT-warmtenet dat naar LT is teruggebracht. Voor 2030 ten minste 2 nieuwe demonstraties met combinaties van bijv.: Gelijktijdig verwarmen en koelen, bidirectionele afleversets (incl. invoeding zonthermie per installatie), multi-bronnen (> 4) en/of flexibele stooklijn.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe governance en organisatievormen met verdienmodellen voor (verschillende) partijen die ook het maatschappelijk draagvlak voor duurzame warmte- en koudenetten vergroten.	In 2025 moeten er ten minste twee nieuwe publiek/private gestandaardiseerde, financierings- en organisatievormen zijn.
	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen van goedkopere, meer circulaire, snellere en minder overlast gevende aanleg-, aansluit- en onderhoudsmethoden voor warmte- en koudenetten.	Voor 2030 moet de aanlegtijd van transport- en distributieleidingen 25% lager zijn en de gebouwaansluitingen 50% sneller zijn t.o.v. 2022.
	Activiteit 4: (Door)ontwikkelen van methodes en technieken om warmteverlies en elektriciteitsgebruik pompen te verminderen en efficiëntie voor warmtetransport en -afgifte te verhogen.	Ten minste drie demonstraties in bestaande warmtenetten waarbij ten minste 10% efficiëntie wordt gewonnen.



	Activiteit 5: (Door)ontwikkelen van keuzetools, ontwerpprocessen en (modulaire, flexibele) uitrolmodellen die de doorlooptijd van warmtenetprojecten verminderen en de toekomstbestendigheid en (energie)flexibiliteit van het systeem verbeteren.	Voor 2026 ten minste twee gestandaardiseerde tools die door alle stakeholders (keten-geïntegreerd) voor het volledige ontwikkelings- en optimalisatieproces gebruikt kan worden.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Door)ontwikkeling van MT- en HT-warmtenetten, behalve verduurzaming van bestaande warmtenetten op deze temperaturen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>
<b>Deelprogramma 5 Grootschalige warmteopslag</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van systemen met voelbare warmteopslag in water en andere materialen en verbeterde systeemintegratie met (kleinschalige) warmte- en koudnetten.	Voor 2030 ten minste drie warmteopslag demonstraties van minimaal 5 TJ per warmtenet.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van warmteopslagsystemen in aquifers, met diverse configuraties (bijv. triplets), temperaturen en verbeterde systeemintegratie met warmte- en koudnetten, rekening houdend met ecologie- en drinkwaterkaders.	Voor 2026 ten minste drie extra demonstraties van MT- of HT-warmteopslag in aquifers.
	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige PCM-warmteopslagsystemen die goedkoper, efficiënter, meer circulair en/of compacter zijn dan grootschalige systemen met voelbare warmteopslag.	Voor 2030 ten minste een demonstratie op schaal in een warmtenet.
	Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van grootschalige TCM-warmteopslagsystemen, inclusief de mechanische stabiliteit voor transport, die leiden tot goedkopere, efficiëntere, meer circulaire en/of compactere systemen in vergelijking met systemen met voelbare warmteopslag.	Voor 2030 ten minste een demonstratie op schaal in een warmtenet.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>N.v.t.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>
<b>Deelprogramma 6 Geothermie</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van (huidig) toegepaste doublet geothermieconcepten op ondiepe en diepe schaal in combinatie met glastuinbouw en warmtenetten en met oog voor het verbeteren en optimaliseren van: kosten, efficiëntie, broeikasgas uitstoot, circulariteit, het gebruik van play-based portfolio benaderingen, bronduur, project doorlooptijd en het nuttig inzetten van de bijvangst van geothermisch water en gas.	Tot en met 2026 ten minste tien succesvolle geothermieprojecten in de gebouwde omgeving (excl. glastuinbouw). Voor 2026 tenminste drie succesvolle ondiepe geothermieprojecten (500-1500 meter).
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen van nieuwe/goedkopere technieken en methoden om de ondergrond in kaart te brengen en daarmee projectrisico's en aanverwante kosten te verlagen.	Voor 2030 is er ten minste een demonstratie van een 25% goedkopere methode (t.o.v. 2022) om kans op misboringen met minimaal 80% te verminderen.





	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe geothermiesystemen die goedkoper, efficiënter, (on)dieper, emissiearm, veiliger, circulaire, succesvoller en sneller geïmplementeerd kunnen worden dan gangbare doublet geothermiesystemen in relatie tot de gebouwde omgeving (zoals bijv. single-hole, horizontale, closed loop systemen en systemen met gedistribueerde invoeding)	Voor 2030 demonstratie van ten minste drie verschillende nieuwe geothermie-systeemtypes.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>In nauw overleg met GeothermieNL, EBN en TKI Nieuw Gas wordt medio 2023 definitief bekeken welke onderwerpen in welk programma moeten blijven worden opgepakt. E.e.a. is afhankelijk van uitkomsten van MOOI2022, PPS projecten bij TKI Urban Energy en het in de maak zijnde PPS-programma rondom geothermie van TKI Nieuw Gas. TKI Urban Energy coördineert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>
<b>Deelprogramma 7 Lagetemperatuurwarmtebronnen</b>		
Innovatieonderwerpen waarop Nederlandse inzet prioritair moet plaatsvinden:	Activiteit 1: (Door)ontwikkelen en demonstreren van bodemwarmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie, circulariteit en lagere milieueffecten.	Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.
	Activiteit 2: (Door)ontwikkelen en demonstreren van aquathermie-warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie, circulariteit en lagere milieueffecten.	Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.
	Activiteit 3: (Door)ontwikkelen en demonstreren van zonthermie-warmtebronnen voor individuele en (kleine) collectieve systemen met oog voor kostenverlaging, opschaling, versnelling, systeemintegratie en circulariteit.	Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.
	Activiteit 4: (Door)ontwikkelen en demonstreren van de uitkoppeling van industriële en binnenstedelijke restwarmte- en koudebronnen voor verwarmen en koelen van gebouwen en invoeding in (kleine) collectieve systemen gericht op inpassing, kostenverlaging, opschaling, circulariteit en systeemintegratie.	Voor 2030 een kostenverlaging van 20% t.o.v. 2022 realiseren door innovatieve techniek, standaardisatie en opschaling.
Innovatieonderwerpen die Topsector Energie niet actief oppakt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>N.v.t.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>



## Deelprogramma 1: warmtepompen

### Inleiding

In de nieuwste versie van het Integrale Kennis en Innovatieagenda Klimaatakkoord (IKIA) voor Energie en Circulariteit is er voor Missie B afgesproken dat er in 2030 1 miljoen geïnstalleerde (hybride) warmtepompen in de bestaande bouw geplaatst zijn (woningequivalenten). Gemeenten hebben in hun Warmtetransitievisies aangegeven welke aardgasvrije route per wijk de voorkeur geniet. Buurten waarvoor de all-electric en hybride warmtepomproutes 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 waarderen voor tapwater, ruimteverwarming én koeling.

Een elektrische warmtepomp waardeert de warmte van een bron op naar een bruikbare temperatuur voor verwarming en warmtapwater. 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. De meeste elektrische warmtepompen kunnen ook koeling leveren. 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 verbeterd worden om beter aan wensen en eisen van eindgebruikers te voldoen. Ten eerste groeit de behoefte naar warmtepompen die zowel kunnen verwarmen als koelen. 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 warmte- en koudeoplossing voor de woningbouw (inclusief hybride warmtepompen). Dit onderwerp heeft samenhang met (Z)LT-warmte en koudenetten (en bronnetten) en met LT-bronnen. De integratie van grootschalige warmtepompen biedt ook veel kansen voor het verduurzamen van gebouwcomplexen (zoals appartementengebouwen, kantoorgebouwen, bedrijfspanden, e.d.), bedrijventerreinen en warmte- en koudenetten. Deze onderwerpen worden verder besproken in deelprogramma's 4 en 7.

### Knelpunten en benodigde innovaties



De volgende activiteiten en randvoorwaarden zijn belangrijk bij de (door)ontwikkeling van (hybride) warmtepompen en warmtepompconcepten. Een aantal van deze doelstellingen zijn ook van toepassing voor industriële warmtepompen die toegepast worden voor blokverwarming en warmte- en koudenetten.

#### *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 installatie- en onderhoudskosten (zie punten over versnellen en opschalen van installatieproces beneden), bijbehorende bron, e.d. Met name bij installateurs heerst er of drempelvrees of worden te veel onzekerheidstoelagen 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 sinds 1 april 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 geluidsdoelen moeilijk haalbaar zijn. Het doel van 30 dB(A) in de verkeersruimtes en 27 dB(A) in de verblijfsruimtes (inclusief slaapkamer) wordt met warmtepompsystemen 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 warmtepomprendementen 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 voor zowel verwarmen als koelen 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-, Stirling-, adsorptie-, absorptie 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, CO<sub>2</sub> 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 werven en 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 prefab 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. Binnen een van de projecten die in 2022 op dit thema gestart is, is vastgesteld dat er nu gemiddeld 32 manuren nodig zijn om een warmtepomp te installeren. Een van de doelstellingen van dit project is om het gemiddeld aantal manuren voor standaard installatieprocessen te halveren.

### *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, data analytics, 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 Building en en Home Energy Management Systemen (BEMS'en en HEMS'en) 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 allerhande data over als weersvoorspellingen, maar ook leren van alle andere WP's in het platform. GBS en HEMS-systemen moeten met alle onderdelen in samenhang ontworpen worden. Het moet niet zo zijn dat in het geval van slimme aansturing via de warmtepomp de flexibiliteit van de warmtepomp maximaal aangewend wordt terwijl een laadpaal of andere systeemonderdelen ook gebruikt moeten worden of flexibiliteit kunnen aanbieden. Ook in de gebruikersinterface en gebruikersondersteuning van systemen 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. Daarnaast dient er bij het ontwikkelen van slimme systemen ook rekening te worden gehouden met de aanscherping van de cybersecurity regelgeving in de EU. Voor meer informatie over deze onderwerpen zie [MMIP 5: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving](#).

#### *Doorontwikkelen van warmtepompsystemen met meer flexibiliteitspotentieel*

- Als onderdeel van smart grids zullen slim aangestuurde warmtepompsystemen ook een belangrijke 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: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving](#).

#### *Doorontwikkelen van DC-gedreven warmtepompsystemen:*

- Er vinden op dit moment innovatieprojecten plaats voor het doorontwikkelen van DC-energie netten. 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-energie net. 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: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving](#).

#### *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 warmtepompdoelstellingen 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 2018<sup>5</sup>.

Systeem KPI		2019	Doel 2025	Doel 2030
(1)	Investeringskosten	Referentiejaar		50 % reductie
(2)	Operationele kosten (€/jaar)	Referentiejaar		50 % reductie
(3)	SPF			
	L/W: LTV	4	5	5,5
	Warmtapwater	1,75	2	2,5
	Koeling	3	4	4,5
	W/W: LTV	5,5	6	6,5
	Warmtapwater	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 N.a.v. recent voor TKI UE en RVO uitgevoerd onderzoek lijkt dat de 50% reductiedoelstelling op de totale investeringskosten in 2030 niet zal worden behaald. Wel is er nog stevig winst te behalen op de installatiekosten. 20-40% lijkt realistischer.
- 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) op basis van compressiewarmtepompen. LT-verwarming, warmtapwater en koeling.

<sup>5</sup> <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



Systeemaspecten moeten hierbij meegenomen worden<sup>6</sup>. De L/L-warmtepomp (airco) is in dit overzicht buiten beschouwing gelaten, vergelijkbare KPI's kunnen daarvoor worden gehanteerd.

- 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.
- 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)).

### Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering. Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

Emissiereductie	Circulair	Economische Haalbaarheid	Schaalbaarheid	Energetische inpassing	Maatschappelijke haalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seasonal performance factor (SPF) vergroten (-)</li> <li>• Global warming potential (GWP) van koudemiddelen verminderen (-)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het warmtepompsysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt).</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van warmtepompsysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> <li>• Potentieel voor 1-op-1 vervanging van cv-ketel verhogen (% van huidige cv-installaties)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Afhankelijkheid van bestaande afgiftesystemen en isolatie, met name bij monumentale panden (minimum label)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Piekvraag stroom verminderen (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Gewicht van onderdelen binnen de woning (kg)</li> <li>• Overlast in de woning verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Esthetiek verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Risico op lekkage verminderen (% installaties)</li> <li>• Geluid verminderen (dB)</li> <li>• Comfort verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Ontwikkelen van burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>

<sup>6</sup> Beta factor 1 gesteld. Gemiddeld gewogen jaarrendement (SPF, incl bronpomp/ventilator cf. berekeningsmethode NEN7120 A1-2017 of de NEN7120/NTA8800 bepalingmethode), 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



## 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, CO<sub>2</sub>-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 en koeling 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 LT-afgiftesystemen zoals vloerverwarming en convectoren, waardoor duurzaam geproduceerde warmte of koude aan een ruimte geleverd kan worden. Nieuwe, goedkopere, efficiëntere en compactere LT-afgiftesystemen kunnen ervoor zorgen dat warmtepompen en andere duurzame bronnen van warmte en koude 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 of koud water uit het verwarmings-/koelingstoestel en verspreid via leidingen naar de afgiftepunten, zoals radiatoren of vloerverwarming. Met een thermostaat kun je de gewenste temperatuur van de ruimte instellen. Het water dat door het afgiftesysteem stroomt kan van hoge temperatuur of van lage temperatuur zijn. Bij hogetemperatuurverwarming (HT-verwarming) is de aanvoertemperatuur zo'n 60-90°C, bij LT-verwarming ligt de aanvoertemperatuur tussen de 30 en 50°C. Bij sommige afgiftesystemen is het ook mogelijk om te koelen en voor sommige systemen zijn er modules om condens te voorkomen.

#### Knelpunten en benodigde innovaties

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

##### *Verlagen van productie-, aanschaf-, installatie- en onderhoudskosten*

- 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 installatie- en onderhoudskosten (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 hogetemperatuurinstallaties 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 eenvoudiger 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.

**Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

<b>Emissiereductie</b>	<b>Circulair</b>	<b>Economische Haalbaarheid</b>	<b>Schaalbaarheid</b>	<b>Energetische inpassing</b>	<b>Maatschappelijke haalbaarheid</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbruik verminderen (kWh/jr)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het afgiftesysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van afgiftesysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> <li>• Potentieel voor 1-op-1 vervanging van cv-ketel verhogen (% van huidige cv-installaties)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Piekvraag stroom verminderen (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overlast in de woning verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Geluid verminderen (dB)</li> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren</li> <li>• Gewicht van onderdelen binnen de woning (kg)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## 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 verre gaande 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 (Z)LT- 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 boiler vatverliezen 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.

### 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 warmtapwater, 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' i.v.m. 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. Hierbij is ook het (door)ontwikkelen van legionellaveilige tapwatersystemen in combinatie met (Z)LT-warmtenetten een belangrijk aandachtspunt.

*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 c.q. 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 boiler vat nodig is, zijn nodig om tot opschaling te komen. Hierbij is ook het (door)ontwikkelen van legionellaveilige tapwatersystemen in combinatie met (Z)LT-warmtenetten een belangrijk aandachtspunt.

#### *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 ruimteverwarming 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.

#### **Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

<b>Emissiereductie</b>	<b>Circulair</b>	<b>Economische Haalbaarheid</b>	<b>Schaalbaarheid</b>	<b>Energetische inpassing</b>	<b>Maatschappelijke haalbaarheid</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbruik verminderen (kWh/jr)</li> <li>• Warmteterugwin rendement verhogen (%)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het tapwatersysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Piekvraag stroom verminderen (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Gewicht van onderdelen binnen de woning (kg)</li> <li>• Ontwikkelen van een concept die voldoet aan Legionella-eisen (ja/nee)</li> <li>• Overlast in de woning verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Ontwikkelen van burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## 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 juist 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> van de buitenlucht. Mechanische ontvochtiging kan ervoor zorgen dat de ramen dicht kunnen blijven en CO<sub>2</sub> 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.

### **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 productie-, aanschaf-, installatie- en onderhoudskosten. 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 CO<sub>2</sub>, 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. Denk ook aan compactere warmteterugwinunits met lagere drukval en een hogere efficiëntie.

#### *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, CO<sub>2</sub> en VOC zijn nodig. Daarnaast dienen nieuw ontworpen systemen rekening te houden met zonering 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.

#### *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.

#### **Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

<b>Emissiereductie</b>	<b>Circulair</b>	<b>Economische Haalbaarheid</b>	<b>Schaalbaarheid</b>	<b>Energetische inpassing</b>	<b>Maatschappelijke haalbaarheid</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbruik verminderen (kWh/jr)</li> <li>• Warmteterugwin rendement verhogen, gecombineerd met verlaging van de drukval (%)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het ventilatiesysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van ventilatiesysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Piekvraag stroom verminderen (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Overlast verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Noodzaak voor filtervervanging verminderen (#/jr)</li> <li>• Onderhoudsinterval verminderen (jr)</li> <li>• Geluid verminderen (dB)</li> <li>• Luchtkwaliteit verbeteren (ppm CO<sub>2</sub>, fijnstof, VOCs, vochtpercentage)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## Deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag

### Inleiding

Het synchroniseren van vraag en aanbod van energie is één van de grootste uitdagingen van de energietransitie. De warmtevraag bestaat circa 75% van de totale energievraag in een woning en omvat verwarming en warmtapwater. 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, met name in periodes van typisch 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<sup>7</sup> 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 faseovergangsmaterialen.
- 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.

