



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

Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma

6 september 2019



Inhoudsopgave

1 Samenvatting	3
2 Inleiding	5
3 Samenhang van de deelprogramma's binnen het MMIP	7
4 Doel MMIP en samenhang van de deelprogramma's	12
Doel MMIP	12
Samenhang deelprogramma's	12
Samenhang met andere MMIP's	14
5 Innovatieprogramma	18
Nationale en internationale stand van zaken	18
Ontwikkelingen korte en lange termijn	19
Instrumenten en financiering	21
Regelingen per technologie	24
4 Beschrijving van de deelprogramma's	36
Deelprogramma 1: warmtepompen	36
Deelprogramma 2: afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen	43
Deelprogramma 3: warmtebatterij	49
Deelprogramma 4: duurzame warmtenetten	56
Deelprogramma 5: Grootschalige thermische opslag	60
Deelprogramma 6: geothermie	65
Deelprogramma 7: LT bronnen zoals aquathermie en zonthermie	71
5 Colofon	78



1 Samenvatting

Missie en tussendoel

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

- 1,5 miljoen bestaande woningen aardgasvrij;
- 15% van de utiliteitsbouw en het maatschappelijk vastgoed aardgasvrij;
- verduurzaming van de warmtevraag in de glastuinbouw door geothermie, seizoensopslag en lagetemperatuurbronnen (1 Mton CO₂-besparing in 2030).

Deze doelen moeten samen een CO₂-besparing van 3,5 Mton in 2030 mogelijk maken. In 2050 moet de gebouwde omgeving volledig CO₂-vrij zijn en geen gebruik meer maken van fossiele brandstoffen voor het verwarmen van gebouwen.

Relatie met klimaatakkoord

De Sectortafel Gebouwde Omgeving heeft bijgedragen aan de hoofdlijnen van Het Klimaatakkoord, en heeft daarbij veel aandacht voor de opgave om een CO₂-neutrale gebouwde omgeving te realiseren. Het grootste deel van het energiegebruik in de gebouwde omgeving is warmte; momenteel ongeveer 40% van de energievraag. De grootste uitdaging binnen deze missie is dan ook om de warmtevraag te verduurzamen. Er zijn twee routes om dit doel te realiseren:

- Renovatieconcepten gebaseerd op vergaande isolatie in combinatie met elektrificatie, door middel van compacte warmtepompen, ventilatiesystemen en compacte warmteopslag. Dit is een individuele manier van duurzaam verwarmen;
- De ontwikkeling van collectieve warmtenetten met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, biomassa en lagetemperatuurbronnen in combinatie met seizoensopslag van warmte.

MMIP 3 draagt bij aan de industrialisatie en opschaling van renovatieconcepten. MMIP 4 richt zich op de ontwikkeling van individuele warmteproductie- en opslagsystemen en op grootschalige collectieve warmtenetten in combinatie met duurzame bronnen en grootschalige opslag van warmte.

Dit programma heeft als doel om een competitief en aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor eindgebruikers in de woningbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw te ontwikkelen. Dit aanbod bestaat onder meer uit de ontwikkeling van een nieuwe generatie apparaten en systemen voor verwarmen en koelen en voor warm tapwater in de bestaande bouw. Die systemen moeten qua omvang, comfort (geluid, thermisch), inpasbaarheid en betaalbaarheid zodanig afgestemd zijn op de gebruikers, dat zij tijdig de eigen verwarming overzetten naar aardgasvrij. Ook moeten ze in onderlinge samenhang met renovatieconcepten worden ontwikkeld. Warmtepompen zijn belangrijk in gebieden die inzetten op elektrificatie. Ze leveren ruimteverwarming en tapwater in combinatie met collectieve lagetemperatuurbronnen en dragen (in de hybride varianten) bij aan de transitie naar duurzame warmte.

Naast deze individuele oplossingsrichting richt MMIP4 zich ook op het ontwikkelen van een aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor collectieve warmte systemen op wijk- en



regionaal niveau. Deze collectieve oplossingen zijn vooral noodzakelijk voor woningen in (binnen)stedelijk gebied, in de utiliteitsbouw en glastuinbouw. Ook bij deze collectieve warmtesystemen is grootschalige warmteopslag noodzakelijk om een mismatch tussen beschikbaarheid van warmte en de vraag ernaar te overbruggen op korte en lange termijn. Ook is opslag en buffering van warmte belangrijk om de dimensionering, de kosten en het ruimtegebruik van netten en installaties te beperken, en om efficiënter gebruik te maken van het opgesteld vermogen en om pieken in de warmtevraag op te vangen.

Het ontsluiten van nieuwe, duurzame warmtebronnen is nodig om de sterk groeiende vraag naar duurzame warmte in te vullen. MMIP 4 richt zich vooral op geothermie, lagetemperatuurbronnen zoals aquathermie, zon-thermische systemen en duurzame vormen van restwarmte zoals datacentra. Het ontwikkelen van meerdere type warmtebronnen met een verscheidenheid aan temperatuurniveaus, vraagt om nieuwe inzichten in het ontwerp van het warmtesysteem en om het slim aansturen van vraag, aanbod en opslag. Om te kunnen werken bij lage temperaturen, wordt een afweging gemaakt over de hele keten, dus inclusief de benodigde isolatie van woningen. De innovaties zijn zowel sociaal als technisch sterk onderling verbonden.



2 Inleiding

Dit MMIP hoort bij het programma van de sectortafel Gebouwde Omgeving en draagt bij aan missie B waarin wordt gestreefd naar een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050. Warmtesystemen zullen een belangrijke rol spelen in dit doel, aangezien ongeveer 40% van de huidige energievraag in de gebouwde omgeving van warmte komt. Daarnaast richt dit MMIP zich ook op technische en socio-economische innovatie voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen binnen woningen, utiliteitsbouw en glastuinbouw.

Als tussenstap voor de bovengenoemde missie, moet in 2030 1,5 miljoen woningen en 15% van de utiliteitsbouw en het maatschappelijk vastgoed aardgasvrij zijn. Het tempo moet naar minimaal 200.000 aardgasvrije bestaande woningen per jaar. Om deze ambities te halen, moeten bestaande systemen en apparaten worden verbeterd op de korte termijn (binnen vijf jaar beschikbaar) en nieuwe concepten worden (door)ontwikkeld (na vijf jaar beschikbaar).

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

Het MMIP bestaat uit zeven deelprogramma's: (1) stille, compacte, slimme en kostenefficiënte warmtepompen, (2) afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen, (3) slimme compacte warmtebatterij, (4) duurzame warmtenetten, (5) grootschalige thermische opslag, (6) geothermie en (7) lagetemperatuurbronnen zoals aquathermie. Hierbij kunnen programma 1 tot en met 3 worden gezien als een individuele duurzame oplossing, en zitten in deelprogramma 4 tot en met 7 innovaties voor een collectieve warmtevoorziening. Beide voorzieningen zijn nodig om in 2050 een aardgasvrije gebouwde omgeving te creëren.

In de komende drie tot vijf jaar zal er gewerkt worden aan het in kaart brengen van de potentie van het ontsluiten van nieuwe duurzame warmte (en koude) bronnen, zoals aquathermie, geothermie en thermische zonne-energie. Deze bronnen kunnen als invoer dienen voor een duurzaam warmtenet, maar ze kunnen nog geoptimaliseerd worden door bijvoorbeeld meerdere bronnen aan te sluiten en de vraag en het aanbod slimmer te sturen. Ook wordt er veel potentie voorzien voor lagetemperatuurnetten. Hierbij komt ook de opslag van warmte/koude aan bod; collectief door middel van een vat op wijkniveau of kleinere tankjes per huishouden. Daarnaast zullen bestaande warmtepompen worden verbeterd om ze compacter, stiller en goedkoper te maken en zullen nieuwe principes zoals thermo-akoestisch of magnetocalorische warmtepompen worden ontwikkeld. Ook moet het nut van ventilatie benadrukt blijven. Door verbeterde isolatie van woningen kunnen fijnstof en kookemissies zorgen voor een ongezonde leefomgeving. Daarnaast kan een betere warmteoverdracht van bijvoorbeeld verwarmingen zorgen voor een lager energiegebruik.