### Knelpunten en benodigde innovaties

*Verlaging van productie-, aanschaf-, installatie- en onderhoudskosten 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

<sup>7</sup> Met kleinschalige warmteopslagsystemen worden hier individuele systemen bedoeld, die op gebouwniveau geïnstalleerd kunnen worden.





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 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, opslagdensiteit 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 (stabiliteit, 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 (warmte)bronnen waaronder warmtenet, PV, zonthermisch en warmtepomp), in het lokale (decentrale) en centrale energiesysteem, en in de balancerings daarvan. Dit thema heeft links met MMIP3 voor wat betreft de gebouwbeheersystemen en MMIP5 voor de flex-component.

*(Door)ontwikkelen en demonstreren van nieuwe warmteopslagconcepten:*

- Dit betreft nieuwe, goedkopere, efficiëntere, circulaire en/of compactere kleinschalige warmte-opslagsystemen met een (mogelijk) grotere capaciteit, zoals bijv. opslag met redox principes of voelbare warmteopslag in bijvoorbeeld olie, steen, metalen, vloeibaar cement of andere materialen.

*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.

### Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulairiteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

Emissiereductie	Circulair	Economische Haalbaarheid	Schaalbaarheid	Energetische inpassing	Maatschappelijke haalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiedichtheid verhogen (kWh/m<sup>3</sup>)</li> <li>• Stilstandsverlies verminderen (kWh/jr)</li> <li>• Round trip efficiency verhogen (%)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het opslagsysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (# cycli tot 20% capaciteitsverlies)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van opslagsysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/protoype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> <li>• Potentieel voor 1-op-1 vervanging van cv-ketel verhogen (% van huidige cv-installaties)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Opslagcapaciteit van het volledige systeem verhogen (GJ/m<sup>3</sup>)</li> <li>• Vermogen van ontlading verhogen (kW)</li> <li>• Graad van zelfconsumptie van gebouw/ lange termijn- (seizoens-) opslagpotentieel verbeteren (aantal dagen opslag met gemiddelde winterse warmtegebruik)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Gewicht van onderdelen binnen de woning (kg)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## Deelprogramma 4: duurzame warmte en koudenetten

### Inleiding

In de nieuwste versie van het Integrale Kennis en Innovatieagenda Klimaatakkoord (IKIA) voor Energie en Circulariteit er voor Missie B afgesproken dat er in 2030 500.000 nieuwe aansluitingen op een warmtenet in de bestaande bouw gerealiseerd zijn (in woningequivalenten). Eind 2021 moesten de gemeenten een Transitievisie Warmte (TVW) opstellen. 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 warmte- en koudenetten wordt de mogelijkheid gecreëerd om lokale duurzame (rest)warmtebronnen 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 warmte- en koudenet, 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 overbrugt 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 warmte- en koudenetten 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 warmte- en koudenetten. 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.

Een warmte- en koudenet is een collectieve oplossing om gebouwen te verwarmen en te koelen. Dit systeem is op te delen in een (warmte)bron, distributie en aflevering. Er zijn verschillende temperaturniveaus 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-warmtenetconcepten 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 warmte- en koudenetten zijn ook de organisatie en de financiële haalbaarheid en betaalbaarheid van belang. Warmte- en koudenetontwikkeling kan vanuit diverse initiatieven ontstaan en vanuit verschillende governance-modellen georganiseerd.



## **Knelpunten en benodigde innovaties**

### *Doorontwikkelen van burgerparticipatie en (open) governance modellen:*

- Voor warmte- en koudenetten 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 warmte- en koudenetten 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 koudenetten 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 aanleg- en aansluitmethoden en verminderen van overlast in de wijk bij het aanleggen van warmte- en koudenetten:*

- Dit betreft zowel het goedkoper maken van leidingen als het aanleggen van deze leidingen en het aansluiten van warmtenetten (in pandige aanpassingen in/aan de woning).
- De stijging van materiaalkosten verhoogt de aanlegkosten van warmte- en koudenetten. Er is behoefte naar nieuwe, goedkopere materialen voor leidingen waar rekening is gehouden met de recycleerbaarheid, materiaalafkomst en circulariteit van deze materialen.
- 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, efficiënter en met minder overlast voor bewoners warmte- en koudenetten aan te leggen. Vermindering van overlast geldt voor zowel buiten de woning (in de wijk) als binnen de woning (snellere en goedkopere installatie van de afleverset en mogelijke aanpassingen van het afgiftesysteem). Benodigde innovaties hiervoor zijn zowel technisch (plug-n-play installaties) en procesmatig (ontzorging, begeleiding en nazorg). Werken aan deze aspecten 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 laag temperatuurverschil met de bodem.

*Verminderen van ruimtegebruik en verbeteren van het aanzicht van bovengrondse, ondergrondse en inpandige 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. Dit geldt zowel voor ruimtegebruik in een gebied als in een gebouw.

*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 leidingen, onderstations, pompen, kleppen, etc.) snel op te sporen en verhelpen.

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

- 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). Denk hierbij ook aan het verlagen van nettemperaturen op langere termijn, om meer duurzame bronnen aan te kunnen sluiten en zodoende toekomstbestendigheid te vergroten. Denk hierbij ook aan het realiseren van een multi-bronnenmix om leveringszekerheid van hernieuwbare energie te garanderen. Denk hierbij ook aan nieuwe systeemconfiguraties (met eventuele decentrale opwek en decentrale warmtapwaterproductie) die het mogelijk maken om de temperatuur van warmtenetten in bepaalde periodes (zoals de zomermaanden) te verlagen.

*Doorontwikkelen van warmtenetsystemen met meer flexibiliteitspotentieel*

- Warmte- en koudenetten 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. Demonstraties moeten plaatsvinden om ervaring te krijgen met welke technieken, systeemonderdelen en regelingen het beste van toepassing zijn in bepaalde situaties. Warmteopslag zal hier een belangrijke rol in spelen en



dergelijke opslag hoeft niet alleen via centrale en decentrale buffers plaats te vinden maar ook via de leidingen en de gebouwmassa's van de aangesloten gebouwen.

#### *Doorontwikkelen van keuzetools en ontwerpprocessen*

- Verschillende configuraties hebben voor- en nadelen, zowel technisch als economisch. Zo zal de inzet van LT-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, CO<sub>2</sub>-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 uitrollen van warmtenetten en het mitigeren van het vollooprisico:*

- Met het vollooprisico 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 vollooprisico te mitigeren. Aandacht moet liggen bij nieuwe technieken en werkwijzen die later aansluiten van woningen en de doorgroei van netten eenvoudiger en goedkoper maken. Denk o.m. aan nieuwe technieken waarbij het later aansluiten van woningen/gebouwen kosten efficiënt kan plaatsvinden. Denk ook aan het ontwikkelen en realiseren van modulaire, uitbreidbare warmtenetconcepten waarbij een wijk blok voor blok aangepakt kan worden. Denk hierbij ook aan het verlagen van nettemperaturen op langere termijn, om meer duurzame bronnen aan te kunnen sluiten en zodoende toekomstbestendigheid te vergroten. Een multi-bronnenmix zal de leveringszekerheid van hernieuwbare energie te garanderen.

#### *Doorontwikkelen van circulaire concepten voor warmtenetsystemen:*

- Warmte- en koudenetten 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.



**Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

Emissiereductie	Circulair	Economische Haalbaarheid	Schaalbaarheid	Energetische inpassing	Maatschappelijke haalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmteverlies verminderen (GJ/m)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het warmtenetsysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Aansluitkosten verminderen (€)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van warmtenetsysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Modulariteit verbeteren ofwel mogelijkheden om systemen uit te breiden met nieuwe bronnen, weq's en lagere temperatuurniveaus (kwalitatief)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een uitrolmodel/groeistrategie</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> <li>• Potentieel voor 1-op-1 vervanging van cv-ketel verhogen (% van huidige cv-installaties)</li> <li>• Doorlooptijd van PvE tot realisatie verminderen (dagen/weq)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Afhankelijkheid verminderen voor afgiftesystemen en isolatie, met name bij monumentale panden (minimum label)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Aansluitingsmogelijkheden voor warmtebronnen verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Geografische beschikbaarheid van warmtebronnen en (configuraties) van systemen (kwalitatief)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overlast in de woning verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Overlast in de buurt/wijk verminderen (aantal dagen/m)</li> <li>• Ecologische impact op ondergrond verminderen (kwalitatief)</li> <li>• Ecologische impact op ondergrond verminderen (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van nieuwe governance model</li> <li>• Ontwikkelen van een systeem met koudelevering</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> <li>• Plaatsing en vormvrijheid van onderdelen binnen de woning verbeteren (kwalitatief)</li> </ul>



## 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 warmte- en koudeopslag maakt het mogelijk om overtollige warmte en/of koude 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.

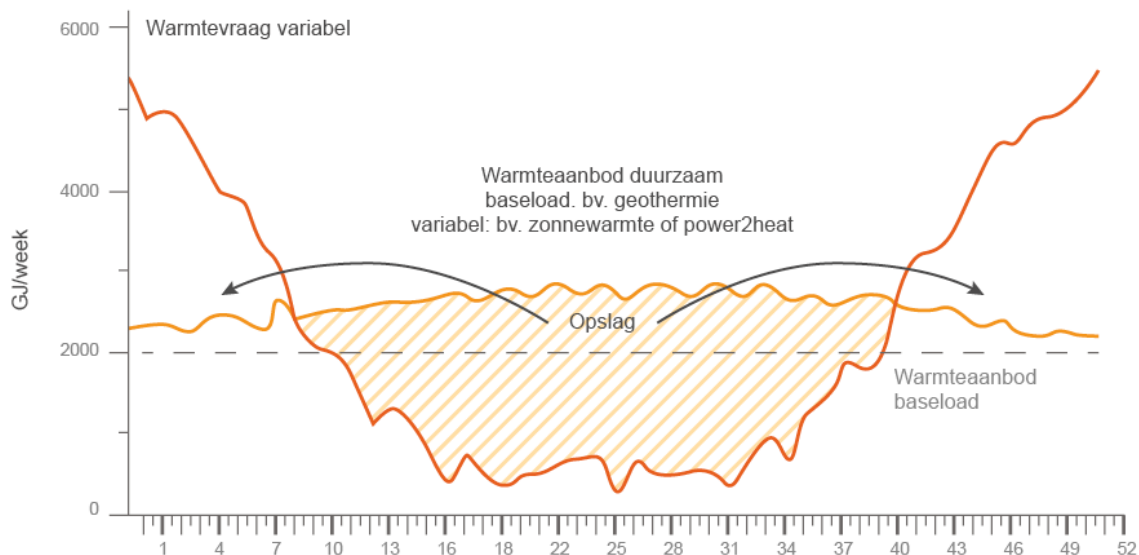
In grootschalige warmte- en koude opslagsystemen<sup>8</sup> wordt hernieuwbare warmte (eventueel opgevaardeerd door warmtepompen) opgeslagen voor later gebruik wanneer er weinig aanbod is. In Nederland gebruiken grootschalige warmteopslagsystemen nu voornamelijk water om 'voelbare' warmte op te slaan. 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).

<sup>8</sup> Met grootschalige warmte- en koudeopslagsystemen worden hier collectieve systemen bedoeld, die op gebiedsniveau (voor meerdere gebouwen) aangelegd worden.





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



### Knelpunten en benodigde innovaties

#### *Verlagen van aanschaf-, aanleg-, onderhoud- en operationele kosten*

- 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. Verder is het ook van belang om de retourtemperatuur in het warmtenet te verlagen om op die manier meer warmte uit de opslag te kunnen gebruiken. 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 redoxprincipes 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 lijken de potentie om zo compact en verliesvrij warmte op te slaan dat deze vervoerd kunnen worden. Diverse partijen geven aan dat transport doormiddel van TCM's financieel haalbaar is, afhankelijk van de toepassing.



**Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

Emissiereductie	Circulair	Economische Haalbaarheid	Schaalbaarheid	Energetische inpassing	Maatschappelijke haalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiedichtheid verhogen (kWh/m<sup>3</sup>)</li> <li>• Round trip efficiency verhogen (%)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het opslagsysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO<sub>2</sub>eq-emissies van materialen (kgCO<sub>2</sub>eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Operationele kosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van opslagsysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een modulair concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/protoype (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een uitrolmodel/groeistrategie</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Installatiesnelheid verhogen (manuur/installatie)</li> <li>• Doorlooptijd van PvE tot realisatie verminderen (dagen/weq)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Opslagcapaciteit van het volledige systeem verhogen (GJ/m<sup>3</sup>)</li> <li>• Vermogen lading en ontlading verhogen (kW)</li> <li>• Lange termijn- (seizoens-) opslagpotentieel verbeteren (aantal dagen opslag met gemiddelde winterse warmtegebruik)</li> <li>• Flexibiliteit voor elektriciteitsnetten verbeteren (kwalitatief)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruimtegebruik van installaties binnen de woning verminderen (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Grootte van bovengrondse systemen verminderen (m<sup>2</sup>/kW warmtelevering)</li> <li>• Overlast in de buurt/wijk verminderen (aantal manuren/weq)</li> <li>• Ecologische impact op ondergrond verminderen (kwalitatief)</li> <li>• Seismiciteit verminderen (# aardbevingen/jaar)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## 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 is het eerste geothermieproject in bedrijf genomen. In potentie kan ongeveer 26%<sup>9</sup> 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 complexe trajecten rond de ontwikkeling van de warmteketen, wet- en regelgeving, vergunningen, geologie en ondergrond, subsidiëring en financiering, draagvlak en warmteafzet om op stoom te komen. Met de SDE++ ronde in 2022 (met zgn. 'hekjes') is voor ruim 2,5 Mld. Euro aan geothermieprojecten aangevraagd, waarvan een behoorlijk deel t.b.v. invoeding in warmtenetten. Bovendien zitten in het Groeifondsvoorstel NieuweWarmteNu! enkele relevante projecten. In de glastuinbouw is tot op heden primair voor een klein aantal grootschalige warmteafnemers ontwikkeld.

In het Versnellingstraject 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. Verder heeft de geothermiesector zich via het Masterplan Aardwarmte in 2018 reeds gecommitteerd aan een opschaling van geothermie in zowel de glastuinbouw als de gebouwde omgeving, en onderstreepte die ambitie in september 2022 met de 'Voorzet actieplan versnelling geothermie'.

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.

<sup>9</sup> Berenschot; WARM – Waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden. September 2020; pag. 4.



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 zoals ATES'en en BTES'en zie deelprogramma 5. In geothermiesystemen worden ook warmtepompen toegepast. Voor de ontwikkelingen op het gebied van warmtepompen zie deelprogramma 1. Verder kan ondiepe geothermie als LT-warmtebron dienen. Ondiepe geothermie geldt voor systemen tussen de 500 en 1500 meter diepte en valt onder dit deelprogramma. Voor de uitdagingen rondom bodemwarmte (tot 500 meter diepte, meestal voor gebruik als ZLT-warmtebron) verwijzen we naar deelprogramma 7 over LT-warmtebronnen.

Geothermie is naast voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw ook van belang voor de industrie. In MMIP 7 worden innovaties voor (on)diepe geothermie ondersteund in combinatie met warmtepompen voor het produceren van proceswarmte. En bij TKI Nieuw Gas is een 3-jarig innovatieprogramma in de maak (start in Q2 2023) vanuit PPS gelden. Bij GeothermieNL is een door EBN gefinancierde programmamanager innovatie aangesteld om de innovatie-inzet vanuit branchepartijen meer te coördineren en te voorkomen dat (te veel) overlap plaatsvindt en kennis wordt gedeeld.

### **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, betere methoden voor acquireren van nieuwe data, hergebruik/herinterpretatie van bestaande data en het goedkoper uitvoeren van proefboringen en het testen van deze proefboringen.
- Schaalvoordelen in combinatie met een play-based portfolio benadering kunnen de kosten, geologische onzekerheden en technische risico's van exploitatie verminderen en de opbrengsten verhogen.
- Het optimaliseren van de aanleg van geothermiesystemen is ook een aandachtspunt. 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. Maar denk hierbij aan het verlagen van kosten door nieuwe materialen toe te passen en integraal te ontwerpen op de gehele levensduur van de put, inclusief het opruimen na afloop.
- Operationele kosten (OPEX) kunnen ook verlaagd worden door bijvoorbeeld de levensduur van pompen te verlengen, het elektriciteitsverbruik van systemen te verlagen, de COP's van bijbehorende warmtepompen te verhogen, nieuwe pompconcepten te ontwikkelen en de retourtemperatuur in het warmtenet te verlagen. Een andere oplossingsrichting is putten *fit for purpose* te ontwerpen zodat ze de warmte naar het oppervlak kunnen brengen en/of geschikter zijn voor grotere of variërende debieten.