Met behulp van de innovaties binnen dit MMIP, kunnen gemeenten en huiseigenaren duurzame warmte voor elk type wijk of gebouw krijgen. De uitvoering van de deelprogramma's vraagt om intensieve samenwerking tussen gemeenten, bouw- en installatiesector, kennisinstituten en gebouweigenaren. Alleen samen kunnen we het doel bereiken en een aardgasvrije gebouwde omgeving creëren zonder comfort op te geven. Een uitgebreide beschrijving per deelprogramma van de doelstellingen, innovaties, korte- en langetermijnontwikkelingen kan gevonden worden in hoofdstuk 5.



3 Samenhang van de deelprogramma's binnen het MMIP

Dit programma richt zich op de ontwikkeling van individuele warmteproductie- en opslagsystemen en op grootschalige collectieve warmtenetten in combinatie met duurzame bronnen en grootschalige opslag van warmte. Binnen MMIP4 zijn zeven deelprogramma's geformuleerd die verschillende innovatievragen hebben. De deelprogramma's werken nauw samen om de missie voor dit MMIP te behalen. De volgende deelprogramma's zijn geformuleerd:

- Stille, compacte, slimme en kostenefficiënte warmtepompen
- Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen
- Slimme compacte warmtebatterij
- Duurzame warmtenetten
- Grootschalige thermische opslag
- Geothermie
- Lagetemperatuurbronnen (LT) zoals aquathermie en zonthermie

Binnen MMIP4 is sprake van geïntegreerde aanpak, waarin deelprogramma's 4.1 tot en met 4.3 zich richten op gebouwgebonden oplossingen. Een goede inpassing van installaties in gebouwen en renovatieconcepten is belangrijk. Aandachtspunten hierbij zijn het standaardiseren van aansluitingen, het modulair maken van de componenten, het compact houden van het totale systeem, garanties voor prestaties en de certificering van kwaliteit.

Deelprogramma's 4.4 tot en met 4.7 richten zich op collectieve systemen. Systeemintegratie is een belangrijk thema dat wordt geadresseerd in deelprogramma 4.4 (Duurzame warmtenetten). Het inpassen van verschillende warmtebronnen, het invullen van de piekvraag, het matchen van vraag en aanbod en het betrekken van de eindgebruikers zijn hierbij belangrijke vraagstukken.

Generieke doelstellingen voor alle deelprogramma's zijn kostenreductie en de beschikbaarheid van de technologieën tegen lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50% voor individuele oplossingen en 20% voor collectieve systemen tot 2030). Daarnaast is tempoversnelling en opschaling belangrijk. Dit wordt gerealiseerd door deze optie aantrekkelijker te maken, door goedkopere en snellere aanlegmethodes te ontwikkelen, en door installatiegemak, industrialisatie en kostenverlaging te realiseren.

Concrete doelen per deelprogramma zijn weergegeven in onderstaande tabel.



Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten	Planning			Fase / TRL				Financiering		
			'20-'23	'23-'26	'26-'30	1-3	4-6	7-8	9-9+	Totale kosten	Geschikt instrument	
4.1. <i>Stille, compacte, slimme en kostenefficiënte warmtepompen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Verlagen geluidsproductie - Verhogen rendementen: verwarming, warm tapwater en koeling - Kleiner maken warmtepomp + opslag - Verlagen productie- en installatiekosten - Verlagen milieudruk/GWP van warmtepomp 	Activiteit 1: (Door)ontwikkeling warmtepompconcepten met een geïntegreerde aanpak waarin ontwerp en integratie in bijv. de gevel of dak, compacte opslag, warmteafgifte, warmtepompen, zonnepanelen en/of ventilatie zijn samengebracht in één systeeminnovatie.					↔	↔			TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe	
		Activiteit 2: Kostprijsverlaging in productie, levering en installatie van warmtepompsystemen. Hieronder vallen ook goedkopere bodemplussen.						↔	↔			TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, ISDE, Horizon Europe
		Activiteit 3: Optimaliseren van materiaaleigenschappen voor de toepassing in warmtepompen. Voorbeelden zijn de magnetocalorische materialen en thermochemische materialen voor hogere systeemopbrengst.				↔	↔					
4.2. <i>Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Efficiënter maken van gecombineerde koeling, verwarming- en ventilatie units - Slimme ventilatie concepten - Kwaliteitskader, meetmethodes en <i>data analytics</i> die leiden tot het realiseren van de beloofde prestaties in de praktijk. - Verbeterde warm tapwater systemen 	Activiteit 1: Gecombineerde, geïntegreerde en geoptimaliseerde ventilatie-apparaten en systemen waarin compacte opslag, warmtepomp en afgifte, en/of zonnepanelen systeem en/of warmtenet zijn samengebracht voor de bestaande bouw, U-bouw en kassen.					↔	↔			TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe	
		Activiteit 2: doorontwikkeling afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen: miniaturisatie, stiller, esthetisch aantrekkelijker, kostprijsverlaging voor de bestaande bouw, U-bouw en kassen.						↔	↔			TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe
		Activiteit 3: Integraal product-dienst-aanbod incl. ontwikkeld kwaliteitskader, meetmethodes en <i>data analytics</i> die leiden tot het realiseren van de beloofde							↔	↔		

		prestaties (efficiency en gezondheid) in de praktijk voor bestaande bouw, U-bouw en kassen.										
4.3. Slimme compacte warmtebatterij	<ul style="list-style-type: none"> - Optimale systeem integratie van water- en PCM-gebaseerde opslag (korte termijn) - TCM materiaal dat goedkoop en met gegarandeerde prestatie op industriële schaal geproduceerd kan worden (lange termijn) - Pilot demonstratie van de eerste TCM-gebaseerde warmtebatterij in Nederlandse woonwijken 	Activiteit 1: materiaal optimalisatie, gegarandeerde mechanische stabiliteit en verhoging vermogen bij grootschalige productie					↔ ↔				NWO, DEI+, ISDE, Horizon Europe	
		Activiteit 2: reactor, prestatie optimalisatie en kostenreductie huidige reactor principes					↔ ↔				TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe	
		Activiteit 3: Systeemintegratie van de warmtebatterij, identificatie van de optimale configuratie(s) in het lokale en centrale energiesysteem en ontwikkeling van regel strategieën.						↔ ↔				TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, Horizon Europe
		Activiteit 4: demonstratie/pilot van de warmtebatterij in woningen en wijken (bijvoorbeeld in de context pilot wijken)						↔ ↔				TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, Horizon Europe
4.4. Duurzame warmtenetten	<ul style="list-style-type: none"> - Van hoge temperatuurverwarming naar midden en lage temperatuurverwarming. - Investeringskosten reduceren - Het inschakelen van meerdere bronnen in een warmtenet om zo verduurzaming te stimuleren 	Activiteit 1: Ontwerpmethodes voor warmte(koude)netten met gedistribueerde bronnen (zonthermisch, geothermie, aquathermie bio, restwarmtebronnen zoals datacenters, etc.)					↔ ↔ ↔				TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe	
		Activiteit 2: Optimalisatie aanbodsturing energiebesparing warmte én (toenemende) koude vraag, onderling uitwisseling op gebiedsniveau, opslag, regelstrategieën en piekoplossingen voor kostenreductie.						↔ ↔ ↔				TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe
		Activiteit 3: kosten reducerende aanlegmethodes en materialen voor bestaand gebied i.c.m. andere ruimtevragers, <i>non invasive inner city surgery</i> en methoden om bij bestaande bouw aan te sluiten							↔ ↔			

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

		Activiteit 4: Socio-economische innovaties, samenwerkingsvormen, verdienmodellen voor partijen binnen een collectief systeem						↔ ↔	TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, MMIP, DEI+, Horizon Europe
4.5 Grootschalige thermische opslag	<ul style="list-style-type: none"> - Wegnemen van technische, juridische en bedrijfseconomische belemmeringen van ondergrondse warmteopslag; - Inzicht hebben in de effecten voor het verantwoord kunnen toepassen van ondergrondse warmteopslag; - Succesvolle demonstratie ondergrondse warmteopslag 	Activiteit 1: Potentieel & inpassing voor ondergrondse opslag						↔ ↔	TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, MMIP, Horizon Europe, TU Delft
		Activiteit 2: Begrijpen en beheersen milieu impact, begrijpen van fysische en chemische processen die optreden in de bodem bij grootschalige warmte opslag op hoge temperaturen. Ontwikkeling monitoringskader voor warmteopslag.						↔ ↔ ↔	TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, MMIP, Horizon Europe
		Activiteit 3: Kostenverlaging door aantonen efficiency (>75%) door toepassing op grote schaal (optimaliseren van de technologie en ontwerp)							↔ ↔
4.6 Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> - Bijdragen aan opschaling en kostenreductie voor aardwarmte in glastuinbouw en de gebouwde omgeving; - Vergroten veiligheid en reduceren van de risico's over de <i>lifetime</i> van een geothermieproject; - Succesvol toevoegen van aardwarmte aan en inpassen in de 	Activiteit 1: verdieping kennis van de diepe ondergrond onder andere door data acquisitie voor gebieden met veel warmtevraag en weinig geologische data met innovatieve exploratietechnieken.						↔ ↔ ↔	TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe
		Activiteit 2: Kostprijsreductie Gedacht kan worden aan ontwikkelen <i>fit-for-purpose</i> putontwerpen, verlengen levensduur put, reservoir stimulatie, ESP optimalisatie of alternatieven, verbeteren drilling technieken , optimale ontwerp bovengrondse infrastructuur gebouwde omgeving.							↔ ↔ ↔

	bronnenstrategie voor warmtenetten.	Deze paragraaf wordt n.a.v. IKPA startanalyse verder aangescherpt.									
		Activiteit 3: Efficiënte en duurzame exploratie-, ontwikkel- en productiestrategieën (bv. field development)					↔ ↔ ↔				NWO, TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe
		Activiteit 4: Het op basis van gerichte pilots of demonstratieprojecten (in samenwerking met warmtebedrijven) bijdragen aan de versnelde inpasbaarheid van aardwarmte in de gebouwde omgeving.					↔ ↔ ↔				TNO/ECN, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe
4.7 <i>Laagtemperatuur (LT) bronnen zoals aquathermie</i>	- In kaart brengen en ontsluiten van kansrijke laagtemperatuurbronnen. - Onderzoek naar grootschalige opslag van aquathermie en andere laattemperatuurbronnen - Inpassing van verschillende bronnen in slimme en duurzame warmtenetten	Activiteit 1: ontwikkeling en kostprijsverlaging van grootschalige laagtemperatuur warmte concepten zoals aquathermie, in combinatie met individuele of collectieve warmtepompen en aansluiting op warmtenetten.					↔				TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe
		Activiteit 2: Onderzoek naar lange termijn effecten van aquathermie, op de omgeving en het watersysteem waaruit warmte en koude onttrokken wordt. Ook voor cumulatieve effecten van toepassing van aquathermie voor zowel de warmtelevering als de omgeving en het watersysteem.					↔ ↔				TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe
		Activiteit 3: systeemintegratie: koppeling, inpassing en optimaal gebruik van laagtemperatuurbronnen aan warmtenetten.					↔ ↔				TNO/ECN/Deltares, PPS, TSE, MIT, HER, MMIP, DEI+, SDE++, Horizon Europe

4 Doel MMIP en samenhang van de deelprogramma's

Doel MMIP

Dit MMIP richt zich op technische en socio-economische innovaties voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen. Het doel is het verbeteren van bestaande type apparaten en systemen (binnen vijf jaar beschikbaar), het ontwikkelen van nieuwe concepten en bijbehorende diensten (na vijf jaar beschikbaar), en tenslotte enthousiaste gebruikers. Meer specifiek zijn dit de doelen:

- Het realiseren van vier hoofdconcepten voor warmte en koude bij renovatie: (1) elektrificatie door middel van warmtepompen; (2) een warmtenet; (3) warmteopslag en (4) duurzaam gas en combinaties daarvan;
- De toepasbaarheid in bestaande situaties (compact, stil, installatie- en gebruiksgemak, ruimtegebruik, et cetera);
- De beschikbaarheid van technieken tegen een lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50% voor individuele oplossingen en 15% voor collectieve systemen in 2025 ten opzichte van de huidige kosten); het MMIP als geheel streeft naar ten minste 20-40% kostenreductie vóór 2030;
- Een tempoverhoging naar aardgasvrij (aantrekkelijkheid, aanlegmethodes, installatiegemak, industrialisatie, et cetera);
- Het benutten van duurzame bronnen zoals geothermie, duurzame restwarmte, aquathermie en andere lagetemperatuurbronnen voor collectieve warmte, inclusief de benodigde voorzieningen voor winterpieken.

Warmte vormt momenteel 40% van de energievraag in de gebouwde omgeving. Het doel is om dit te voorzien vanuit duurzame bronnen. Hierbij spelen opwekkings- en efficiëntietools een rol zoals warmtepompen en ventilatiesystemen, maar ook de technische ontwikkeling van (rest)warmte uit datacenters of geothermie. Warmtenetten spelen een cruciale rol in de distributie en kunnen ook gekoppeld worden aan een (ondergronds) opslagvat. Deze innovaties kunnen samen de warmtevraag duurzaam invullen.

Samenhang deelprogramma's

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

De samenhang van de deelprogramma's binnen de drie thema's wordt hieronder uitgelicht.



Individuele conversie/opwekking en distributie achter de meter

In deelprogramma (DP) 1 (warmtepompen) worden innovaties ontwikkeld waarmee duurzame warmte/koude kan worden opgewekt naar de gewenste comforttemperatuur. Warmtepompen produceren warmte en onttrekken warmte uit de buitenlucht of via een bodemwarmtewisselaar (BWW). Deze BWW kan in de zomer ook functioneren als koudebron voor koeling. Investerings in warmtepompen zijn hoog. Daarom worden warmtepompen met zo min mogelijk vermogen uitgevoerd. Een warmtepomp wordt efficiënter bij een zo laag mogelijke afgifte van temperatuursystemen. Daarom wordt in DP2 gekeken naar lage temperatuur afgiftesystemen, eventueel in combinatie met ventilatie. Ook wordt er gekeken naar de ontwikkeling van meetmethodes en *data analytics*-systemen waarmee de beloofde prestaties van warmteafgiftesystemen kunnen worden gehaald. Om piekvragen naar warmte op te vangen, kan er dan gebruik gemaakt worden van een warmtebuffer. De meest simpele vorm is een vat met water. DP 3 richt zich op de ontwikkeling en optimalisatie van andere materialen, om onder andere de warmte op een compactere manier op te kunnen slaan. Een andere focus binnen dit DP is de systeemintegratie, waardoor de warmtebatterij kan worden geconfigureerd in het lokale energiesysteem. Door middel van slimme sturing kan de buffer helpen bij de flexibilisering van het net. Als er elektriciteitsoverschotten zijn, dan kan de buffer helpen met het ontlasten van het net.