#### *Doorontwikkelen van ondiepe geothermiesystemen in combinatie met (kleinschalige) LT-warmtenetten*

- Ondiepe geothermie (tussen 500-1500m) is interessant omdat de investeringen en complexiteit (en daarmee risico's) van de projecten aanzienlijk lager liggen dan die van diepe geothermie. De temperaturen zijn geschikt voor LT-systemen en kunnen indien nodig door inzet van warmtepompen worden opgewaardeerd. Maar er zijn goedkopere en snellere scan-/onderzoeksmethodes nodig om deze aardlagen beter in kaart te brengen. Verder moeten er demonstraties plaatsvinden van deze technieken om te bewijzen zien dat ze goed presteren.

#### *Doorontwikkelen van nieuwe geothermiesystemen anders dan doubletsystemen*

- Naast het verbeteren van de 'traditionele' doubletsystemen is het ook nodig om andere geothermieconcepten door te ontwikkelen die mogelijk goedkoper, efficiënter en/of veiliger dan de huidige systemen zijn. Denk hierbij aan horizontale boorconcepten, EGS (Enhanced Geothermal Systems), closed-loop systemen of nieuwe combinaties met seizoensopslag (i.e. koppeling met zonthermie in zomer opladen, in winter extra productie).

#### *Efficiënter en doelmatiger gebruik maken van de ondergrond*

- Hiermee wordt onder andere bedoeld het ontwikkelen van nieuwe methodieken voor het bepalen van 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.

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

- De exploitatie van geothermie 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 volloopsceario. 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. Het ontwikkelen van technieken en strategieën 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) of door in te zetten op het hergebruik van restwarmtestromen. Denk ook aan warmtenetconfiguraties met buffers, (grootschalige) warmteopslag en/of duurzame piekvoorziening/back-up systemen is noodzakelijk voor warmtebedrijven om aan de leveringsverplichting te kunnen doen. Voor meer informatie zie deelprogramma 4 duurzame warmte- en koudenetten.

#### *Doorontwikkelen van innovatieve systemen om ondergrond goedkoper en sneller in beeld te krijgen*

- Misboringen kunnen worden 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. Concreet betekent dit het voortbouwen op het SCAN-programma en het up-to-date houden van ThemoGIS. Verder moet de impact op de temperatuur van het grondwater en de mogelijke invloed daarvan op de grondwaterkwaliteit ook goedkoop en snel moeten worden gemeten.

#### *Verminderen van emissies en doorontwikkelen van circulaire concepten*

- Deze activiteiten houden onder andere de bijvangst van aardgassen en andere materialen (zoals lithium) in om deze optimaal te verwerken en eventueel te hergebruiken. Verder kan er ingezet worden op slimmer omgaan met restwarmtestromen. Ook kan er worden ingezet op doorontwikkeling van deelcomponenten met een langere levensduur, ge-upcycled materialen en met een mogelijkheid om alles na afloop te recyclen of her te gebruiken.

#### *Verminderen van bovengronds ruimtegebruik:*

- Het bovengrondse ruimtegebruik gedurende zowel realisatie als productie kan verminderd worden. 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.

#### **Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulairiteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

<b>Emissiereductie</b>	<b>Circulair</b>	<b>Economische Haalbaarheid</b>	<b>Schaalbaarheid</b>	<b>Energetische inpassing</b>	<b>Maatschappelijke haalbaarheid</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Specifieke) energieverbruik verminderen (kWh-e/kWh-w/jr)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het geothermiesysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO2eq-emissies van materialen (kgCO2eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Onderhoudskosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van geothermiesysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Productiecapaciteit verhogen (# installaties/jaar)</li> <li>• Doorlooptijd van PvE tot realisatie verminderen (dagen/weq)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Leveringsvermogen verhogen (kW)</li> <li>• Boringssucces verhogen (# gebruikte bronnen/totaal boringen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grootte van bovengrondse onderdelen verminderen (m2/kW warmtelevering)</li> <li>• Ecologische impact op ondergrond verminderen (kwalitatief)</li> <li>• Levensduur bron verlengen (jr)</li> <li>• Ontwikkelen van concept die voldoet aan radioactiviteit-eisen (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## Deelprogramma 7: laagtemperatuurwarmtebronnen

Voor de versnelling van de warmtetransitie is het van belang om lokale, duurzame warmtebronnen voor gebouw- en gebiedsmaatregelen verder te ontwikkelen. 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 werd onder andere gedaan door de Regionale Energie Strategieën en de Warmtetransitievizies 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 het eerder uitgevoerde Startanalyse. Ook (lokale) stakeholders kunnen gebruik maken van deze data voor berekeningen in hun eigen regio's.

Duurzame LT-warmtebronnen zijn nodig voor warmtepompen en warmtenetten. Er zijn verschillende LT-warmtebronnen die potentieel duurzaam warmte en koude kunnen leveren aan de gebouwde omgeving. Zo kan er warmte worden gewonnen uit de bodem, lucht, oppervlaktewater, afvalwater, drinkwater, 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.

### 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 het ontwerp en de systeemprestaties van LT-systemen en ketens staat hier centraal. Dit kan bijvoorbeeld in combinatie met opslag,





opwaardering van LT-bronnen met (grootschalige) warmtepompen en warmteterugwinning van de woning- of utiliteitsbouw. Door slimme optimalisatie en integratie kunnen de groottes van centrale warmtepompen, warmteopslaginstallaties en netwerken mogelijk verkleind worden en het flexibiliteitspotentieel van het systeem ontsloten worden.

#### *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, organisatorische en maatschappelijke aspecten. Van belang is om het geleerde van individuele projecten beschikbaar te krijgen voor de markt. Gestructureerd en gecentraliseerd opbouwen en dissemineren van kennis is nodig op vlak van ruimtelijke planning, gebiedsontwikkeling, financiering en transitiekunde. Er zijn tools nodig die deze strategische keuzes en gebiedsprocessen ondersteunen.

#### **Verdere aandachtspunten bij de innovatieopgave:**

Belangrijke aandachtspunten bij het ontwikkelen van de innovaties van dit deelprogramma zijn: maatschappelijk verantwoord innoveren, human capital, circulariteit en digitalisering (zie hoofdstuk 6). Dit deelprogramma werkt aan de volgende KPI's met de volgende eenheden of kwalitatieve beoordelingen:

Emissiereductie	Circulair	Economische Haalbaarheid	Schaalbaarheid	Energetische inpassing	Maatschappelijke haalbaarheid
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendement van nodige installaties verhogen (% of COP)</li> <li>• Specifiek energieverbruik van installaties verminderen (kWh-e/kWh-w/jr)</li> <li>• Emissieverlaging t.o.v gasgestookte warmtenetten (% CO2 reductie)</li> <li>• Energetisch optimaliseren van het warmtebronsysteem (ja/nee)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied CO2eq-emissies van materialen (kgCO2eq/kg)</li> <li>• Meer hergebruikte materialen gebruiken (% hergebruikt)</li> <li>• Verhogen mogelijke terugwinning materialen einde levensduur (% van massa eindproduct).</li> <li>• Levensduur verlengen (jr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een business case (ja/nee)</li> <li>• Investeringskosten verminderen (€)</li> <li>• Onderhoudskosten verminderen (€)</li> <li>• Optimaliseren van warmtebronsysteem op basis van Total Cost of Ownership (TCO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van een technisch haalbaar concept (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een labopstelling (ja/nee)</li> <li>• Ontwikkelen van een proof of concept/prototype (ja/nee)</li> <li>• Geografische beschikbaarheid verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Ontwikkelen van een multi-bronnenstrategie (kwalitatief)</li> <li>• Bodemlussen: Interferentie verminderen (m afstand tussen lussen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeemintegratie verbeteren (kwalitatief)</li> <li>• Leveringsvermogen verhogen, eventueel in combinatie met (kortetermijn) warmteopslag (kW)</li> <li>• Seizoens-beschikbaarheid verhogen (# dagen per jaar beschikbaar voor 100% levering van warmte)</li> <li>• Piekvraag stroom verminderen (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grootte van bovengrondse onderdelen verminderen (m2/kW warmtelevering)</li> <li>• Ecologische impact verminderen (kwalitatief)</li> <li>• Leveringszekerheid verhogen (minuten/jaar dat warmte niet geleverd kan worden)</li> <li>• Ontwikkelen van burgeracceptatie of burgerparticipatie concept (ja/nee)</li> </ul>



## 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. Grondwater en/of de bodem 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, maar soms ook andersom. Voor een duurzame werking is een juiste dimensionering van belang en of moeten bronnen in de zomer worden geregenereerd en is een optimale controle nodig 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.

In dit deelprogramma worden de knelpunten en benodigde innovaties voor bodemwarmte (tot 500m diepte) voor gebruik als (Z)LT-warmtebron besproken. Ondiepe geothermie kan ook als LT-warmtebron dienen en geldt voor systemen tussen de 500 en 1500 meter diepte. Vanwege deze diepte is ondiepe geothermie dus ook onderdeel van deelprogramma 6 over geothermie.

### 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 boortechnieken, boorsnelheden, boorwagens (kleiner en beter toegankelijk) en automatisering en robotisering van boorwagens.

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 de grond vindt plaats via het contact met de wand van het gesloten buizenstelsel in de ondergrond. **Semi-open bodemenergiesystemen** waarbij vloeistofcirculatie in en direct om de boorput plaats vindt.



Daarmee kan één boormeester bijv. meerdere opgestelde boorwagens coördineren en bedienen. Maar denk ook aan slimme combinaties van meerdere woningen per bron, diepere bronnen (richting de 500 meter), optimale topologie en koppelen met ondiepe geothermie.

*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- en vervuilingseffecten 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 de toepassing van natuurlijke koudemiddelen.

*Doorontwikkelen van circulaire concepten voor bodemwarmtesystemen:*

- Denk hierbij aan de toegepaste materialen en de levensduurverlenging c.q. verwijderbaarheid van bodemwarmtesystemen op langere termijn. De verwijderbaarheid (of wellicht afbreekbaarheid?) van bodemlussen is een thema dat nu om innovatie vraagt, zoals ook geadviseerd door de Studiegroep Grondwater & Energietransitie onder IenW.

*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.



## 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 warmte- en koude netten. 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.

### Knelpunten en benodigde innovaties

#### *Doorontwikkelen van systeemconcepten met aquathermie*

- Ontwikkelen van concepten voor aquathermie op verschillende schaalgroottes (woning/blok/wijk) en in verschillende systeemplanlay-outs (temperatuurniveaus, combinatie met warmtepompen, seizoensopslagconcepten). Het doel is om de techniek beter te positioneren bij de afwegingen rondom CO<sub>2</sub>-uitstootreductie in de gebouwde omgeving;
- Ontwikkelen van concepten om de ecologische impact van het benutten van aquathermie te verlagen.

#### *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. Er dient ook ingezet te worden in eenvoud van reiniging van de warmtewisselaar, mocht aangroei toch voorkomen.

#### *Verbeteren van rekenmethodieken:*

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



## 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 warmtapwaterbereiding. Ook is het mogelijk om zonthermie toe te passen in de industrie. Bij relatief kleine schaal (bijvoorbeeld <200 m<sup>2</sup> 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 grootschalige seizoensopslag (deelprogramma 5).

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.

### Knelpunten en benodigde innovaties

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

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

*Doorontwikkelen van zonthermieconcepten op verschillende schaalgroottes:*

- Ontwikkelen van concepten voor zonthermie op verschillende schaalgroottes (woning/blok/wijk) en in verschillende systeemplayouts (temperatuurniveaus,

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.



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 CO<sub>2</sub>-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 en dus ook inzicht in de hoeveelheid opgeslagen warmte in een buffer.

## Deelprogramma 7.4: restwarmte

### Inleiding

Restwarmte die normaal geloosd zal worden in de omgeving, 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 Wet collectieve warmtevoorziening. 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.

Er zijn een aantal innovatie-uitdagingen om 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

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.



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.

### **Knelpunten en benodigde innovaties**

#### *Doorontwikkelen en demonstreren van gestandaardiseerde concepten voor restwarmteafname*

- Er is behoefte aan het doorontwikkelen en standaardiseren van concepten die restwarmte uit industriële processen, (bestaande) koelingen en bijvoorbeeld datacenters halen. Er is ook aandacht nodig voor het demonstreren van kleinschalige warmte-uitkoppelingen, zoals tussen een lokale warmteleverancier (lokale supermarkt of fabriek) en een nabijgelegen flatgebouw/appartementencomplex. Doorontwikkeling 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 restwarmtebronnen een warmtenet voeden. Voor meer informatie over dit soort collectieve systeemontwikkeling zie deelprogramma 4.

#### *Verlagen van systeemkosten*

- Mogelijke restwarmteleveranciers geven aan dat onzekerheden rondom de kosten voor restwarmteuitkoppeling drempels voor toepassing vormen. Bij de doorontwikkeling van deze concepten moet er onder andere aandacht zijn voor minimal impacts op bedrijfsprocessen. Er moet aandacht zijn voor minimale impacts op bedrijfsprocessen. Als het uitkoppelen van restwarmte meer gestandaardiseerd (met meer zekerheid over de kosten, technische consequenties en met minimale impact op bedrijfsprocessen) kan worden dan zal dit ook helpen om de bereidwilligheid in de industrie en bij andere aanbieders te vergroten. Andersom zullen deze ontwikkelingen ook warmtebedrijven helpen om via concrete praktijkvoorbeelden en ervaringen mogelijke afnemers te overtuigen.

#### *Doorontwikkelen van aangepaste warmtewisselaars om onbenutte reststromen te valoriseren*

- Sommige restwarmtebronnen worden momenteel niet gevaloriseerd gezien technische barrières: bijvoorbeeld omdat de restwarmtestroom corrosief is, omdat er bij lagere temperaturen condensaatvorming optreedt of omdat de



restwarmtestroom deeltjes bevat die tot verstopping kunnen leiden. Er is nood aan aangepaste warmtewisselaars voor de terugwinning van warmte uit deze reststromen met bijvoorbeeld aangepaste/nieuwe materialen, coatings en filteringmethodes. Dit zal gecombineerd moeten gaan met optimalere ontwerpen voor de warmtewisselaars.

*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. Vooral TCM's lijken de potentie om zo compact en verliesvrij warmte op te slaan dat deze vervoerd kunnen worden. Diverse partijen geven aan dat transport doormiddel van TCM's financieel haalbaar is, afhankelijk van de toepassing. Voor meer informatie over deze opslagmethodes zie deelprogramma 5.





## 5. Nederlandse innovatie-activiteiten

### Missiegedreven, meerjarige aanpak

Missiegedreven innovatiebeleid richt zich op het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen en het benutten van de economische kansen die deze met zich meebrengen. De Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) en daaruit voortvloeiende innovaties zijn een middel om de opgaven uit het Klimaat- en Coalitieakkoord en de geformuleerde missies op termijn te realiseren. In dit programma worden kennis- en innovatievraagstukken benoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen ontwikkeling in vier verschillende fases, die corresponderen met verschillende *technology readiness levels* (TRL's):

- Onderzoek (TRL 1-4)
- Ontwikkeling (TRL 4-7)
- Demonstratie (TRL 7-8)
- Implementatie (TRL 9)

De verschillende kennis- en innovatievraagstukken zijn gekozen vanwege hun beoogde impact op het bereiken van de missie. Het programma laat daarbij ruimte voor disruptieve ontwikkelingen en onderzoek naar het potentiële effect van nieuwe ontwikkelingen waarvan de impact nog onbekend is. Daarnaast is er een aantal niet-technologische thema's waar ontwikkeling nodig is. Deze doorsnijdende thema's zijn niet te vatten in een TRL-fase.

### Instrumenten & activiteiten

Het MMIP is geen subsidieregeling met een eigen budget. Verschillende regionale, landelijke en Europese (subsidie)regelingen leveren gezamenlijk een bijdrage aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stapje verder te helpen. Daarnaast zijn andere instrumenten en activiteiten benodigd. Dit hoofdstuk biedt een beschrijving van benodigde instrumenten en activiteiten om de doelstellingen van MMIP 2, 3, 4 en 5 te bereiken (gebouwde omgeving en hernieuwbaar op land).

#### *Subsidieregelingen*

Een gebalanceerde inzet van financiële middelen is nodig over de gehele innovatieketen, van funderend en toegepast onderzoek tot pilots en demo's. De rijksoverheid stimuleert innovatie met een combinatie van generiek R&D beleid, aangevuld met meer specifiek Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid. De volgende instrumenten vallen onder de laatste categorie en zijn met name gericht op het bereiken van de missie:

- 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.

- Ontwikkelen (TRL 4-7): 'Vrije' middelen van TNO (SMO middelen), de MOOI-regeling, de Gebouwde Omgeving-subsidieregeling van de Topsector Energie, de Hernieuwbare Energieregeling (HER+) en het PPS-toeslag instrument. Deze instrumenten richten zich met name op industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots.
  - a Demonstreren (TRL 7-8): 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.
  - b Implementeren (TRL 9): Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++), Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE), Milieu-investeringsaftrek (MIA) en de Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil). Deze instrumenten richten zich op het stimuleren van marktrijpe (innovatieve) duurzame technologieën.

De instrumenten vallen onder auspiciën van verschillende organisaties (het ministerie van EZK, RVO, TKI Urban Energy, TNO en NWO). Sommige instrumenten richten zich op een breder domein dan alleen de gebouwde omgeving of zelfs de energiesector.

Het Nationaal Groeifonds biedt additionele middelen voor projecten die bijdragen aan duurzame economische groei voor de lange termijn, welke niet goed landen binnen het bestaande instrumentarium van de overheid. In 2022 is er ruim € 350 mln euro toegekend en gereserveerd voor consortia die (ten dele) gericht zijn op de verduurzaming van de gebouwde omgeving.

Dit aanbod van nationale regelingen wordt aangevuld door diverse lokale, regionale en Europese regelingen, zoals Horizon 2020, ERA-net, INTERREG en de MIT-regeling. Het organiserend vermogen van de Topsector Energie richt zich in toenemende mate ook op deze instrumenten.

#### *Overige instrumenten en activiteiten*

Naast de beschikbaarheid van financiële middelen en instrumenten is een breed scala nodig aan activiteiten en instrumenten. Om de missie van dit MMIP te realiseren, wordt onder meer ingezet op:

- a Kennisbundeling en -deling; door middel van o.a. (markt)studies, whitepapers, kennisdossiers en evenementen;
- b Deelnemen aan en initiëren van overlegstructuren op het vlak van normering, standaardisatie en afsprakenstelsels;
- c Signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving;
- d Versnellings- en opschalingsprogramma's; enerzijds gericht op het verbinden van ontwikkelde marktrijpe innovaties aan vragende partijen, anderzijds op het vergroten van het lerend vermogen van alle actoren via '*learning by doing*'.



Vanuit de Topsector Energie is daarnaast jaarlijks een 'eigen' onderzoeksbudget beschikbaar voor korte studies of onderzoeken die snel en gericht ondersteuning bieden aan de marktpartijen die actief zijn in het innovatie-ecosysteem.

## Benodigde inzet van publieke middelen

Begin 2023 is 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. Deze allocatie werd vastgelegd in het Kennis- en Innovatie Convenant (KIC). De middelen worden ingezet voor onderzoek, innovatieontwikkeling en pilots en demonstraties.

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

Vooruitlopend op het vastleggen van het KIC, wordt een evaluatie uitgevoerd van verschillende innovatieregelingen en -instrumenten. Als aandachtspunten bij deze evaluatie worden een aantal algemene en thematische aandachtspunten meegegeven.

Algemene aandachtspunten bij het inrichten van innovatie-instrumentarium zijn:

- Er dient rekening gehouden te worden met de toegenomen investeringsbereidheid van marktpartijen. We zien ook weer in 2022 dat de beschikbare budgetten van verschillende subsidieregelingen zijn overvraagd. Zo is in de MOOI-regeling in 2022 voor 67 miljoen aan projecten voor de gebouwde omgeving ingediend. Met een budget van 39,4 miljoen euro betekent dit dat 60% van de projecten kan worden toegekend. Voor de PPS-toeslageregeling had er 115% extra subsidie (3,5 mln euro) besteed kunnen worden aan projecten met een positieve beoordeling. Dit gegeven pleit in de volle breedte voor een verhoging van beschikbare subsidiemiddelen, omdat de markt jaar op jaar laat zien dat het bereid is om te investeren in innovatie.
- Doordat de MOOI-regeling eens per twee jaar wordt opengesteld, fluctueren de beschikbare subsidiebudgetten per jaar. In 2021 was het beschikbare budget significant lager dan 2022. Ook in 2023 zal het budget weer lager zijn. Dit zet een rem op de innovatoren die nu hun product of dienst verder willen ontwikkelen.
- De ervaring leert dat de MOOI-regeling, die gericht is op grotere innovatieprojecten, de sector uitdaagt om de lat hoog te leggen. Dit heeft geleid tot meer innovatieprojecten die technische, economische, sociaal-organisatorische en juridisch-institutionele aspecten op integrale wijze aanpakken. Het Groeifonds is hierin een overtreffende trap en streeft naar nog grotere voorstellen. Tegelijkertijd zien we dat het indienen van een kansrijk MOOI-voorstel een uitdaging is, wat met name voor het MKB een barrière vormt voor deelname.
- Met het bevriezen van de TSE-regeling is het voor (mkb-)bedrijven moeilijker geworden om voor kleinere, meer gerichte, innovatieprojecten subsidie te krijgen. Om in aanmerking te komen voor de MOOI-regeling moeten deze innovaties onderdeel zijn van een groter geheel (waarbij ook de slaagkans



kleiner wordt wanneer deze projecten op een kerstboom gaan lijken). De PPS-regeling is door haar opzet primair gericht op kennisinstellingen, innovaties waar geen kennisinstelling bij nodig zijn, kunnen hierdoor geen subsidie krijgen. In 2020 vulde de 'TSE Gebouwde Omgeving' subsidieregeling, een regeling bedoeld voor kleinere innovatieprojecten, dit gat op.

- Het valt te overwegen om een aantal specifieke subsidiecalls uit te zetten op specifieke innovatiethema's. Daarmee kan gericht een versnelling worden aangebracht op die thema's waarop ontwikkeling achterblijft en waarop een versnelling wenselijk is. De TSE Gebouwde Omgeving zou ook op deze wijze ingericht kunnen worden, om juist die lacunes op te pakken die binnen de MOOI-regeling onvoldoende invulling krijgen.
- Om de (tussen)doelen uit het Klimaatakkoord voor 2030 te realiseren, moeten de innovaties vooral voortborduren op oplossingen die al voorbij de laagste TRL's zijn. Tegelijkertijd is het belangrijk om een noodzakelijke basis te leggen voor de missie voor 2050 (een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving) door te werken aan kennis en innovaties op lagere TRL-niveaus. We constateren dat de MOOI-regeling, met de focus op schaalbare innovaties, leidt tot meer projecten op de hogere TRL's. Dit veroorzaakt in de praktijk een gat tussen beschikbare budgetten tussen innovatieprojecten in de lagere TRL's en innovatieprojecten in de hogere TRL's. Dat werkt remmend voor de doorontwikkeling van innovaties die vanuit de meer fundamentele onderzoeksprojecten gestart zijn. Ook dit pleit ervoor om de TSE Gebouwde Omgeving weer open te stellen.
- Voor een succesvolle energietransitie is bovendien veel kennisopbouw nodig. Bijvoorbeeld omtrent de milieueffecten van verschillende type opstellingen van zonneparken. Onderzoeksorganisaties kijken voor de financiering van dit onderzoek vaak naar innovatiesubsidies, maar de huidige opzet van innovatiesubsidieregelingen leent zich niet voor het financieren van dit type onderzoek. Een verbijzondering van de problematiek rondom 'onderzoek' betreft MVI. Veel MVI-projecten betreft onderzoek naar drijfveren, klantreizen, gedrag, voorkeuren en is niet noodzakelijkerwijs gekoppeld aan concrete product- en dienstontwikkeling.
- De resterende periode om de tussendoelen van 2030 te behalen wordt steeds korter. Daardoor komt er (noodzakelijkerwijs) meer aandacht te liggen op de opschaling en versnelling van innovaties. Er is behoefte aan publieke inzet (van middelen) voor sectorondersteunende activiteiten om deze versnelling en opschaling te realiseren. Denk aan middelen die gericht worden ingezet op normalisatie, de ontwikkeling van digitale platforms, living labs en kennisdisseminatie.

Thematische aandachtspunten bij het inrichten van het innovatie-instrumentarium zijn:

- De HER+ vervult een belangrijke rol voor het aanjagen van innovatie omtrent hernieuwbare energie. De afgelopen jaren kwam een groot deel van het innovatiebudget voor MMIP1 en 2 uit deze regeling. Tegelijkertijd zien we dat partijen meer moeite krijgen met het indienen van succesvolle projecten op deze regeling. Dat hangt samen met de eis binnen de regeling om uiterlijk in 2030 aan CO<sub>2</sub>-reductie bij te dragen. Ieder jaar wordt het moeilijker om dit aannemelijk te maken. Daarnaast is de voorzetting van de HER+ na 2023 niet



voorzien. Er is behoefte aan een opvolgende regeling om de pijplijn van innovaties ook richting 2050 gevuld te houden.

- Het organiseren van cross-sectorale innovatie komt lastig van de grond, omdat het veel tijd en maatwerk vraagt om middelen beschikbaar te krijgen. Het risico bestaat dat kansrijke sector-overschrijdende innovaties niet van de grond komen, waardoor de energietransitie te verkokerd en daardoor minder efficiënt georganiseerd zal worden. TKI Urban Energy pleit voor het beschikbaar stellen van aparte budgetten voor dergelijke cross-overs, die via bestaande regelingen uitgezet kunnen worden. De MOOI-SIGOHE regeling uit 2021 is een goed voorbeeld dat laat zien hoe een regeling tussen verschillende missies tot stand kan komen. Een belangrijke cross-over voor missie B met missie D+ is de elektrificatie van mobiliteit, welke nu vaak tussen wal en schip valt binnen bestaande subsidieregelingen. Missie B en D+ pleiten gezamenlijk voor een aparte MOOI-call voor deze cross-over.
- Sinds 2019 zijn verschillende versnellings- en opschalingsprogramma's opgestart die gericht zijn op een aantal specifieke doelgroepen. Sinds 2019 loopt het door TKI Urban Energy en CLICKNL geïnitieerde programma Uptempo!, waarin op gestructureerde wijze aanbiedende en vragende partijen met elkaar worden verbonden voor de verduurzaming van woningen en ander vastgoed. Sinds 2022 is TKI Urban Energy de penvoerder van het programma Verbouwstromen, gericht waarin wordt samengewerkt met TKI Bouw & Techniek, Bouwcampus en Stroomversnelling. In 2022 is bovendien het Programma Verduurzaming Bedrijventerreinen gestart. Er worden kansen gezien voor aanvullende programma's op het vlak van maatschappelijk vastgoed, utiliteitsbouw en energiegemeenschappen.

## Toelichting op de benodigde inzet voor MMIP 4-projecten

Er zijn een aantal specifieke zaken die bij de financiering van MMIP 4-projecten spelen:

- **Hoge investeringskosten (CAPEX) voor collectieve warmte- en koudeprojecten:** Voor het doorontwikkelen van collectieve warmte- en koudesystemen zijn CAPEX-gedreven projecten nodig. Denk hierbij aan het doorontwikkelen van warmte- en koudenetten in combinatie met grootschalige warmteopslagsystemen en warmtebronnen zoals geothermie en grootschalige zonthermie. Om deze technieken in de praktijk te testen, monitoren en hier vervolgens van te leren zijn grote investeringen voor het bouwen en aanleggen nodig.
- **Continuïteit van (meerjarige) financiering doormiddel van subsidieprogramma's:** Voor grootschalige, sectorale doorontwikkeling van collectieve warmte- en koudesystemen is continuïteit van financiering ook een aandachtspunt. Voor deze opgaves moet er integraal gewerkt worden en moeten meerdere stakeholders en eindgebruikers samenwerken. Dit leidt tot grote consortia die over meerdere jaren aan hun (gezamenlijke) technieken/oplossingen werken. Een voorbeeld hiervan is het WarmingUP-programma. Als de financiering van dit soort grote programma's niet gecontinueerd wordt ontstaat er het risico dat



projecten moeten stoppen met als gevolg dat eerdere investeringen 'voor niets' zijn geweest en dat kansrijke samenwerkingen uit elkaar vallen. Vervolgens kan dit weer leiden tot (kosten)inefficiënte, versnipperde en ongecoördineerde doorontwikkeling binnen verschillende regelingen. Voorbeelden hiervan zijn geothermieprojecten die nu binnen verschillende domeinen (gebouwde omgeving, industrie en nieuw gas) uitgevoerd worden.

- **Een hoog aandeel mkb-bedrijven met minder kapitaal dan grote bedrijven:** In het speelveld van MMIP 4 zijn veel mkb-bedrijven actief. Over het algemeen hebben deze bedrijven minder kapitaal dan grote bedrijven om in innovatie te investeren. Dit terwijl subsidieregelingen er nu op gericht zijn om 1) consortia te vormen, 2) cofinanciering te realiseren en 3) in het kader van vraagsturing een groter aandeel van de kosten op te nemen (ten opzichte van kennisinstellingen). Van mkb-bedrijven wordt er verwacht dat ze meer investeren wanneer ze in eerste instantie al niet kapitaalkrchtig waren. Ook investeringen in de vorm van 'in-kind' (uren) zijn lastig; mkb-bedrijven moeten tenslotte ook op hun 'corebusiness' focussen. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het terugdraaien van de voorwaarde dat mkb-bedrijven meer (co)financiering moeten bijdragen en dat de kennisinstellingen weer meer subsidie ontvangen voor in-kind uren.
- **Continuïteit en (opnieuw) starten van instrumenten voor fundamenteel onderzoek:** Een aantal veelbelovende technieken van MMIP 4 bevinden zich op lage TRL-niveaus. Voorbeelden hiervan zijn nieuwe warmtepompconcepten (thermo-akoestisch, magnetocalorisch, e.d.) en kleinschalige warmteopslag in TCM's. Behalve de PPS-regeling zijn er op dit moment weinig subsidieregelingen voor het uitvoeren van laag TRL (fundamenteel onderzoek) projecten. Het is nodig om bestaande instrumenten te continueren en nieuwe instrumenten hiervoor op te starten.







## Voortgang op de deelprogramma's

De onderstaande tabel is voor de Missierapportage 2022 van de Innovation Monitoring Unit (IMU) opgesteld. De tabel geeft de voortgang van de MMIP 4-deelprogramma's weer doormiddel van een 'stoplichten model' voorzien van een kwalitatieve toelichting. Bij de kolom 'doelbereik' staat deze vraag centraal:

"Verwachten we de kennis- en innovatieopgaven op tijd te verwezenlijken?"

De stoplichten geven twee antwoorden op deze vraag weer:

- **Geel stoplicht:** Doelbereik wordt behaald wanneer we de huidige inzet continueren.
- **Oranje stoplicht:** Doelbereik wordt niet behaald en intensivering (van middelen/inzet) is nodig.

#	Deelprogramma	Doelbereik	Korte duiding
1	Warmtepompen		Ondanks de stevige voortgang blijft aandacht nodig voor de doorontwikkeling van warmtepompen. Zowel op lager TRL met nieuwe typen en meer circulaire principes, als op het sneller installeren, slimmer aansturen en integratie met andere systemen in woning/gebouw en het elektriciteitsnet is nog veel ruimte voor innovatie.
2	Afgifte-, tapwater-, ventilatiesystemen		Het doorontwikkelen van LT verwarmingsconcepten en een verschuivende focus naar ook zomercomfort vragen om een niet aflatende inzet op dit deelprogramma. Er blijft onderzoek nodig om het energetisch en economisch optimum te zoeken tussen het aanpassen en integreren van de isolatie, het ventilatie- en/of afgiftesysteem. Een eventuele aanpassing van de legionellaregelgeving vraagt om nieuwe tapwaterinnovaties.
3	Kleinschalige warmteopslag		Nederland zit in kopgroep van TCM-techniek, maar systemen zijn nog niet marktrijp en hebben nog een stevige impuls nodig. Voelbare warmteopslag en PCM opslag zijn gedemonstreerd, maar doorontwikkeling van specifieke toepassingen en integratie met bronnen en het elektriciteitsnet is nodig.
4	Duurzame warmte- en koudenetten		Door uitstel van WCW blijven demonstratieprojecten in de planning- en ontwikkelfase hangen. Thema's als slimmere duurzame configuraties, (Z)LT, koeling, kleinschalige warmtenetten, circulariteit en materiaalgebruik, aanlegmethoden en flexibiliteit in energievraag blijven aandacht nodig hebben. Ook het doorontwikkelen van keuzetools, creëren van draagvlak, organisatorische en financiële modellen is van belang.



5	Grootschalige warmteopslag		Nederland behoort tot innovatie-koplopers, maar demonstratie en toepassing van grootschalige warmteopslagsystemen blijft beperkt. Ook de rol van warmteopslag in warmte in het energiesysteem is onderbelicht (o.m. power-to-heat). Innovatieve warmteopslag in ondergrond en grootschalige opslag in TCM heeft nog veel aandacht nodig om de inpassing en opschaling te bewerkstelligen.
6	Geothermie		De potentie van geothermie voor de Gebouwde Omgeving blijft achter. Recent wel veel projecten gestart. Met cross-sectorale samenwerking blijven inzetten op benodigde innovaties zoals het verder optimaliseren van dubletten en doorontwikkelen van nieuwe (ondiepere) geothermiesystemen en combinaties met warmteopslag en (Z)LT-warmtenetten.
7	Lagetemperatuur-warmtebronnen		Er zijn diverse demonstraties van het ontsluiten van lokale bronnen, maar nog geen echte opschaling. Het laten aansluiten van de karakteristieken van de bron op de warmtevraag in de seizoenen is nog een punt van aandacht. Per brontype spelen nog innovatievragen. Inzet op innovatieve multi-bronnen strategieën is nodig om afhankelijkheid van individuele bronnen te verlagen.