Collectieve conversie/opwekking en distributie voor de meter

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

- schaal (wijkniveau tot regionaal warmtenet);
- afname en temperatuurniveau (laag, midden en hoog);
- beschikbaarheid van duurzame warmtebronnen (aquathermie, restwarmte, geothermie, biomassa, (bio)gas);
- beschikbaarheid van grootschalige mogelijkheden voor opslag (aquiferopslag).

Een goed begrip van de eigenschappen van de verschillende warmtebronnen, buffers en het gedrag van gebruikers is cruciaal voor een effectief ontwerp en aansturing van warmtenetten. Dit is cruciaal om de betaalbaarheid en leveringszekerheid van het warmtesysteem te waarborgen. Binnen DP 4 (Warmtenetten) is systeemintegratie het belangrijkste onderwerp en is input noodzakelijk vanuit DP 5 (Grootschalige opslag), DP 6 (Geothermie) en DP 7 (lagetemperatuurbronnen). Daarnaast richten deze deelprogramma's zich op kostenverlaging, veiligheid en milieuaspecten zoals levensduur en bescherming van het (grond)water. Ook is er een belangrijke link met MMIP 3. Het gewenste temperatuurniveau is sterk afhankelijk van het renovatieconcept van de woning of wijk.

Individuele afgifte

Dit thema heeft relaties met bovenstaande onderwerpen. Distributie vanuit een collectieve bron (zoals geothermie) heeft altijd een individueel component. Dit kan zijn de distributie van warmte in de woning door middel van CV-leidingen of een warmtenet naar alle woningen. Bij lagetemperatuurnetten moet vaak de warmte nog worden opgewaardeerd. Dit kan door middel van bijvoorbeeld een warmtepomp. Deze warmtepomp kan worden geïnstalleerd voor (een deel) van de wijk of per huishouden. Dit maakt de keuze voor individuele afgifte van warmte anders. Per wijk zal bepaald



moeten worden wat de meest geschikte oplossing is. De warmtebatterij zal hierop inspelen door de warmtepomp en het warmte- en elektriciteitsnet beter te laten functioneren en door zuiniger te dimensioneren.

Samenhang met andere MMIP's

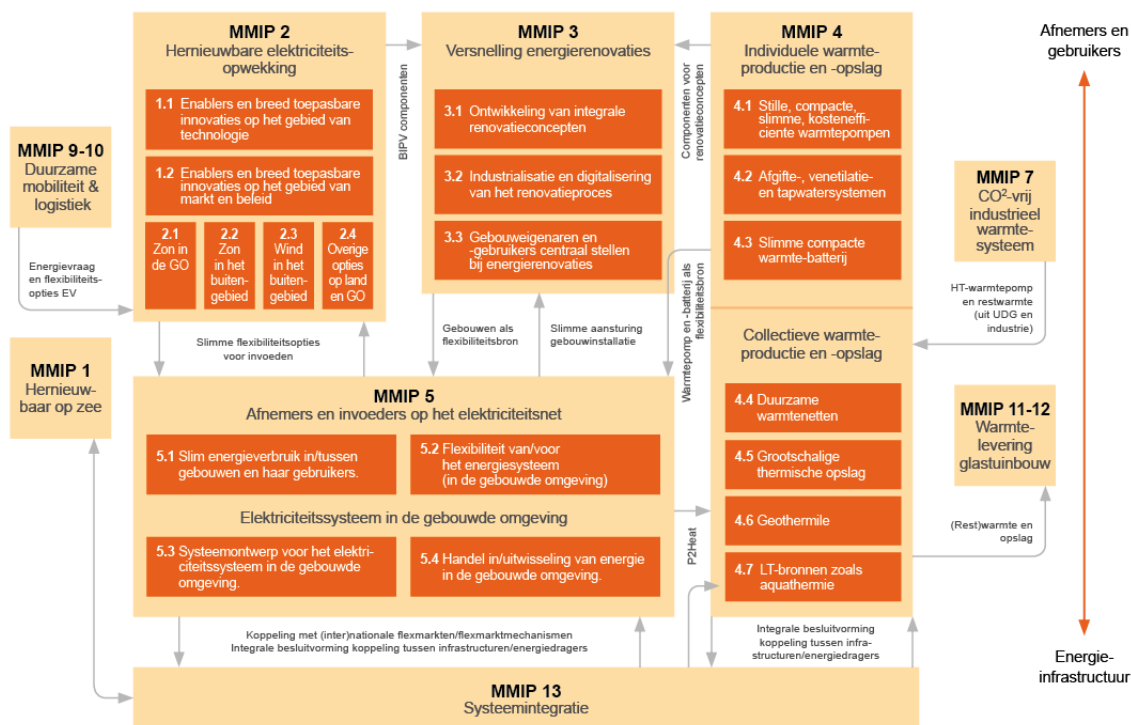
De volgende samenhang kan worden gevonden tussen de verschillende deelprogramma's. Dit is ook grafisch weergegeven in onderstaand figuur.

- In MMIP 2 (Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving) worden innovaties ontwikkeld voor het op land en in de gebouwde omgeving opwekken van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Eén van de oplossingen zijn zonnestroomsystemen geïntegreerd in het dak of gevel van een gebouw (BIPV). Deze oplossing wordt in MMIP 2 ontwikkeld en vervolgens in MMIP 3 toegepast in een integraal energie(renovatie)concept. Een andere focus in MMIP 2 is de ontwikkeling van wind- en zonnestroomsystemen in het buitengebied. Een groot gedeelte van de elektriciteit die in het buitengebied en in de gebouwde omgeving wordt opgewekt zal worden ingevoerd in het elektriciteitssysteem. Daarbij gebruikt MMIP 2 oplossingen vanuit MMIP 5, zoals opslag, conversie en demand-side management, die de waarde van de opgewekte elektriciteit vergroten en zorgen voor een goede inpassing in het lokale energiesysteem.
- In MMIP 3 (Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving) wordt 'het duurzaam renovatiepakket', een combinatie van verbeterde schilisolatie en verduurzaamde installatie, ontwikkeld, opgeschaald en ingepast. Een deel van deze concepten wordt in andere MMIP's ontwikkeld zoals warmtepompen (MMIP 4), warmteopslagsystemen (MMIP 4), warmte-afgiftesystemen voor warmtenetten (MMIP 4), zonnestroomsystemen (MMIP 2) en batterijsystemen (MMIP 5). In MMIP 5 worden energiemanagementsystemen voor het slim aansturen van deze componenten ontwikkeld. Deze helpen om flexibiliteit te ontsluiten en tot waarde te maken.
- In MMIP 4 (Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)) worden innovatieve componenten, collectieve systemen en socio-economische innovaties ontwikkeld voor duurzame warmte en koude. Ook warmteopslag (kleinschalig en grootschalig) is onderdeel van MMIP 4. 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 (*Power2Heat*, P2H). Deze concepten worden in MMIP 4 toegepast.
- MMIP 5 (Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving) richt zich op het ontwikkelen van oplossingen voor en het faciliteren van een betrouwbaar, efficiënt, betaalbaar, slim, integraal en maatschappelijk gedragen systeem van opwek, opslag, conversie, transport en gebruik van elektriciteit in de gebouwde omgeving. MMIP 2, 3 en 4 ontwikkelen oplossingen die zorgen voor een elektrificatie van het lokale energiesysteem. MMIP 5 komt met slimme oplossingen om deze transitie te faciliteren, en draagt oplossingen aan om de



potentieel beschikbare flexibiliteit vanuit deze ontwikkelingen te ontsluiten en tot waarde te maken.