## Overzicht van MMIP-specifieke activiteiten

De ambities en activiteiten per deelprogramma worden helemaal aan het begin van dit bestand in een tabel weergegeven in de samenvatting van dit MMIP. In deze tabel wordt ook een planning gegeven voor 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 opgepakt in innovatieprojecten. Voor een overzicht van de actuele zaken zie de projectendatabase van [Topsector Energie](#), waarin bestaande en afgeronde innovatieprojecten staan.





## 6. Samenhang op hoofdlijnen

### Samenhang met andere MMIP's

De volgende samenhang kan worden gevonden tussen de verschillende Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's:

- 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), afgiftesystemen voor warmte- en koudenetten (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. Denk hierbij aan Home, Building en District Energy Management Systemen (HEMS'en, BEMS'en en DEMS'en).
- 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. Verschillende systemen voor warmte-opwek en -opslag kunnen slim ingericht en aangestuurd worden met oog op het lokale energiesysteem: MMIP 5 ontwikkelt conversiemogelijkheden om elektriciteits(overschotten) te gebruiken voor grootschalige warmteopwekking (power-to-heat, P2H). Deze concepten worden in MMIP 4 toegepast.
- MMIP 7 (CO<sub>2</sub>-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 boortekniken, 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

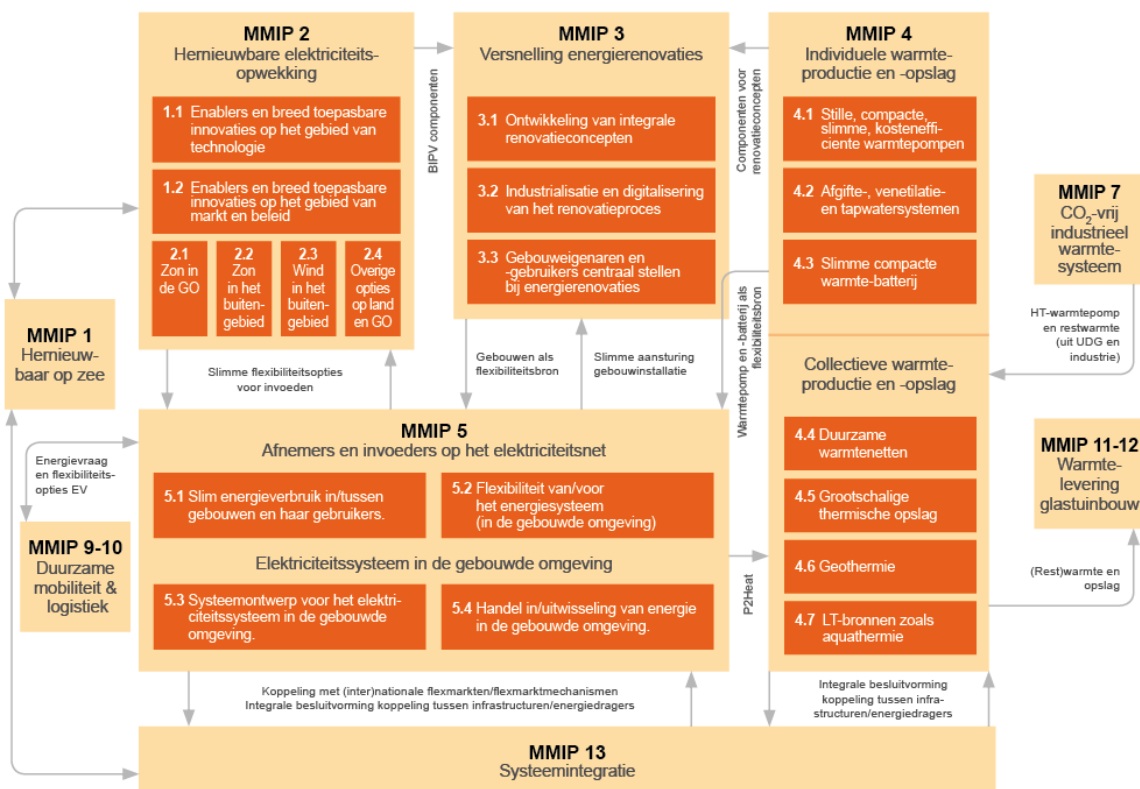


duurzaam (2050) en maatschappelijk gedragen geïntegreerd energiesysteem. Collectieve warmtenetten kunnen worden ingezet om het elektriciteitsnet te balanceren. Op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is, kunnen warmtepompen worden aangestuurd en kunnen grootschalige seizoensbuffers voor warmte-opslag worden geladen. Het is van belang dat deze optie wordt meegenomen en wordt afgezet tegen andere alternatieven zoals waterstofproductie en grootschalige opslag of conversie.

- MMIP Circulaire bouw en infrastructuur (van TKI Bouw & Techniek) richt zich op de opgave van de bouw van één miljoen nieuwe woningen die meer circulair kunnen worden gerealiseerd en kritische civiele infrastructuren voor de komende decennia. Dit programma zet in op innovatie in nieuwe ontwerpstrategieën en -processen voor circulair onderhoud, reparatie, volhoudbaarheid, modulariteit, aanpasbaarheid en demonteerbaarheid op verschillende schaalniveaus; van product-, component-, en gebouwniveau tot stedenbouw. Samen met TKI Bouw & Techniek wordt er gewerkt aan het stimuleren van de (door)ontwikkeling van integrale renovatieconcepten die ook circulair zijn.
- MMIP Levensduurverlenging Gebouwde Omgeving (van TKI Bouw & Techniek) richt zich op de ambitie om richting 2050 te komen tot een veilige, robuuste en duurzame Gebouwde Omgeving. Belangrijk onderdeel voor het bereiken van die ambitie is het optimaal instandhouden, aanpassen en benutten van de bestaande gebouwen en civiele droge infrastructuur. Samen met TKI Bouw & Techniek wordt er gewerkt aan het stimuleren van de (door)ontwikkeling van integrale renovatieconcepten die de levensduurverlenging van gebouwen bevorderen.
- MMIP Klimaatadaptief, natuurinclusief en omgevingsbewust bouwen (van TKI Bouw & Techniek) richt zich op een gebouwde omgeving die in 2050 klimaatbestendig is ingericht, natuurinclusief is en dat bouwactiviteiten met minimale belasting voor de omgeving tot stand komen. Samen met TKI Bouw & Techniek wordt er gewerkt aan het stimuleren van de (door)ontwikkeling van integrale renovatieconcepten die ook klimaatadaptatie bevorderen.

De samenhang van de MMIP's die onder TKI Urban Energy vallen (MMIP's 2, 3, 4 en 5) wordt ook in het onderstaande figuur grafisch weergegeven.





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 zonthermiesysteemcomponenten die geïntegreerd kunnen worden in bouwdelen.	MMIP 4 ontwikkelt het grootschalig toepassen van PVT 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



Gebouwbeheer-systemen	MMIP 5 ontwikkelt 'Building Energy Management Systems' (BEMS) gericht op een efficiënte integrale aansturing van apparaten binnen gebouwen. Het BEMS faciliteert ook het ontsluiten van flexibiliteit vanuit deze apparaten.	MMIP 3 werkt aan renovatieconcepten, rekening houdend met de connectiviteit van verschillende apparaten. In deze concepten maken gebruik van de BEMS die in MMIP 5 zijn ontwikkeld.
Power-to-Heat	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 warmte- en koudenetten.
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 doorsnijdende thema's

### 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 LT-warmtenet. 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 doelgerichter 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.

### **Gebruik van learning communities als enablers en versnellers**

Om nieuwe kennis uit innovaties snel te laten renderen is er door de TSE al enige jaren ingezet op Learning Communities (LC's), waarbij innoveren, werken en leren dicht tegen elkaar aan worden georganiseerd. Ook wel *fieldlabs*, *living labs*, *stadslabs*, *communities of practice*, en *hotspots* genoemd, werken binnen LC's onderwijsinstututen, kennisinstellingen en bedrijven samen 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). De wijze van werken en organiseren in een LC sluit nauw aan bij de noodzaak om nieuwe kennis snel te kunnen toepassen in de beroepspraktijk en een plaats te geven in nieuwe onderwijsprogramma's. Ook kunnen studenten en professionals laagdrempelig en praktijk gestuurd leren. Waar enkele jaren geleden dit voor velen nog een 'theoretisch concept' was, blijkt het nu bij uitstek het soort samenwerking dat nodig is om de ambities m.b.t. energie en energietransitie te helpen realiseren. LC's worden bijvoorbeeld in toenemende mate een partner in Innovatieprogramma's en MOOI-projecten.

### **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 warmte- en koudenetten 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 betreuenswaardig zijn dat door NIMBY-procedures deze ontwikkelingen niet door zouden kunnen gaan, zoals dat bij de pilotlocatie voor CO<sub>2</sub>-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 zijn. Dat biedt economische kansen op het gebied van dienstverlening, hergebruik, reparatie en recycling.

### 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

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, bodemplussen, e.d.) moeten op gemakkelijke manieren verwijderd en teruggewonnen kunnen worden uit de ondergrond. Deze restmaterialen moeten zoveel mogelijk hergebruikt kunnen worden.

## Samenhang met andere programma's

Er is een duidelijke relatie tussen de doelstellingen van MMIP 4 en de doelstellingen van andere programma's:

- De Kennisagenda Energie in de Gebouwde Omgeving: Deze kennisagenda werd in onderlinge samenhang met TNO ontwikkeld. Regelmatige afstemming vindt onder andere plaats door deelname van TNO in het Programma Advies College.
- Vraaggestuurde Programma's van TNO: Afstemming vindt plaats door deelname van deze partijen in het Programma Advies College, halfjaarlijkse overleggen met TNO, EZK en BZK en kwartaaloverleg tussen TKI Urban Energy en TNO.
- TKI Nieuw Gas: Deze TKI heeft geen MMIP's maar er is regelmatig contact en kennisuitwisseling met TKI Nieuw Gas op de onderwerpen geothermie, ondergrondse warmteopslag en groen gas.
- TKI Energie& Industrie: Op het gebied van MMIP7 is regelmatig contact en kennisuitwisseling op de onderwerpen geothermie en warmteopslag (algemeen).
- EBN Innovatieprogramma: In juni 2021 hebben GeothermieNL en EBN de Innovatie Inventarisatie Aardwarmte uitgebracht. Deze inventarisatie heeft een overzicht opgeleverd van alle kennis en ideeën op het gebied van innovatie. Naar aanleiding van dit rapport is de sector nu bezig om een innovatie platform op te zetten. Met als doel een vraaggestuurd innovatiesysteem waar ondernemers, onderzoek en financiers samenkomen. De aardwarmtesector werkt hier samen met de Topsector Energie, binnen de programma's TKI Nieuw Gas en TKI Urban Energy.
- Programma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving: Samen met TKI Bouw & Techniek, Stroomversnelling en de Bouwcampus is TKI Urban Energy een partner in Verbouwstromen. Deze overkoepelende organisatie is verantwoordelijk voor het uitvoeren van programmaliijn 5 'Innovatie in de bouw' van het Programma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving. Tussen MMIP 4 en het programmateam van Verbouwstromen is regelmatig contact op het gebied van gebouwmaatregelen (warmtepompen, afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen) en gebiedsmaatregelen (woningen LT-ready krijgen voor warmte- en koudenetten, kleinschalig en grootschalig).
- Versnellingsprogramma verduurzaming bedrijventerreinen Nederland (PVB NL): Samen met TNO, CLOK en de Transitie makers trekt TKI Urban Energy het PVB NL programma. Het doel van dit programma is om de verduurzaming van bedrijventerreinen te versnellen. Tussen MMIP 4 en het programmateam van PVB NL is regelmatig contact en kennisuitwisseling op het gebied van warmtehub, duurzame warmte- en koudeuitwisseling en de toepassing van andere warmtetechnieken.





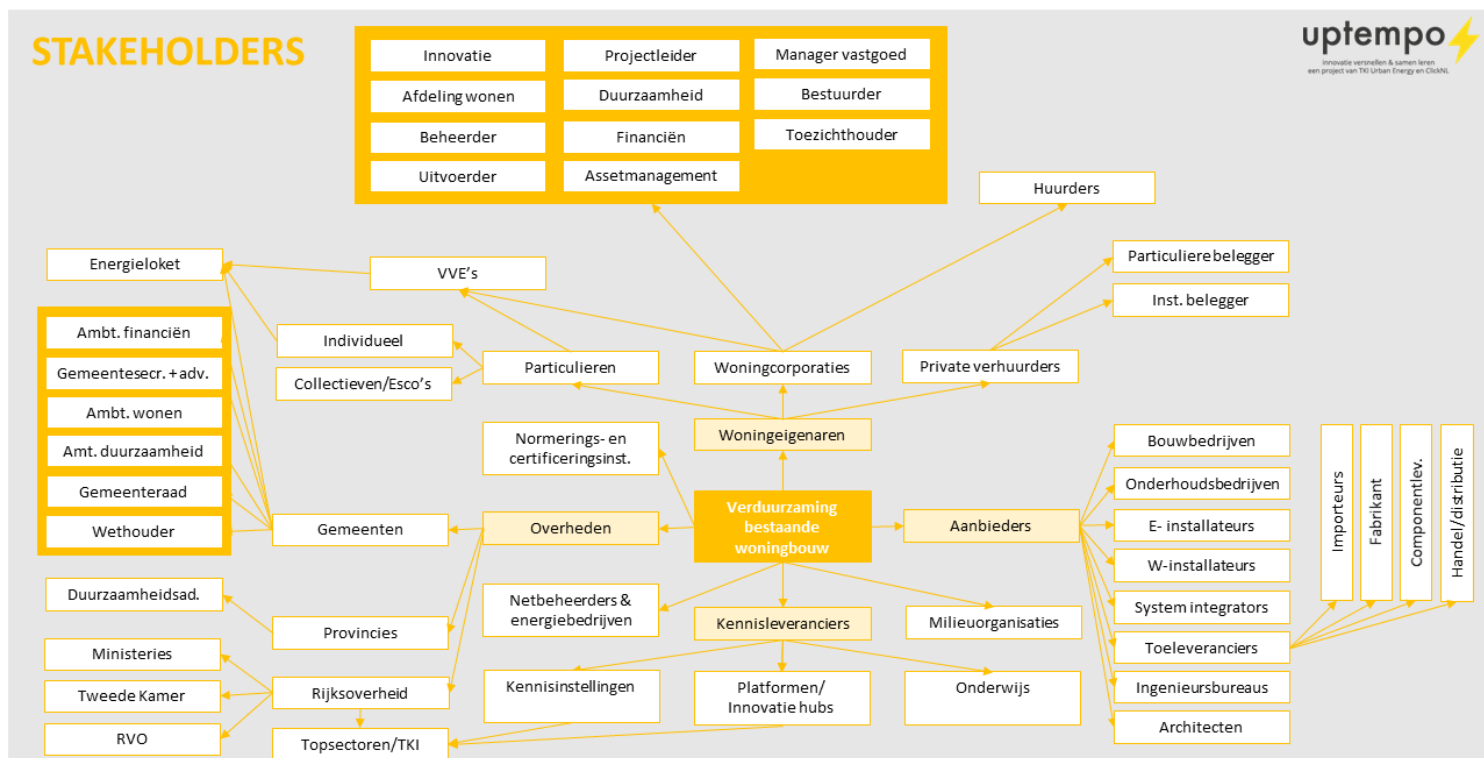
- Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW): Met het NPLW (voorheen PAW) is er regelmatig contact, kennis- en ervaringsuitwisseling over de toepassing van innovatieve technieken en collectieve systemen. Denk hierbij aan wijken die over op all-electric stappen of met (Z)LT-warmtenetten aan de slag gaan.
- Programmaleider Verduurzaming Industrie en Glastuinbouw van NVDE: Met de NVDE is er regelmatig contact over een innovatieprogramma over het verduurzamen van de Nederlandse glastuinbouw. Kennis en ervaringsuitwisseling vindt vooral plaats op de onderwerpen restwarmte- en koudeuitwisseling, (ondergrondse) warmteopslag en geothermie.
- Nationaal Waterstofprogramma: Binnen het waterstofprogramma vinden een vijftal pilots in de gebouwde omgeving plaats. Rond deze projecten vindt er (vaak via TKI Nieuw Gas) kennisuitwisseling plaats.
- Nieuwe Warmte Nu! (Nationaal Groeifonds-project): Met het programmateam van het innovatieprogramma van Nieuwe Warmte Nu is er regelmatig kennisuitwisseling en contact over het stimuleren van de demonstratie/toepassing van innovatieve collectieve warmtetechnieken (warmte- en koudenetten, warmteopslag en warmtebronnen).
- Invest-NL: Er zijn tweemaandelijks overleggen tussen MMIP 4 en Invest-NL op het gebied van trends, ontwikkelingen en innovatie-, financierings- en marktuitdagingen. Tussendoor is er regelmatig contact over specifieke projecten die Invest-NL aan het uitvoeren is. Voorbeelden zijn het onderzoeken van grootschalig inkopen van common components voor warmtepompen en het financieren van collectieve warmte-infrastructuren zoals warmte- en koudenetten en warmteopslagsystemen.
- Netwerk Aquathermie (NAT): Er is regelmatig contact geweest met het Netwerk Aquathermie om kennis en inzichten met elkaar te delen. Regelmatige afstemming vindt onder andere plaats door deelname van NAT in het Programma Advies College.
- WarmingUP-programma: Met het WarmingUP-programma is er de afgelopen jaren regelmatig contact geweest
- Europese subsidieprogramma's (via Nederlandse contactpersonen bij RVO) zoals: Interreg, Horizon Europe, Clean Energy Transition Partnership (CETP), CEF / TEN/T (subregeling CB RES), LIFE (subprogramma 'Clean Energy Transition'), Innovation Fund, Eureka / Eurostars.
- International Energy Agency Technology Collaboration Programmes (IEA TCP's): Er is regelmatig contact met de IEA-delegates van de TCP's die bij RVO werken op de thema's warmtepompen, warmteopslag en zonnewarmte. In 2021 en 2023 heeft TKI Urban Energy samen met RVO bijeenkomsten om de kennis uit verschillende lopende en afgeronde Tasks/Annexen met het netwerk van de Topsector Energie te delen. Nederland doet mee aan de volgende TCP's van IEA: [Photovoltaic Power Systems Programme \(PVPS\)](#), [Energy in Buildings and Communities \(EBC\)](#), [Energy Efficient End-Use Equipment \(4E\)](#), [Energy Storage \(Energy Storage\)](#), [Heat Pumping Technologies \(HPT\)](#), [User-Centred Energy Systems \(USERS\)](#), [Smart Grids \(ISGAN\)](#), [Solar Heating & Cooling \(SHC\)](#) en sinds kort doet Nederland met een proefjaar t/m medio 2023 mee aan [District Heating & Cooling \(DHC\)](#).