- MMIP 7 (CO₂-vrij industrieel warmtesysteem) richt zich op het verduurzamen van de warmtevraag van de industrie. Binnen MMIP 7 richten 2 deelprogramma's zich op Ultra Diepe Geothermie (UDG) en industriële warmtepompen. Innovaties in boortechnieken, exploratietechnieken en materialen voor UDG zijn ook relevant voor de gebouwde omgeving. Er zijn zes UDG-projecten die zijn verbonden aan de 'Green Deal UDG', zij zorgen voor warmtelevering (cascadering) aan collectieve warmtenetten. Industriële warmtepompen kunnen in de gebouwde omgeving worden ingezet om temperaturen op te waarden die door geothermie-projecten worden geproduceerd. Dit is vooral relevant voor het verduurzamen van de glastuinbouwsector en van de bestaande netten die veelal op hogere temperaturen zijn uitgelegd.
- MMIP 13 (Systeemintegratie) richt zich op de transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstoffen gebaseerde energiesysteem naar een hybride (2030) en duurzaam (2050) en maatschappelijk gedragen geïntegreerd energiesysteem. Collectieve warmtenetten kunnen worden ingezet om het elektriciteitsnet te balanceren. Op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is, kunnen warmtepompen worden aangestuurd en kunnen grootschalige seizoensbuffers voor warmte-opslag worden geladen. Het is van belang dat deze optie wordt meegenomen en wordt afgezet tegen andere alternatieven zoals waterstofproductie en grootschalige opslag of conversie.



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



Element	Aanleverende MMIP	Ontvangende MMIP
BIPV en PVT	MMIP 2 ontwikkelt zonnestroomsysteemcomponenten die geïntegreerd kunnen worden in bouwdelen.	MMIP 3 integreert de componenten in bouwdelen met zonnestroomfunctie, waardoor ze integraal worden toegepast als onderdeel van een energierenovatie-concept/woonpakket.
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. BEMS faciliteren 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.
Thuisbatterij	MMIP 5 ontwikkelt opslagsystemen die geschikt zijn voor woningen en utiliteitsbouw.	MMIP 3 integreert de thuisbatterij als mogelijke module van renovatieconcepten/-pakketten.
Gebouwen als flexibiliteitsbron	MMIP 3 ontwikkelt renovatieconcepten met apparaten waar potentieel flexibiliteit uit ontsloten kan worden; het gebouw kan hierbij een vorm van elektrische of thermische opslag bieden.	MMIP 5 incorporeert de flexibiliteit die door (gerenoveerde) gebouwen wordt geleverd en komt met slimme en voor de gebruiker acceptabele producten en diensten om deze flexibiliteit tot waarde te maken.
Slimme flexibiliteitsoplossingen voor invoeden energie	MMIP 5 ontwikkelt flexibiliteitsoplossingen die bijdragen aan de stabiliteit van het elektriciteitsnet, gebruikmakend van demand-response, opslag en	MMIP 2 werkt aan opwekoplossingen met zo'n hoog mogelijke waarde en houdt daarbij het (lokale) energiesysteem in ogenschouw.



	conversie. Tevens wordt gewerkt aan energiehandelsplatformen met lokale systeemoverwegingen.	Er wordt voortgebouwd op de technische routes die MMIP 5 biedt en de bijbehorende verdienmodellen waarop ingespeeld kan worden.
P2Heat	MMIP 5 werkt aan oplossingen voor opslag en conversie van elektrische energie. Eén route is het omzetten van elektrische overschotten in warmte (P2Heat).	MMIP 4 incorporeert P2Heat-oplossingen als warmtebron en buffer die toegepast kunnen worden in slimme warmtenetten.
Industriële (HT) warmtepompen	MMIP 7 werkt aan industriële warmtepompen. Deze zijn ook van belang voor de gebouwde omgeving voor het opwaarderen van warmte uit geothermie naar bestaande (HT) netten.	MMIP 4 richt zich op het integreren van warmtepompen in warmtenetwerken met duurzame bronnen zoals geothermie
Ultra Diepe Geothermie (UDG)	MMIP 7 werkt aan de ontwikkeling van UDG. Innovatieve technieken voor UDG zijn ook relevant voor conventionele geothermie voor de gebouwde omgeving.	MMIP 4 richt zich op de integratie van industriële restwarmte (waaronder UDG).
Koppeling Elektriciteitsnetwerk met warmtenetwerk (Power2heat)	MMIP 13 werkt aan systeemintegratie en energieopslag. Warmtenetwerken kunnen bijdragen aan het balanceren van de E-netwerken.	MMIP 4 richt zich op verdienmodellen en systeemintegratie voor Power2Heat toepassingen.



5 Innovatieprogramma

Nationale en internationale stand van zaken

Warmtepomp- en koeltechniek (DP 1) in de gebouwde omgeving bestaat momenteel vooral uit compressorgedreven systemen met koudemiddelen. Veel warmtepompen worden nu nog buiten Nederland geproduceerd; de bestaande Europese samenwerking wordt verder ontwikkeld. De enkele Nederlandse bedrijven onderscheiden zich op gebieden zoals het type warmtepompsysteem (bijvoorbeeld zonder buitenunit), monitoring op afstand, *connectivity* voor optimale inzet en onderhoud, combinatie met ventilatie et cetera. Het gaat in de regel om kleine individuele luchtwarmtepompen.

Er is een mismatch tussen de vraag en aanbod van duurzame energie. Met innovaties moet dit worden weggewomen en moet het systeem betrouwbaar, betaalbaar en comfortabel blijven. Ook moet er de komende jaren worden gewerkt aan een actualisering van het juridische kader en het aanscherpen en opstellen van normering. Door middel van systeemintegratie en slimme regelgeving kan de energievoorziening duurzaam efficiënter worden.

Voor DP 2 geldt dat Nederland een sterke positie heeft op het gebied van data-analyse van zowel het binnenmilieu als het energiegebruik, inclusief gebruikersgedrag. Ook is er veel kennis van ventilatie en gezondheid, bijvoorbeeld over emissies die vrijkomen tijdens het koken. In de glastuinbouw vindt de integratie van componenten ten behoeve van mechanische ventilatie plaats.

Kleinschalige warmteopslag (DP 3) is commercieel al op verschillende temperatuurniveaus beschikbaar in Nederland. Momenteel wordt voornamelijk naar de optimale configuratie gezocht van deze kleine wateropslag en naar de beschikbaarheid van verschillende warmtebronnen met een laag vermogen. Compacte warmteopslag middels fase-veranderend materiaal kent een aantal commerciële systemen op huisniveau, waarbij het laden plaatsvindt via elektriciteit en/of (rest)warmte. De sleutel voor brede uitrol in de gebouwde omgeving ligt voornamelijk in de integratie in totaaloplossingen voor klimaatbeheersing en tapwatervoorziening die aansluiten bij de *use case*.

Momenteel wordt 4% van de warmtevraag in Nederland voorzien van een warmtenet (DP 4). Dit zijn grotendeels hogetemperatuurnetten. In het Klimaatakkoord wordt echter een sterke groei verwacht. De projecten via de regeling Proeftuinen Aardgasvrij werken voor het merendeel aan warmtenetten.

Binnen de grootschalige thermische opslag (DP 5) is ondergrondse opslag onder de 25°C een bewezen technologie. Boven de 25°C zijn in het verleden verschillende technologieën toegepast. Aquifer-opslag bijvoorbeeld, kent in Nederland nu twee pilot-



locaties (NIOO in Wageningen en KoppertCress in Zuid Holland). Beide opereren boven de 25°C.

Voor geothermie (DP 6) lopen momenteel onderzoeken naar gebieden waar er minder kennis is over de ondergrond. Dit zal in de toekomst de geschiktheid voor geothermie vergroten. Er zijn nu achttien actieve geothermiebronnen in de categorie 'diepe geothermie in operatie' in Nederland. Er is nog weinig kennis en ervaring binnen de ondiepe geothermie en de toepassing van geothermie in de gebouwde omgeving.

In DP 7 over lagetemperatuurbronnen (LT), wordt aquathermie in zo'n dertig projecten al op relatief kleine schaal toegepast voor warmte, koude en een combinatie daarvan. Dit zijn projecten van tientallen tot zo'n zevenhonderd woningen. Er zijn ook grotere projecten in voorbereiding van enkele honderden tot enkele duizenden woningen. Seizoensopslag is niet in alle gevallen aan de orde. Binnen het Programma Aardgasvrije Wijken zijn twee proeftuinen met aquathermie gestart in 2018. In 2019 heeft een groot aantal organisaties, waaronder de waterbeheerders en het Rijk de 'Green Deal Aquathermie' ondertekend en is onder die vlag het Netwerk Aquathermie gestart, dat wordt geleid door een programmabureau.

Ontwikkelingen korte en lange termijn

Hieronder worden voor de zeven deelprogramma's de ontwikkelingen op korte (komende 3-5 jaar) en lange termijn (2030) besproken.

Op de korte termijn wordt er in DP 1 voorzien in de implementatie en opschaling van hoge(re) temperatuur warmtepompen en warmtepompen zonder bron of buitenunit, bijvoorbeeld met PVT in het dak, vanuit ventilatiewarmte of met een ijsbuffer. Ook moet de wet- en regelgeving worden aangescherpt zodat er een grootschalige uitrol kan plaatsvinden voor bodemlussen, met aandacht voor de mogelijke omgevingseffecten. Dit geeft oplossingen voor een warmtepomp met het allerhoogst mogelijke COP, koeling met zeer laag energiegebruik en seizoen-thermische opslag bij iedere woning of buurt. Kortom: punten die voor een versnelling kunnen zorgen van de energietransitie. Voor de lange termijn is het noodzakelijk om de geluidsproductie van de (lucht)warmtepomp verder te reduceren. Hybride of hoge temperatuur warmtepompen bieden uitkomst voor gebouwen waar grote bouwkundige aanpassingen lastig zijn. Ook het ruimtebeslag van de warmtepomp, zowel binnen als buiten gebouw, blijft een punt van aandacht.

In DP 2 wordt op de korte termijn verwacht dat het ontwerp van een efficiënte combinatie van ventilatie en koeling veel potentie heeft. Verder is de ontwikkeling en kostenreductie in decentrale ventilatie-units belangrijk. Ook het implementeren van de juiste meet- en regelsystemen voor ventilatie, zowel in het ventilatiesysteem als in individuele onderdelen (bijvoorbeeld ventilatiekleppen die zichzelf instellen) heeft prioriteit nodig. Dit is ook belangrijk voor de lange termijn: meer aandacht voor het verhogen van de kierdichting en daarmee aandacht voor ventilatie. Oververhitting van gebouwen heeft namelijk te maken met ventilatie.



In DP 3 is de kortetermijndoelstelling voor warmteopslag het ontwikkelen van een optimaal geïntegreerd systeem van water- en PCM-gebaseerde opslag, en validatie ervan in praktijkpilots. Langere-termijnontwikkelingen zullen zich richten op de tweede generatie materialen, en het verbeteren van de compactheid, kosten, vermogen, stabiliteit en CO₂-reductie. Daarnaast moet ook vol worden ingezet op de ontwikkeling van volledig geïntegreerde producten.

Voor de korte termijn is het belangrijk dat planning tools en GIS-tools voor collectieve warmtesystemen (DP 4) ontwikkeld worden om de implementatie efficiënt te maken. Dit kan gemeenten helpen om van het gas af te gaan en warmtenetten aan te leggen en te ontwikkelen. Voor de lange termijn is ontwikkeling van verdere integratie van duurzame bronnen en (lokale) restwarmte in lagetemperatuurnetten belangrijk.

Binnen het deelprogramma grootschalige thermische opslag (DP 5) is er op korte termijn sprake van de verdere ontwikkeling van technologieën en componenten, zoals het ontwerp van putten en de configuratie. Voor de lange termijn is het belangrijk om de hoge investeringskosten in nieuwe bronnen te verlagen.

Voor geothermie (DP 6) is het belangrijk om op korte termijn, naast het SCAN-programma, de diepe en ondiepe ondergrond verder in kaart te brengen en ontwikkelstrategieën voor geothermie verder te brengen. De bijbehorende *tooling* zou bij voorkeur *open source* moeten zijn. Voor lange termijnontwikkelingen wordt gekeken naar het ontwikkelen van radicaal nieuwe boortechnieken en fundamentele, toegepaste kennisopbouw voor een betere voorspelling en mitigatie van aardbevings- en lekkagerisico's. Voor de korte en lange termijn is kostprijsreductie en systeemintegratie van belang.

Voor het deelprogramma LT-bronnen zoals aquathermie (DP7) zijn op korte termijn kostprijsverlaging van belang, door onder andere verbetering van techniek en ontwerp, (technische) ontwerprichtlijnen van systeemconfiguraties en inzicht in ecologische effecten als gevolg van warmte- en koude-onttrekking. Voor de lange termijn zijn met name opschaling en implementatie aan de orde. Dit betreffen vooral innovaties op het *governance*-vlak: hoe organiseren we de warmte- en koudeketen die vele schakels omvat en dus afspraken nodig heeft?. Het gaat hierbij over nieuwe marktordening, waarin diverse partijen samen zullen moeten zorgen voor 'leveringszekerheid', maar ook over beleidskaders die duidelijkheid moeten bieden over vergunningverlening en het mitigeren van effecten. Voor dit DP zijn diverse raakvlakken met andere DP's binnen MMIP 4 en andere MMIP's.

Opzet van het innovatieprogramma: missie-gedreven, meerjarige aanpak
De Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) en daaruit voortvloeiende innovaties zijn een middel om de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord en de geformuleerde missies op termijn te realiseren. Missiegedreven innovatiebeleid richt zich op het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen en het benutten van de economische kansen die deze met zich meebrengen.

Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen we in dit MMIP vooral de kennis en innovaties moeten ontwikkelen die al voorbij de laagste



technology readiness levels (TRL's) zijn. Ook moeten we doorbouwen op de kennis die al is opgedaan en de ontwikkelingen die al zijn gestart. Tegelijkertijd zijn geheel nieuwe innovaties op fundamenteel niveau van belang om invulling te geven aan de missies voor 2050. In dit programma en elk deelprogramma worden kennis- en innovatievraagstukken benoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen drie verschillende fases:

- 1 Ontdekken - TRL 1-4
- 2 Ontwikkelen - TRL 4-7
- 3 Demonstreren en implementeren - TRL 7-9

Zie hiervoor ook de tabel bij Hoofdstuk 3 voor een overzicht van de TRL-fases van de ontwikkelingen per thema. Daarnaast bevat elk deelprogramma een aantal niet-technologische thema's waarop kennisontwikkeling dient plaats te vinden. Deze zijn niet te vatten in een TRL-fase en worden als 'doorsnijdende' thema's gezien. Een voorbeeld hiervan is het thema systeemintegratie.

De verschillende kennis- en innovatievraagstukken in elk deelprogramma zijn gekozen vanwege hun beoogde impact op het bereiken van de missie. Daarnaast wordt er ruimte gehouden voor disruptieve ontwikkelingen en onderzoek naar het potentiële effect van nieuwe ontwikkelingen waarvan nog onbekend is in welke mate zij impact kunnen hebben.