## 7. Stakeholders/actoren (samenwerkingen op hoofdlijnen)

Op de thema's van MMIP 4 is een brede verscheidenheid aan stakeholders actief. Er is nu een groot innovatie-ecosysteem (> 200 partijen) op het domein van MMIP 4. Binnen het domein van warmte- en koude is enigszins sprake van 'aparte' sub-ecosystemen voor individuele en collectieve verduurzamingsroutes. Maar in het energiesysteem van de toekomst vervagen deze zuilen en is er steeds meer sprake van geïntegreerde, synergetische verduurzamingsroutes met zowel individuele als collectieve aspecten. Zulke geïntegreerde verduurzamingsroutes hebben voordelen op het gebied van energie-efficiëntie, (warmte)leveringszekerheid (over de seizoenen heen doormiddel van energieopslag), flexibiliteitspotentieel en meer. Voor het behalen van de klimaatdoelstellingen is het dus belangrijk om de ontwikkeling van deze geïntegreerde verduurzamingsroutes te stimuleren en te ondersteunen. Door de veranderingen richting geïntegreerde verduurzamingsroutes ontstaan er nieuwe rollen voor zowel 'oude' als nieuwe stakeholders (zie laatste afbeelding in dit hoofdstuk). De vraag naar deze nieuwe rollen biedt veel kansen voor open toegang en markttoetreding van nieuwe, innovatieve partijen.

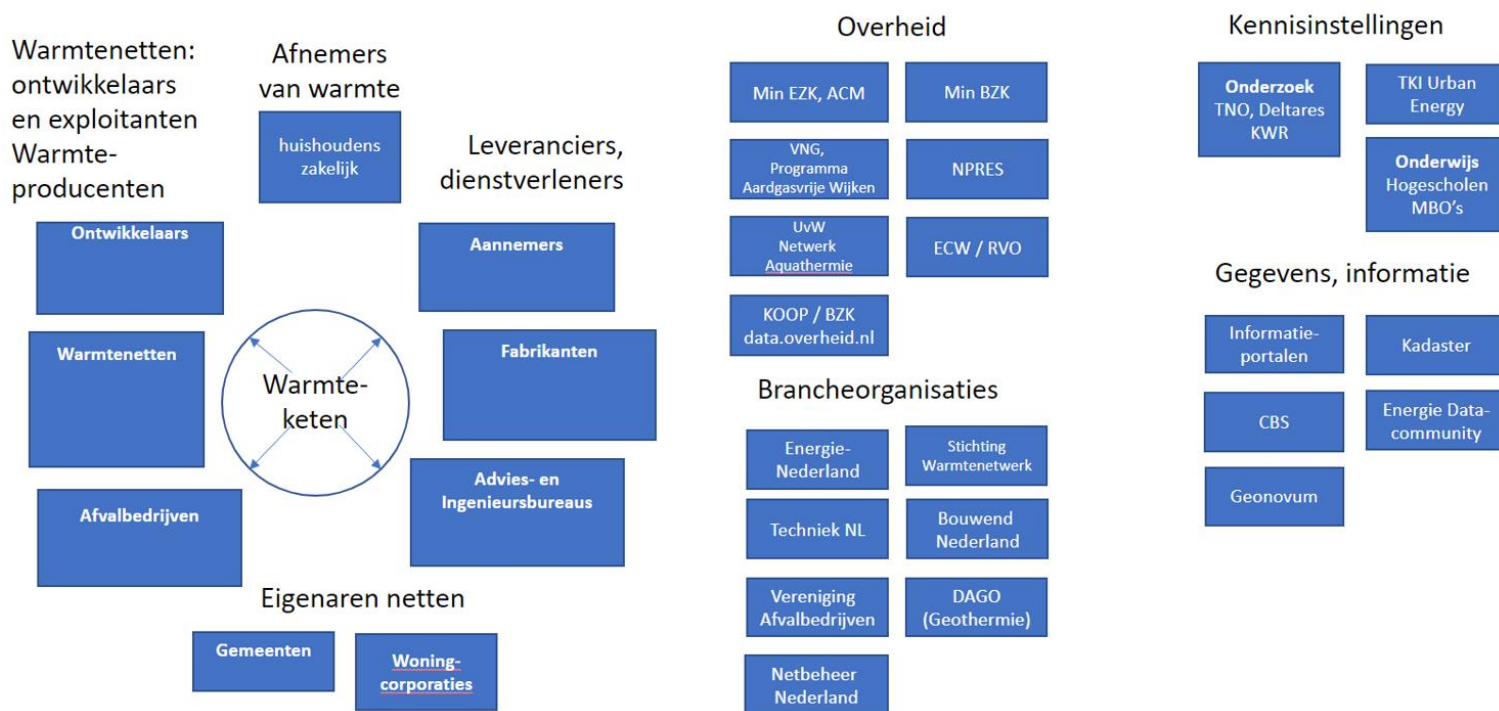
De onderstaande stakeholderkaart geeft het huidige ecosysteem voor de individuele verduurzamingsroute goed weer. Let op dat er veel vergelijkingen met dit ecosysteem en die van de collectieve verduurzamingsroute zijn (volgende afbeelding).



Bron: Uptempo (2021)



De onderstaande stakeholderkaart geeft het huidige ecosysteem voor de collectieve verduurzamingsroute enigszins weer. Een groot aantal stakeholders zijn ook in de bovenstaande afbeelding xxx te vinden. Bij de onderstaande stakeholderkaart ligt de nadruk op partijen die betrokken zijn bij het plannen, ontwerpen, uitvoeren, opereren, ondersteunen en gebruiken van collectieve warmte- en koudesystemen. Deze stakeholderkaart moet men zien als een aanvulling op de bovenstaande stakeholderkaart.



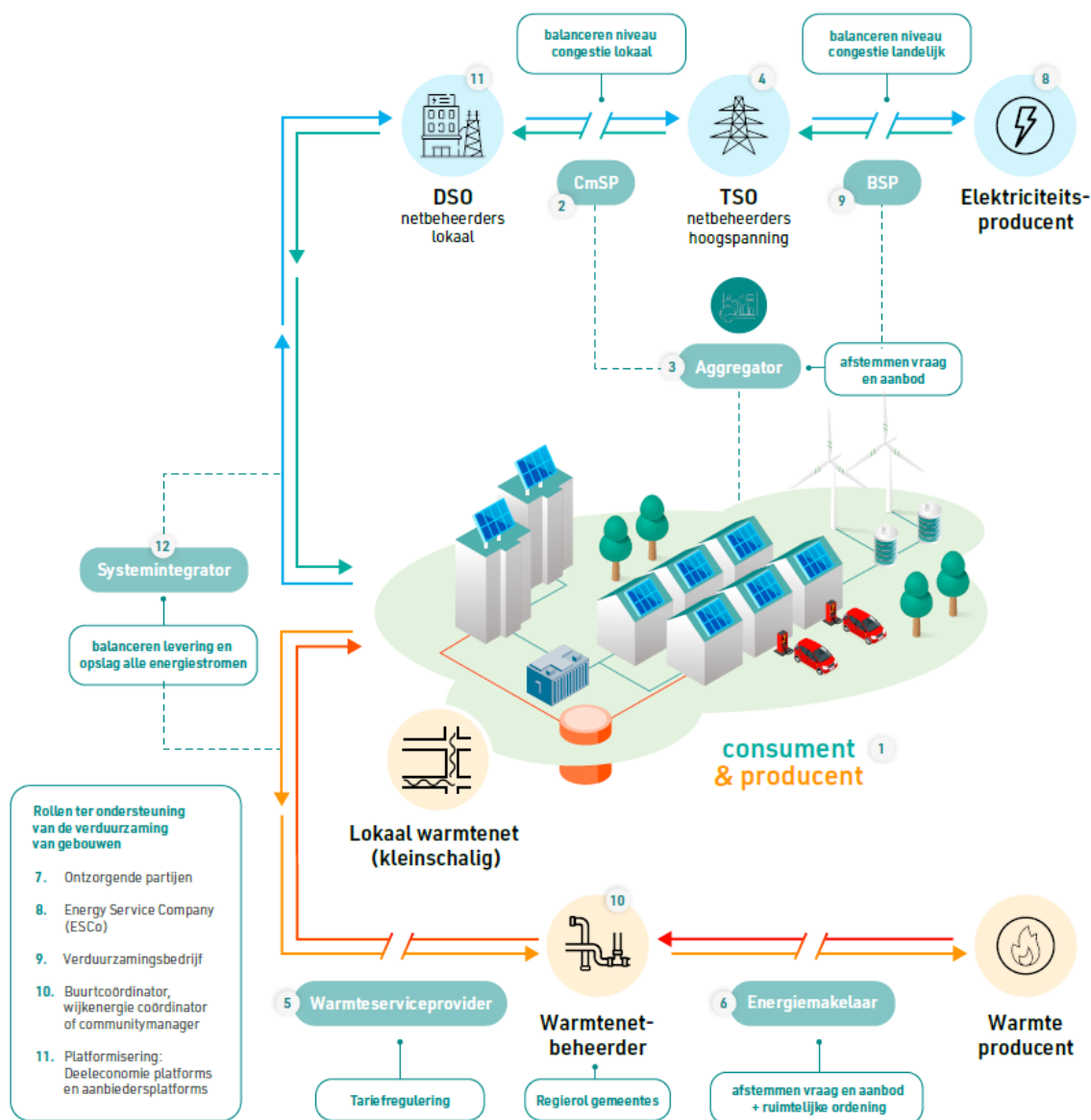
Bron: Geonovum, VIMET-VIII-B BegrippenCatalogus Warmte, Geonovum Handreiking (2021). [Klik hier voor de weblink.](#)

Diverse stakeholders kunnen elk binnen hun eigen invloedssferen een bijdrage leveren aan het stimuleren, ondersteunen en aanjagen van innovatieontwikkeling en -toepassing. Zo kunnen:

- Woningeigenaren als corporaties, coöperaties en bijvoorbeeld (maatschappelijk) vastgoedeigenaren de markt uitdagen om met nieuwe oplossingen te komen en ruimte te bieden voor de demonstratie van innovaties.
- Aanbieders van oplossingen tijd blijven maken voor het verder verbeteren van hun aanbod.
- Kennisleveranciers de markt blijven uitdagen met inzicht in wat nodig is en op de oplossingen van morgen.
- Overheden de markt blijven faciliteren met innovatieregelingen en het mogelijk maken van innovaties door wet- en regelgeving aan te passen.
- Voor alle partijen geldt dat samenwerken misschien wel de grootste bijdrage levert.



In het energiesysteem van de toekomst is er steeds meer sprake van een ecosysteem die aan de ontwikkeling van geïntegreerde, synergetische verduurzamingsroutes met zowel individuele als collectieve aspecten werkt. Zoals eerder benoemd hebben deze geïntegreerde verduurzamingsroutes voordelen ten opzichte van 'losse' individuele en collectieve routes. De onderstaande afbeelding geeft een beeld van de veranderende rollen van oude en nieuwe stakeholders in de gebouwde omgeving door de energietransitie. Het feit dat er nieuwe rollen ontstaan



Bron: Kennisdossier Veranderende rollen in de gebouwde omgeving door de energietransitie (Kleij en Tjisse Klasen, 2022). [Klik hier voor de weblink.](#)

Voor meer informatie over deze verschillende rollen en hun verschillen met de rollen in het huidige energiesystemen lees het kennisdossier [Veranderende rollen in de gebouwde omgeving door de energietransitie](#) op de website van TKI Urban Energy.



## 8. Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren op hoofdlijnen

Dit hoofdstuk adresseert het speelveld waarbinnen MMIP 4 zich begeeft, vanuit maatschappelijk, ecologisch/ruimtelijk, financieel/economisch en institutioneel oogpunt. Een groot deel van de onderstaande inzichten zijn bevindingen en aanbevelingen uit het rapport 'Warmtetransitie in de Praktijk' die door PBL in 2021 gepubliceerd is. Op basis van de inzichten uit het PAW geeft dit rapport een helder beeld van het speelveld waarin de belangrijkste actoren van de warmtetransitie zich nu in bevinden.

### Maatschappelijke factoren

In de afgelopen jaren zijn steeds meer bewonersinitiatieven ontstaan, waarin inwoners of lokale bedrijven de energietransitie steviger in eigen hand hebben genomen. Initiatiefnemers houden zich bezig met zaken zoals de bouw en exploitatie van een windmolen, de zoektocht naar andere mogelijkheden voor warmteopwekking en besparing, en het gezamenlijk opzetten van een zonne-energieproject op een school of bibliotheek. Een aantal voorlopers heeft zichzelf georganiseerd in warmtecoöperaties. Het ontstaan van dergelijke initiatieven is niet los te zien van een bredere maatschappelijke ontwikkeling: al vanaf het begin van deze eeuw worden inwoners en maatschappelijke organisaties aangespoord om zich actief in te zetten ten behoeve van de samenleving. Van inwoners en (commerciële) bedrijven wordt niet langer verwacht dat zij enkel 'consumenten', maar ook dat zij meepraten, en meedoen. Soms zijn inwoners bij de energietransitie betrokken als regievoerder, soms als één van de vele gelijkwaardige samenwerkingspartners.

Gemeenten maken geregeld dankbaar gebruik van de kennis en inbreng van energie/warmte-initiatieven en -coöperaties om tot beleidsdocumenten en concrete lokale verduurzamings-plannen te komen, zoals de Transitievisie Warmte en de daaruit voortvloeiende Uitvoeringsplannen. Participerende inwoners zijn namelijk geregeld al geruime tijd actief op het gebied van energiebesparing (voorlichting, gezamenlijke inkoop) en/of de opwekking van duurzame energie. Zij hebben zodoende veel relevante kennis over de warmtetransitie. Soms leidt de samenwerking tussen gemeenten en coöperaties tot heldere resultaten. Het leunen op participerende inwoners kan echter ook tot problemen leiden. Allereerst zijn zij doorgaans niet representatief voor de gehele buurt of wijk, waardoor legitimiteitsproblemen kunnen ontstaan. Bovendien hebben participerende bewoners soms verwachtingen van de overheid die niet zonder meer waargemaakt (kunnen) worden. Als zij hun inbreng niet duidelijk terugzien in door het gemeentebestuur gemaakte keuzes, kunnen zij bijvoorbeeld het gevoel hebben dat zij niet serieus genomen worden. Als het ontbreekt aan een representatieve groep participanten en/of de inwoners die wel participeren het gevoel hebben niet gehoord te worden, kan dat in de uitvoering tot problemen leiden.