Instrumenten en financiering

Om de missie van dit MMIP te realiseren, wordt gebruik gemaakt van een breed scala aan instrumenten en activiteiten. Dit bestaat uit:

- financiële middelen en instrumenten;
- kennisdeling;
- deelnemen en initiëren van overlegstructuren op het vlak van normering, certificering en standaarden;
- signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving.

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

Het MMIP is geen subsidieregeling en heeft geen eigen budget. Verschillende subsidieregelingen leveren gezamenlijk een bijdrage aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stapje verder te helpen. In 2019 is er een oproep tot voorstellen voor MMIP 3 en 4 gedaan, die zich uitsluitend richtte op industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling. De naamgeving van deze subsidieregeling leidde tot verwarring over het verschil tussen het MMIP als programma en als specifieke subsidieregeling. Daarom wordt vanaf 2020 de naam 'Innovatieregeling Gebouwde Omgeving' (IRGO) gehanteerd voor dit instrument dat zich richt op TRL 4-7 en op de gebouwde omgeving.



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

- 4 Onderzoeken (TRL 1-4): Kennis- en Innovatiecontract (KIC), Opencompetitiemiddelen NWO, PPS-fonds en Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze instrumenten richten zich op fundamenteel en industrieel onderzoek. Voor investeringen die benodigd zijn voor onderzoek is er het instrument Investerings NWO-Groot.
- 5 Ontwikkelen (TRL 4-7): 'Vrije' middelen TNO, de nieuwe Innovatieregeling Gebouwde Omgeving (IRGO), de Urban Energy-subsidieregeling van de Topsector Energie, de Hernieuwbare Energieregeling (HER), het PPS-toeslaginstrument. Deze instrumenten richten zich met name op industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots.
- 6 Demonstreren en implementeren (TRL 7-9): Hernieuwbare Energieregeling (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.

Deze instrumenten vallen onder auspiciën van verschillende organisaties, namelijk met het Ministerie van EZ, RVO, TKI Urban Energy, TNO en NWO. Diverse instrumenten richten zich ook op een breder domein dan alleen de gebouwde omgeving of de energiesector.

Huidige budgetten

Onderstaande tabel toont een inschatting van het huidige publieke budget, met een totaal van € 164 mln. Euro. Dit wordt ingezet ten behoeve van de MMIP's 2-5 die zich richten op de gebouwde omgeving. Het budget is uitgesplitst naar verschillende instrumenten en TRL-niveaus en is uitgedrukt in miljoenen euro's:

GO 2019 (publiek) (per jaar)	NWO		TNO		Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)						Totaal
	Diversen	Diversen	IRGO	PPS	UE tender	DEI+ alge- meen	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aard- gasvr.	HER	
TRL 1-4	12,0										12,0
TRL 4-7		14,5	40,0	3,5	10,3					18,8	87,1
TRL 7-9						17,5	16,5	10,0	15,0	6,3	65,3
	12,0	14,5	40,0	3,5	10,3	17,5	16,5	10,0	15,0	25,0	164,3

In 2019 heette de Innovatieregeling Gebouwde Omgeving (IRGO) nog 'oproep tot MMIP-voorstellen'. Om verwarring te voorkomen tussen dit instrument en het MMIP als totaal wordt vanaf 2020 consequent de naam IRGO gehanteerd voor het instrument dat zich richt op TRL-fase 4-7 van de MMIP's.

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

Rekening houdend met verschillende maximum subsidiepercentages en private cofinancieringseisen, is een schatting gemaakt van de jaarlijkse totale projectomvang voor het 'Urban Energy' domein in 2019 (inclusief de ontwikkeling van zonne-energie, maar exclusief windenergie). Deze bedraagt ongeveer €415 miljoen in totaal.



GO 2019 (totaal) (per jaar)	NWO		TNO		Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)						Totaal
	Diversen	Diversen	IRGO	PPS	UE tender	DEI+ alge- meen	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aard- gasvr.	HER	
TRL 1-4	12,0										12,0
TRL 4-7		16,1	80,0	5,3	15,5					37,5	154,3
TRL 7-9						70,0	66,0	40,0	60,0	12,5	248,5
	12,0	16,1	80,0	5,3	15,5	70,0	66,0	40,0	60,0	50,0	414,8

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

De verhouding tussen de publieke en private bijdragen bedraagt over de gehele TRL-keten in de gebouwde omgeving gemiddeld grofweg 40:60. Een uitstekende score.

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

Beschikbare budgetten (2020-2024)

In de tweede helft van 2019 wordt de allocatie van publieke middelen aan de innovatieprogramma's vastgesteld, op basis van de ambities die in het Klimaatakkoord en de daarvan afgeleide IKIA zijn geformuleerd. De allocatie wordt vastgelegd in het Kennis- en Innovatie Convenant (KIC). De middelen worden ingezet voor onderzoek, innovatieontwikkeling en pilots en demonstraties. Hierbij wordt rekening gehouden met de toegenomen investeringsbereidheid van marktpartijen.

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

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

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



Regelingen per technologie

De overheid heeft een breed scala aan instrumenten beschikbaar waarop technologieën kunnen worden gestuurd en gestimuleerd. In onderstaande tabel staat een overzicht van instrumentarium per technologie. Vervolgens wordt een toelichting gegeven op bestaande subsidieregelingen voor RD&D.

Belasting/ beprijzing op verbruik/ uitstoot	Stimulerings- instrumenten voor uitrol	Subsidies voor RD&D (nationale regelingen)	Wettelijke kaders / bestuurlijke aanpakken
<ul style="list-style-type: none"> - EB - ETS - ODE 	<ul style="list-style-type: none"> - SDE - ISDE - EIA/ MIA/ VAMIL - Garantieregeling geothermie 	<ul style="list-style-type: none"> - TSE-regelingen - MMIP 3 en 4-tenders - DEI+ - HER - PPS-toeslag - WBSO - Publieke bijdrage aan TNO - Horizon 2020/ Horizon Europe (Europese programma's) 	<ul style="list-style-type: none"> - Warmtewet - Regionale energiestrategieën door Regio's en Warmteplannen door gemeenten - Programma Aardgasvrije Wijken - Energieprestatie-eisen in de bouwregelgeving

Hieronder wordt het instrumentatiepakket voor *market pull* en *market push* per technologie verder uitgewerkt.

Warmtepomp

Market pull

- De adoptie van de elektrische warmtepomp door kleinverbruikers wordt ontmoedigd door de hogere energiebelasting (EB) en opslag duurzame energie ODE op elektriciteit ten opzichte van gas. Ook wordt een elektrische warmtepomp benadeeld ten opzichte van de levering van warmte of koude uit hernieuwbare of restwarmtebronnen. Dit komt omdat bovenop de elektriciteit die de warmtepomp gebruikt € 0,12 / kWh aan energiebelasting en ODE wordt geheven, terwijl dit bij warmtelevering niet het geval is.
- Warmtepompen tot 70 kW komen in aanmerking voor ISDE-subsidie. De ISDE compenseert voor de 'onrendabele top' van een warmtepomp en daarmee dus ook voor het nadelige EB-regime.
- EIA is voor ondernemingen beschikbaar voor compressie- en ad/absorptiewarmtepompen (niet in woningen). Bij compressiewarmtepompen geldt een minimale eis ten aanzien van de COP.
- In de EPC-normering voor nieuwbouw heeft de warmtepomp een waardering.