## Ecologische en ruimtelijke factoren

### Ruimtelijke factoren op gebouwniveau

Voor veel Nederlandse gebouwen is ruimtebeslag van warmtepompsystemen, zowel binnen als buiten het gebouw, (nog steeds) een punt van aandacht. LT-radiatoren en -convectoren zijn vaak groter dan vergelijkbare hogetemperatuurinstallaties in bestaande gebouwen. Daarnaast is ruimtebeslag van leidingen, vloer- en wandverwarmingssystemen ook een punt van aandacht. Componenten van ventilatiesystemen kunnen ook veel ruimte innemen in de woning. En in de bestaande bouw leveren ruimtebeperkingen in bijvoorbeeld badkamers die nog niet aan renovatie toe zijn beperkingen c.q. hoge meerkosten op bij een energetisch optimaal concept. Installatie gaan in sommige woningen gepaard met het openbreken van muren en gevels.

Deze punten kunnen mogelijk voor een groot deel opgelost worden door het ontwikkelen van compactere deelcomponenten, door installaties gelijktijdig met isolatiemaatregelen te implementeren en door de integratie van deelcomponenten in prefab gebouwdelen. Denk bij dit laatste aan het integreren van warmtepompen, afgifte-, tapwater-, ventilatie- en warmteopslagsystemen ventilatie prefab gevels, muren, vloeren of daken.

### Ruimtelijke factoren op gebiedsniveau

De uiteindelijke keuze voor een warmteoplossing in de wijk heeft impact op de energienetten en daarmee ook op de openbare ruimte. De keuze voor een (volledig) elektrische (gebied)oplossing leidt bijvoorbeeld tot meer transformatorhuisjes in een wijk. Ook warmtebroninstallaties, -opwaarderingsinstallaties en -opslagsystemen kunnen ruimte in de wijk opnemen. Niet alleen bovengronds, maar ook ondergronds is ruimtegebruik een aandachtspunt. De aanleg neemt zelf ruimte in beslag en daarnaast is de ondergrond in Nederland vol met andere kabels en leidingen.

Ontwikkelen en bouwen van een warmtenet is een complexe ruimtelijke opgave. Hierbij gaat het vooral om de vraag hoe je een warmtenet boven- en ondergronds inpast én tegelijkertijd ruimte houdt voor andere opgaven zoals vergroening. In de praktijk betekent dit dat er al met de ruimtelijke inpassing begonnen moet worden voordat de businesscase rond is. Ook tijdens het proces moet er aandacht voor ruimtelijke inpassing zijn; zowel in de ontwikkelfase als in de bouwfase (werkstroken, bouwkuipen) en de exploitatiefase (beheerstroken, opstallen). Daarnaast is het van belang ook tijdens de uitvoering te zorgen voor voldoende ruimte.

### Ecologische factoren

Het op grote schaal uitrollen van windmolens, zonnepanelen, aqua- en geothermie en nieuwe elektriciteits- en warmtenetwerken brengt vele inpassingsvragen met zich mee. Eén daarvan betreft de impact op en wisselwerking met de levende natuur. Om deze wisselwerking goed te begrijpen en de natuur zo min mogelijk te schaden en waar mogelijk juist te versterken door de nieuwe technologie is verder onderzoek nodig.

Op het gebied van collectieve warmte en koudesystemen speelt vooral de ecologische impact van ondergrondse warmteopslag (HTO/ATES) en warmtebronnen zoals



geothermie (ondiep en diep) en aquathermie. De theoretische mogelijke effecten van dit soort technieken op ecologie en de grondwaterkwaliteit zijn inmiddels redelijk goed bekend. Dit is onder andere op grote schaal in WarmingUP onderzocht. Deze kennis komt echter voor een belangrijk deel uit laboratoriumonderzoek en praktijkgegevens zijn dus nog altijd zeer beperkt beschikbaar. Het is maar de vraag hoe de theorie zich vertaalt naar de praktijk voor verschillende systemen. Om deze kennisleemte verder in te kunnen vullen is het noodzakelijk om ingeschatte impacts op basis van lab-experimenten te vergelijken en verbinden met observaties uit een uitgebreide veldmonitoring, bij verschillende installaties.

In 2022-2023 coördineert TKI Urban Energy samen met EZK het opstellen van een Onderzoeksagenda ecologie voor de energietransitie op land en in de gebouwde omgeving. Deze onderzoeksagenda heeft tot doel om vast te stellen wat, op hoofdlijnen, de vragen zijn die de energietransitie op land en in de gebouwde omgeving oproept op ecologisch gebied. Daarnaast wordt verkend welke van deze vragen al beantwoord zijn en voor welke vragen reeds onderzoek loopt of onderzoeksgelden beschikbaar komen. Ten slotte wordt geadviseerd of en hoe de resterende vraagstukken beantwoord moeten worden.

## Financiële en economische factoren

Het Klimaatakkoord vraagt van gemeenten om zo te werken dat de maatschappelijke kosten het laagst zijn. Hiervoor moeten technieken zo optimaal en efficiënt mogelijk ingezet worden. Dit uitgangspunt impliceert bepaalde technische mogelijkheden en benaderingswijzen. Zo is het vanuit dit type denken wenselijk dat, wanneer er bijvoorbeeld een technisch-efficiënte mogelijkheid is voor een grootschalig warmtenet, daar ook zoveel mogelijk gebouwen op worden aangesloten. Zowel individuele voorlopers als achterblijvers kunnen dan remmend werken op zowel kostenefficiëntie als een efficiënte verdeling van warmte.

Verleiding wordt in het Klimaatakkoord als een belangrijk 'instrument' gezien om gebouweigenaren ertoe te bewegen hun gebouwen aardgasvrij te maken. Bij verleiding wordt gedacht aan een financiële tegemoetkoming, bijvoorbeeld door dekking van de onrendabele top. Daarnaast vraagt verleiding ook om rekening te houden met de overwegingen en wensen van de eigenaren en bewoners en om in te zetten op ontzorgen. We zien dat voorlopers al meerdere van deze strategieën gebruiken.

Het blijkt echter lastig en tijdrovend om iedereen met verleiding mee te krijgen. Er zijn dan ook critici die oproepen tot de mogelijkheid om eigenaren en gebruikers verplicht van het aardgas af te kunnen koppelen. De Crisis- en Herstelwet biedt, op basis van uitzonderingen, de mogelijkheid om op lokale schaal te verplichten om van het aardgas af te koppelen. Gebruik hiervan wordt door een deel van onze respondenten echter als onwenselijk of niet haalbaar gezien omdat dit het vertrouwen tussen de gemeente en bewoners kan aantasten en daarmee mogelijk het draagvlak kan ondergraven. Zij hebben er daarom een hard hoofd in dat lokale politici kiezen voor dwingende maatregelen. Bovendien wordt met zo'n verplichting de individuele keuzevrijheid



ingeperkt zonder dat duidelijk is hoe de kosten verdeeld worden. Of, en in welke vorm, een dergelijke verplichting wenselijk is, moet op nationaal niveau bepaald worden.

Gemeenten hebben momenteel een onvoldoende passend instrumentarium tot hun beschikking om de groei en versnelling van een wijkgerichte aanpak te ondersteunen. Verleiding vraagt om aanvullende acties om de wijkgerichte aanpak minder tijdsintensief te maken, zoals stappenplannen voor een aanpak, inclusief manieren om bewoners erbij te betrekken of 'ontzorgingspakketten' voor de eigenaren en bewoners. Ook meer dwingende maatregelen kunnen het proces efficiënter maken vanuit financieel en technisch perspectief, maar hebben bij niet-sensitieve toepassing mogelijk lokale weerstand tot gevolg.

De financiering van de warmtetransitie is voor veel betrokkenen nog onduidelijk. In de proeftuinen gaat de aardgasvrije transitie gepaard met hoge kosten voor gemeenten, eigenaren en netbeheerders. De beoogde woonlastenneutraliteit uit het Klimaatakkoord is op dit moment voor de meeste huishoudens niet haalbaar. Zelfs met het PAW-budget blijft het een zoektocht om de warmtetransitie voor betrokkenen voldoende financieel aantrekkelijk te maken. Relatief veel geld blijkt niet direct naar het verduurzamen zelf te gaan, maar naar 'het proces'. Het PAW-budget is niet alleen een subsidie voor de onrendabele investeringen, daarvoor zijn ook andere subsidiegelden, maar blijkt vooral leergeld voor de sociale kant van de warmtetransitie. Dat de proceskosten nog vrij hoog zijn, lijkt logisch; het PAW betreft een experiment in de beginfase van de warmtetransitie. Er moet nog veel geleerd worden: over hoe je burgers goed betrekt bij het aardgasvrij maken van hun wijken, over een reële en haalbare kostenverdeling, enzovoort. De idee achter het PAW is dat dergelijke processen in de toekomst door opgedane leerervaringen sneller en efficiënter kunnen verlopen, waardoor de kosten van de warmtetransitie dalen. Tegelijkertijd vraagt de financiële opgave om meer dan alleen leren. Het vraagt ook om keuzes over wie verantwoordelijk is voor welke kosten, wie garant staat voor financiële risico's en wie de extra kosten op zich neemt van eventuele financiële tegenvallers gedurende het proces. Deze keuzes zijn nog niet gemaakt.

## Institutionele factoren

Het bestaande wettelijke kader beperkt de warmtetransitie op twee verschillende manieren. Ten eerste is er knellende wetgeving, zoals de Europese aanbestedingsregels. Deze wet wil gelijke concurrentievoorwaarden scheppen voor alle ondernemingen op de interne markt, maar leidt er ook toe dat warmtecoöperaties of woningcorporaties de PAW-uitkering niet mogen ontvangen, terwijl het geld noodzakelijk is voor de uitvoering. Vrijstelling hiervan verloopt via de Europese Commissie en wordt als lang en ingewikkeld ervaren door de wijkinitiatieven. Ten tweede is er wetgeving die nog in ontwikkeling is en daarmee onduidelijkheid veroorzaakt in plaats van kaders en sturing biedt, zoals de Wet collectieve warmtevoorziening die ter consultatie heeft voorgelegen.

Het aanpassen van wet- en regelgeving kost tijd en is bovendien niet altijd wenselijk, bestaande wetgeving bestaat immers vaak voor goede redenen. Mede daardoor is het





niet gemakkelijk om de knelpunten waar proeftuinen tegenaan lopen snel op te lossen. Omdat het aanpassen van wetten en regels zo veel tijd kost, vinden betrokkenen het belangrijk dat bijvoorbeeld in een handreiking uiteen wordt gezet hoe de warmtetransitie binnen het huidige wettelijke kader vormgegeven kan worden. Zo hoeft niet ieder wijkinitiatief zelf het wiel uit te vinden. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat deze oplossing ook niet altijd (tijd)efficiënt is en dat het dus niet de bedoeling is dat deze werkwijze zelf het nieuwe normaal wordt. Uiteindelijk moeten de inzichten uit de proeftuinen immers bijdragen aan een beter passend wettelijk kader.

De regierol in de warmtetransitie vraagt veel van gemeenten. Dan gaat het zowel om het grote aantal medewerkers dat nodig is, als om de nieuwe rol die ze moeten oppakken en de nieuwe vaardigheden die zij daarvoor moeten leren. De beschikbare capaciteit op gemeentelijk niveau knelt op dit moment al en de verwachting is dat de vraag naar gemeentelijke inzet verder zal toenemen. Bovendien gaat de warmtetransitie gepaard met een grote verantwoordelijkheid voor gemeenten. De ruimte om te falen is klein, omdat gemeenten bewoners niet letterlijk in de kou willen laten staan. De decentralisatie van de warmtetransitie vraagt zodoende van de Rijksoverheid dat zij gemeenten voorziet van de juiste middelen om de verantwoordelijkheden van de transitie te kunnen dragen; de warmtetransitie is dus niet alleen een kwestie van gemeenten voorzien van informatie en mandaat, maar ook van de mogelijkheid om voldoende capaciteit aan te wenden voor de opgave. Naarmate de warmtetransitie verder vordert, moet er ook oog zijn voor beperkingen in capaciteit elders, zoals bij uitvoeringskrachten, warmtecoöperaties die (deels) op vrijwilligers draaien, en de beschikbaarheid en herkenbaarheid van uitvoeringskrachten zoals vakwerklieden (bijvoorbeeld middels een keurmerk).

Het Klimaatakkoord vormt het uitgangspunt voor het PAW. Terwijl het Klimaatakkoord breed gedragen wordt door de meeste politieke en maatschappelijke partijen, leeft de noodzaak van de aardgasvrijgave lang niet altijd onder alle buurtbewoners. Daardoor moeten de trekkers, zoals gemeenten en enthousiaste, participerende bewoners, steeds een eigen verhaal vertellen over het waarom van aardgasvrij. Ze voelen zich zodoende geregeld alleen staan en kunnen onvoldoende terugvallen op een breed gedragen verhaal over de nut en noodzaak van aardgasvrij. Consistent overheidsbeleid en een duidelijke toekomstvisie van de Rijksoverheid zouden hierbij kunnen helpen.



## 9. Communicatie, leren en disseminatie

### Communicatie, leren en disseminatie vanuit TKI Urban Energy

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.

### 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.

## Standardisatie en normering

Standardisatie draagt bij aan de impact van innovaties in MMIP 4. Binnen dit MMIP wordt voorzien in een integrale aanpak voor standardisatie 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) standardisatie is weergegeven in de onderstaande figuur. Oog voor standardisatie is belangrijk voor projecten binnen dit MMIP.





## 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 hebben deze Transitievisies eind 2021 opgesteld, zoals afgesproken in het Klimaatakkoord en vastgelegd in de omgevingswet. In Transitievisies Warmte wordt per wijk de route uitgestippeld voor een CO<sub>2</sub>-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 jaarlijks 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 m<sup>3</sup> aardgas een energiebesparingsplicht door de zogenaamde erkende maatregelen uit te voeren. Voor kantoren geldt de energielabel C plicht in 2023.



## Ad 1. Financiering

Deze bijlage is in overleg met het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van Binnenlandse Zaken opgesteld en is op navraag beschikbaar.



## Ad 2. Randvoorwaarden/beleid

Het inzetten van innovatieve warmte- en koudesystemen wordt op sommige fronten binnen de huidige marktmechanismen en wet- en regelgeving beperkt. Het is daarom belangrijk om verder te kijken dan de huidige wet- en regelgeving en om te begrijpen onder welke randvoorwaarden innovatieve warmte- en koudesystemen wel of niet kunnen functioneren en tot opschaling kunnen komen. De volgende randvoorwaarden en aandachtspunten voor beleid zijn geïdentificeerd bij elk deelprogramma.

### Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 1: warmtepompen

- Op peil houden van ontwikkelingsfondsen om de slag naar massaproductie, industrialisatie en robotisering én prefab units / energiemodules in Nederland te kunnen ondersteunen.
- 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. Denk aan het ontwikkelen van warmtepompen en warmtepompconcepten die bijv. door de ontwikkeling van slimme software tot een lager energiegebruik cq een lagere energierekening leidt, waardoor de subsidie omlaag kan. Maar ook innovaties die de algehele kostprijs dusdanig verlagen dat de ISDE subsidie (uiteindelijk) lager kan worden. Aandachtspunt hierbij is wel dat de ISDE niet te vroeg wordt verlaagd/afgeschaft.
- Door de relatief kleinere en korter lopende innovatieprojecten bij mkb-bedrijven is behoefte aan regelingen voor kleinere innovaties door bedrijven. In 2023 wordt dit gat gevuld met de TSE GO. Belangrijk om deze regeling te blijven herhalen.
- ISDE aanpassen om warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen of koudemiddelen met een zeer lage global warming potential (GWP) (als warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen echt niet toegepast kunnen worden in een bepaald gebouw met een bepaalde gebruiksfunctie) extra subsidie te geven. In het geval dat er toch een warmtepomp met een synthetische koudemiddel ondersteund wordt dan wel alleen voor koudemiddelen die over hun hele levensduur een zeer lage GWP hebben, dus niet een hogere GWP bij afbraak/hervorming in bepaalde luchtlagen hebben. Uitgangspunt daarbij moet zijn de GWP van het koudemiddel keer de hoeveelheid koudemiddel in het apparaat.
- Aanpassen van wetgeving rond toegestane hoeveelheden natuurlijke koudemiddelen in warmtepompen en de toegestane werkdrukken. Er wordt nu vanuit Europese wet- en regelgeving gewerkt aan doelstellingen om F-gassen uit te faseren (F-gassen verordening). Maar het is voorlopig nog niet duidelijk hoe deze verordening in zijn werk gaat. De vraag is ook of we in Nederland aanvullend beleid willen uitvoeren, dus eerder af willen bouwen dan de Europese wet- en regelgeving.





- Gefaseerde verbetering door aanscherping van de nationale en Europese eisen op alle genoemde KPI's in de KPI-tabel in deelprogramma 1: warmtepompen. Dit kan d.m.v. van wettelijke inbedding voor nieuwbouw en renovatie.
- Verbeteren en maken van normen voor het bieden van flexibiliteit aan het elektriciteitsnet. Het stimuleren van standaardisatie van 'taalgebruik' van flexibiliteitsprotocollen (zoals bij de ontwikkeling van het S2 protocol) kan hierbij helpen.
- Afdwingen van meer circulair ontworpen apparaten en/of businessmodellen, bijvoorbeeld via Eco-labelling of positieve stimulering via ISDE voor apparaten met betere score.
- (Financiële) ondersteuning voor opleidingstrajecten (kort en betaalbaar) voor installateurs. Hierover is EZK in gesprek met de sector (o.a. Techniek NL).
- Omtrent het produceren van warmtapwater (d.m.v. bijv. warmtepompboilers en combiwarmtepompen) is ondersteuning bij innovatieontwikkeling voor legionellapreventie een aandachtspunt. Hierbij speelt ook dat er zo snel mogelijk duidelijkheid moet komen over de uitwerking/toepassing van de geadviseerde legionellaregelgevingswijzigingen vanuit lenW. Voor meer informatie zie 'Deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen' (onder hoofdstuk 4) en 'Aandachtspunten voor beleid: tapwatersystemen' (hieronder).

## **Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 2: afgifte-, tapwater- en ventilatiesystemen**

### **Aandachtspunten voor beleid: afgiftesystemen**

- Kleinschaliger innovatieprojecten gericht op deelcomponenten kunnen blijven faciliteren met regelingen, omdat dergelijke innovatie zich minder leent voor grote integrale regelingen als MOOI. Bijv. d.m.v. een TSE GO.
- Op (lokaal) beleidsniveau moet meer bekendheid ontstaan over de optie om met betaalbare LT-afgiftesystemen de aanvoertemperatuur van warmtenetten lager dan de nu in veel gevallen gekozen 70 graden te krijgen. Wat hierbij kan helpen is het updaten van bestaande kengetallen in bijv. de Startanalyse.
- Voortzetten en/of ondersteunen van publiekscampagnes om meer bekendheid te geven aan de warmte- en koudetransitie.
- Ondersteunen van onafhankelijke monitoringsprogramma's ten aanzien van daadwerkelijke comfortbeleving en energieverbruik.

### **Aandachtspunten voor beleid: tapwatersystemen**

- Een herziening van de legionellaregelgeving (zoals de NEN-1006 tapwaternorm) is nu in gang. Dit MMIP erkent dat het voldoen aan legionella-eisen een belangrijke randvoorwaarde is voor de energietransitie i.v.m. 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.
- In het Bouwbesluit wordt voor toepassing van de NEN 1006 het gelijkwaardigheidsprincipe gehanteerd. Dit betekent dat er ruimte is voor



alternatieven, zolang deze dezelfde mate van veiligheid bieden als de eisen uit de NEN 1006. Er is echter geen (gedragen) toetsingskader om dergelijke alternatieven daadwerkelijk te toetsen op gelijkwaardigheid voor waterveiligheid. Er wordt aanbevolen om een dergelijk toetsingskader te ontwikkelen, zodat deze gelijkwaardigheid aangetoond kan worden bij innovaties. Ook wordt aanbevolen om hierbij niet alleen naar waterveiligheid te kijken maar ook naar de beheersbaarheid van nieuwe oplossingen en de totale milieu-impact (LCA) ten opzichte van een thermische barrière. BZK zal een belangrijke rol moeten spelen in (het coördineren van) de ontwikkeling van zo'n toetsingskaders i.s.m. IenW, EZK en andere partners.

- Daarnaast moet de functionele eis van warmtapwater uit de tap veranderd worden. De eis voor water uit het tappunt kan, net zoals in veel omringende landen (zoals België), omlaag. Dit is ook verantwoordelijker i.v.m. brandveiligheid. Om succesvol te komen tot duurzame én veilige warmtapwaterinnovaties is betrokkenheid nodig van verschillende ministeries die een relatie hebben met de energietransitie, (woning)bouw en waterveiligheid (BZK, IenW, EZK) en essentiële sectoren zoals de drinkwatersector, technologiesector en de installatiesector.
- Op dit moment ervaren bedrijven veel administratieve lasten door de normen en wetgeving die er nu zijn. Om tijd en kosten te besparen is het verstandig om te kijken of deze administratieve lasten verlaagd kunnen worden. Dit komt nu o.a. doordat er bij (lokaal) bevoegd gezag voldoende kennis ontbreekt om toestemming te geven voor pilots met LT-warmtapwatertechnieken. Er is dus meer kennis nodig bij (lokaal) bevoegd gezag over het thema warmtapwater binnen de energietransitie en hun rol bij bijvoorbeeld vergunningsprocessen en gelijkwaardigheidsverklaringen.
- In de monitoring van de energietransitie is warmtapwater vaak niet separaat beschouwd. Het ontbreken van betrouwbare cijfers over warmtapwaterbereiding in Nederland maakt het lastig om nauwkeurig te bepalen wat de invloed is van warmtapwaterbereiding op de energietransitie in Nederland (zoals deze studie). Er wordt daarom aanbevolen om beter vast te leggen op welke manier warmtapwater bereid wordt, in plaats van alleen de "hoofdverwarmingsinstallatie" te registreren, zoals het CBS nu doet.

### **Aandachtspunten voor beleid: ventilatiesystemen**

- 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).
- Ondersteunen van onafhankelijke monitoringsprogramma's ten aanzien van daadwerkelijke binnenluchtkwaliteit en energieverbruik. Beter isoleren gaat in de bestaande bouw nog te vaak ten koste van de kwaliteit van de binnenlucht. Ook het belang van de integratie/samenwerking van kookafzuiging met de overige ventilatie is veelal onderbelicht. Er is meer bekendheid en regelgeving op dit thema nodig.
- Verbeteren van kennisdeling over wat een duurzaam én gezond binnenklimaat is richting zowel de professionele markt als voor consumenten en daarmee het belang van een goede ventilatie meer bekendheid geven.



## Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 3: kleinschalige warmteopslag

- 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 c.q. 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.
- Financiële ondersteuning, bijvoorbeeld in ISDE, voor nu nog duurdere voorraadvaten die een veel lager warmteverlies hebben en/of (veel) meer energie in een woning kunnen bufferen dan de gangbare boilervaten.

## Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 4: duurzame warmte- en koudenetten

- Het belangrijkste beleidskader in dit thema is de warmtewet, waarvan de opvolger Wet collectieve warmtevoorziening in 2024 in werking moet treden. Veel stakeholders geven aan dat het belangrijk is om dit proces te versnellen, omdat het nu onzekerheid en daardoor vertraging van projecten veroorzaakt. Na een internetconsultatie in de zomer van 2020 is veel ophef ontstaan, vooral bij de grote warmtebedrijven. In een kamerbrief in oktober 2022 heeft de minister aangekondigd dat gemeenten alleen warmtebedrijven voor een nieuw warmtekavel kunnen aanwijzen waarbij de infrastructuur in handen is van publieke partijen of waarbij publieke partijen door een meerderheidsaandeel in het warmtebedrijf doorslaggevende zeggenschap hebben over de infrastructuur. Volgens de laatste berichten is de inwerkingtreding van de wet opnieuw uitgesteld tot 1 juli 2024 en op 1 januari 2025 volgt een nieuwe tariefregulering.
- Warmtenetten zijn met de huidige regelgeving en beprijzing duurder dan de all-electric route. Op nationale schaal lijkt zich een probleem af te tekenen in perioden van 'dunkelflaute' omdat (vooral L/W) 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 de aanleg van warmtenetten verregaand te 'socialiseren' (verder dan met de begin 2023 geïntroduceerde WIS-regeling) 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 altijd 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 hun warmte van afvalverbranding (50% van CO<sub>2</sub>-uitstoot meerekenen) en/of biomassastook (0% CO<sub>2</sub> uitstoot) ontvangen 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' CO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>/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.

- Het belang van koude blijft (voorlopig) onderbelicht in beleid. Er wordt te veel alleen over warmtetransitie gesproken, terwijl studies van KNMI laten zien dat het klimaat steeds warmer wordt. Dit belang is inmiddels bij verschillende ministeries (EZK, BZK) in beeld. Er wordt nu gewerkt aan de uitvoering van een Kennisagenda toekomstige koudebehoefte, waarmee er in het komende jaar in beeld wordt gebracht wat voor beleidskeuzes er t.a.v. koude gemaakt moeten worden.
- Verdere concretisering van de Warmtetransitievizies is van belang voor het creëren van handelingsperspectief voor bewoners. Bijvoorbeeld door duidelijkheid te geven over het verwachte eindbeeld (bijv. over de beschikbaarheid van aardgas) en de no-regret acties die bewoners al kunnen nemen in voorbereiding daarop (isolatie, afgifte, evt. tussenstap hybride).
- De eerste WIS-regeling wordt nu in 2023 uitgevoerd en was al op de eerste dag overtekend. Bij het uitvoeren van deze regeling zullen vragen ontstaan of de regeling in deze opzet voldoende functioneert en welke lessen er uit het proces gehaald kunnen worden. Bij de formulering van de nieuwe rondes van de WIS-regeling zullen deze geleerde lessen aandachtspunten zijn.
- 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. Maar denk ook aan nieuwe juridische vraagstukken waar (nog) veel onduidelijkheden over zijn zoals of en hoe je een dijklichaam mag doorkruisen of horizontaal onder een weg mag boren.
- 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.
- Diverse procedures, zoals vergunning- en aanbestedingsprocedures, duren nu heel lang en zijn vaak onzeker. Hierdoor duren projecten langer en stijgen de kosten wordt de tijd en duurder.
- Onzekerheden rondom de gevolgen en (juridische) uitwerking van het Acantus-arrest leidt tot een moeilijkere businesscase en vertraging.

## Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 5: grootschalige warmteopslag

- Aanpassingen van wet- en regelgeving zijn nodig om ondergrondse MT- en HT-warmteopslag in aquifers 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 nog niet toegestaan. Deze situatie vereist aandacht. Een ander aandachtspunt bij het uitbreiden van de SDE++-regelgeving is het toevoegen van meer categorieën voor vollasturen. Dit is belangrijk voor de verduurzaming van midden- en pieklasten van warmtenetten, waar warmteopslag een belangrijke rol in kan spelen. Maar de inzet van deze technologieën voor deellast gaat gepaard met hogere kosten. CE Delft voert i.o.v. de Samenwerkingstafel een opdracht uit die de analyse moet aanscherpen om financieringsinstrumentarium hierop te herijken.
- 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 warmte- en koudenetten) 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 op reeds lopende programma's.

## Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 6: geothermie

De geothermiesector heeft 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 volloopriscico is voor geothermie hier een belangrijk onderdeel van. Overigens is het volloopriscico een knelpunt dat zich niet



alleen tot geothermiebronnen beperkt en collectieve warmte- en koudeprojecten kunnen dit risico voor een deel d.m.v. bestaande instrumentaria (zoals de WIS-regeling) adresseren. Maar de bijdrage van de WIS-regeling is beperkt omdat (de risico's van) warmtebronnen in collectieve warmteprojecten niet door deze regeling gedekt worden.

- 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.
- In aanvulling hierop, de garantieregeling 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, maar ook op de exploratie van de ondiepere bodem (500-1500 meter). 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.

## **Aandachtspunten voor beleid deelprogramma 7: lagetemperatuurwarmtebronnen**

- Algemeen geldt voor bodemwarmte en aquathermie (uit oppervlaktewateren) dat onzekerheden over de effecten van benutting van deze lokale bronnen t.a.v. onder meer de ecologie en de drinkwatervoorziening een grote belemmering zijn bij het benutten van lokale bronnen. Vergunningverlening vindt lokaal plaats en onderzoeken worden veelal lokaal uitgevoerd. Er is meer nationale en gecoördineerde aandacht nodig voor kennisontwikkeling op dit terrein om zicht te krijgen op de (on)mogelijkheden van deze bronnen om de opschaling in te zetten.



### Aandachtspunten voor beleid: bodemwarmte

- 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. Van belang hierbij is om dit beleidskader zodanig op te zetten dat het geen nieuwe drempels opwerpt, maar juist de toepassing - door de coördinatie/gemeentelijke regie – stimuleert. Ook combinaties met ondergrondse MT- en HT-warmteopslag moeten in dit beleidskaders worden opgenomen. Dit beleidskader wordt nu verder binnen de ministeries EZK en I&W uitgezocht.
- 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 t.a.v. onder meer de warmte- en koudeonttrekking en onbalans, normen voor de afdichting van kleilagen, boren in drinkwatergebieden, e.d., blijft een aandachtspunt.

### Aandachtspunten voor beleid: aquathermie

- 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).

### Aandachtspunten voor beleid: zonthermie

- 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.



- Zonneboilers verduurzamen vooral de energievraag voor tapwaterbereiding, de nieuwe normen per 2026 betreffen daarentegen puur ruimteverwarming. De focus verschuift daarmee naar de hybride warmtepomp.
- Voor zonnewarmte in SDE++ geldt dat de subsidiabele jaarproductie niet altijd wordt gerealiseerd, waardoor in de praktijk soms niet alle SDE++ geclaimd kan worden. Stijgende prijzen (materiaal, arbeid) zorgen ervoor dat investeringskosten voor zonnewarmte hoger worden, daardoor zouden de SDE++ basisbedragen voor inflatie gecorrigeerd moeten worden. Seizoenswarmteopslag bij zonnewarmtesystemen is nu niet in SDE++ meegenomen, daar zou een aparte categorie voor gedefinieerd kunnen worden.
- Om de businesscase van zonnewarmte verder te verbeteren zou een btw-vrijstelling op de investering in een zonneboiler overwogen kunnen worden. Daarmee zou btw-omgang voor de zonneboiler gelijkgetrokken worden met de regeling zoals die voor zon-pv is. De Belastingdienst ziet particulieren die stroom terugleveren als kleine ondernemers, dus voor zonneboilers is de situatie net even anders. Maar het voornemen is om de btw op zon-pv naar 0% te brengen.

### Aandachtspunten voor beleid: restwarmte

- Het ophaalrecht dat is voorzien in de nieuwe Wet collectieve warmtevoorziening zal verder uitgewerkt en met name 'werkbaar' gemaakt moeten worden. Onder meer juridisch, qua businesscases en bijv. in combinatie met SDE++ en andere subsidies. De invulling en 'werkbaarheid' van het ophaalrecht worden in 2023 door EZK i.s.m. een diverse klankbordgroep uitgewerkt.
- 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. De nieuwe Europese 'Energy Efficiency Directive' (EED) geeft hiervoor een goede grondslag voor de verdere uitwerking en implementatie van richtlijnen op dit thema.
- 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 warmte- en koudenetten: veel kleine bronnen maken ook één grote. Bij uitwisselingsnetten zoals bijvoorbeeld het Mijwaternet leveren gebouwen, een supermarkt, een datacenter en warmte- en koude bronnen in mijngangen een mix op waarmee het warmtenet wordt gevoed en gebalanceerd.





## 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'<sup>10</sup>.

In nauwe samenwerking met RVO is in 2020 de cyclus van de portfolioanalyse (inclusief data- en informatieverzameling) voor het eerst volledig doorlopen. Deze cyclus is in 2021, 2022 en 2023 nogmaals doorlopen. In samenwerking met de Programma Adviescolleges (PAC) zijn er in 2020, 2021, 2022 en 2023 van elk MMIP van TKI Urban Energy herziene versies tot stand gekomen. De herziene versies zijn mede namens de voorzitters van de PAC's voorgelegd aan het Missie Innovatieteam Gebouwde Omgeving. Dit MI-team heeft de herziene versies deze jaren telkens vastgesteld. De herziene MMIP's staan (wederom) aan de basis van innovatieregelingen voor de gebouwde omgeving.

Het Programma Adviescollege van MMIP 4 bestaat per 2023 uit de volgende personen: (voorzitter), Robert Jan van Egmond (verantwoordelijk programmamanager), David van Petersen (Innovatieanalist), Charles Geelen, Johan van Bael, Erik Caelen, Maurice Hanegraaf, Rob Kotte, Ivo Pothof, Luc Brugman, Jorien Schaaf, Johan Slobbe (en Sabine Jansen), Marette Zwamborn, Jentse Hoekstra (en Hester Dijkstra) en Marion Bakker.

*Aan (eerdere edities van) 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), 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), Gerdi Breembroek (RVO), Gijs de Man (Stadverwarming Purmerend), Henk Looijen (Rijkswaterstaat), Henk Visscher (TU Delft), Herm van der Beek (EZK), Hester Dijkstra (EZK), Jentse Hoekstra (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

---

<sup>10</sup> 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'.



Goemans (EZK), Lex Bosselaar (RVO), Luuk Beurskens (TNO), Maarten de Vries (TKI Urban Energy), Marcel Hoek (NWO), Mari van Dreumel (I&W), Marion Bakker (RVO), Marle Zijlstra (EZK), Marleen Spiekman (TNO), Martin Bloemendal (KWR & TU Delft), Martin van der Hout (DAGO), Nora Heijnen (EBN), Paul Klaassens (BZK), Paul Ramsak (RVO), 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](mailto:robertjan@tki-urbanenergy.nl)) of met David van Petersen, Innovatieanalist Duurzame Warmte en Koude ([david@tki-urbanenergy.nl](mailto:david@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](mailto:info@tki-urbanenergy.nl)  
**T** [www.tki-urbanenergy.nl](http://www.tki-urbanenergy.nl)

---