Technology push

- De Urban Energy-tender van de Topsector Energie staat open voor ‘innovaties ten behoeve van een snelle beschikbaarheid van stille, compacte, slimme en kostenefficiënte warmtepompsystemen’.
- De DEI+-regeling Aardgasvrij ‘staat open voor pilotprojecten waarin nu al bestaande basisproducten en componenten (waaronder warmtepompen), slim samengevoegd worden tot integrale producten, die snel en seriematig in woningen, gebouwen en wijken ingebracht kunnen worden’.
- De Hernieuwbare Energieregeling (HER) is gericht op innovaties in duurzame energieproductie technologieën die toekomstige SDE+ uitgaven reduceren.
- Het Ministerie van EZK financiert onderzoek bij TNO naar warmtepompen.

Overige relevante wet en regelgeving

- Technische, juridische, omgevings- en bedrijfseconomische belemmeringen bij het realiseren van bodemlussen.

Afgifte, ventilatie en tapwatersystemen

Market pull

- De energiebelasting geeft een forse prikkel voor besparing op gas, en daarmee voor lagetemperatuurverwarming en bijhorende afgiftesystemen en alternatieve tapwatersystemen. Ook geeft de hoge EB een forse prikkel voor warmteterugwinnende ventilatiesystemen en kierdichting, en daarmee überhaupt voor ventilatie.
- Ventilatie is van nut voor het creëren en handhaven van een gezond en comfortabel binnenmilieu. Een goed ventilatiesysteem draagt bij aan beide: door doelmatig frisse lucht naar binnen te halen via behoefte-afhankelijke regelingen en door energie uit de af te voeren lucht terug te winnen. Beide worden bij nieuwbouw gewaardeerd in EPC en BENG-normen. De binnenmilieu-component wordt met enige regelmaat gepromoot via campagnes van de overheid en maatschappelijke organisaties.

Technology push

- De Urban Energy-tender van de Topsector Energie staat open voor gebruiksvriendelijke, geluidsarme en energiezuinige ventilatiesystemen, en voor verbetering van de warmteafgifte.
- De DEI+-regeling staat open voor alle technologieën die op korte termijn aardgasvrije oplossingen goedkoper, beter en sneller implementeerbaar maken. Er zijn nadrukkelijk ook kwaliteitsaspecten opgenomen die voor de eindgebruiker van belang zijn. In de praktijk zijn dit ventilatiecomponenten en systemen die in een groter (industriële) pakket zijn opgenomen, maar die ook energie besparen (behoefte-afhankelijk en terugwinning) en bijdragen aan een beter binnenmilieu (denk bijvoorbeeld aan het voorkomen van koudeval en tocht).

Warmtebatterij

Market pull



- De forse prikkel voor besparing op aardgas die van de EB en ODE uitgaat, is ook een prikkel voor thermische opslag. Fluctuerende thermische bronnen, zoals aqua- en zonthermie, kunnen daarvoor beter worden benut.
- Warmteproductie in woningen op basis van elektriciteit en in combinatie met thermische opslag, kan een rol spelen om aanbodpieken op te vangen op de elektriciteitsmarkt. Deze rol kan momenteel echter niet goed worden verzilverd omdat er nog geen prijsdifferentiatie naar tijd is in huishoudens.
- In de bouwregelgeving wordt de opslag van elektriciteit of warmte om aanbodpieken op te vangen niet gewaardeerd.

Slimme warmtenetten

Market pull

- De EB geeft een goede prikkel voor warmtelevering.
- De Energie Investeringsaftrek (EIA) is beschikbaar voor warmtedistributienetten: van transportleiding naar gebruiker en warmtewisselaar.

Geothermie

Market pull

- Een hoge EB voor kleinverbruikers geeft een sterke prikkel voor warmtelevering en daarmee voor geothermie.
- De SDE+-regeling staat open voor geothermie. De onrendabele top is berekend voor toepassing in de glastuinbouw. Het Ministerie van EZK onderzoekt voor de openstelling in 2020 ook cases voor niet-basislast die beter aansluiten bij stadsverwarming. Ook wordt verdere differentiatie van bodemdieptes onderzocht.
- Voor de levering van geothermie aan warmtenetten is het lastig dat bestaande warmtenetten op een te hoge temperatuur werken en nieuwe warmtenetten veel risico hebben in de opschaling.

Technology push

- DEI+
- HER
- Topsector Energie (TSE)-tender 'Energie en Industrie: Warmte' voor integratie geothermie en warmtepompen in de industrie.
- TSE-tender Nieuw Gas: *Geo-energies*
- TSE-Urban Energy, deels programmalijn 2, deels 4 en 5.

Integratie / Totaaloplossingen

- MMIP 3 en 4 tenders
- Programma Aardgasvrije wijken

Afspraken klimaatakkoord over aanpassing beleid

- Aanpassing energiebelasting
- Startmotor
- Proeftuinen
- Renovatieversneller
- Wijkgerichte aanpak



- Normering voor utiliteitsbouw (richting 2030 en 2050)
- 'Standaard' (voor spijtvrije verbouwing) vaststellen per 1 juli 2019, integreren in bouwbesluit. Energielabel, huurprijsregelgeving en subsidieregelingen (zoals ISDE) worden hierop afgestemd.
- Inzet op arrangementen (industriële standaardpakketten voor renovatie)
- ECW / digitaal platform
- € 100 mln. / jaar ISDE
- € 100 mln. / jaar korting verhuurdersheffing
- € 50 mln. / jaar EIA voor verhuurders
- € 100 mln. / jaar t/m 2021, € 70 mln. / jaar vanaf 2022

RD&D subsidieregelingen

Om de missie van het MMIP rond te krijgen, zal gebruik worden gemaakt van een breed instrumentarium. Dit bestaat uit:

- financiële middelen;
- kennisdeling;
- een overlegstructuur op het vlak van normering, certificering en standaarden;
- het signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving.

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

Het MMIP is geen subsidieregeling en heeft geen eigen budget. Verschillende subsidieregelingen leveren gezamenlijk een bijdrage aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stapje verder te helpen. In 2019 is er een oproep tot voorstellen voor MMIP 3 en 4 gedaan, die zich uitsluitend richtte op industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling. De naamgeving van deze subsidieregeling leidde tot verwarring over het verschil tussen het MMIP als programma en als specifieke subsidieregeling. Daarom wordt vanaf 2020 de naam 'Innovatieregeling Gebouwde Omgeving' (IRGO) gehanteerd voor dit instrument dat zich richt op TRL 4-7 en op de gebouwde omgeving.

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

- 1 Onderzoeken (TRL 1-4): Kennis- en Innovatieconvenant (KIC), Open competitie middelen NWO, PPS-fonds en de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze instrumenten richten zich met name op fundamenteel onderzoek en industrieel onderzoek. Voor investeringen die benodigd zijn voor onderzoek is het instrument Investeringen NWO-Groot relevant.
- 2 Ontwikkelen (TRL 4-7): 'Vrije' middelen van TNO, de nieuwe Innovatieregeling Gebouwde Omgeving (IRGO), de Urban Energy-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.
- 3 Demonstreren en implementeren (TRL 7-9): Hernieuwbare Energieregeling (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.

Deze instrumenten vallen onder auspiciën van verschillende organisaties, namelijk met het Ministerie van EZ, RVO, TKI Urban Energy, TNO en NWO. Diverse instrumenten richten zich ook op een breder domein dan alleen de gebouwde omgeving of de energiesector.

Waardering bestaand en voorgenomen beleid

Market pull:

- Strengere BENG-normering in de nieuwbouw zorgt voor een goede prikkel voor innovatieve CO₂-arme oplossingen en RD&D om deze voort te brengen.
- Nieuwbouw mag niet meer worden aangesloten op aardgas. Dit is een sterke stimulans voor andere verwarmingstechnieken.
- Een hoge EB en ODE voor kleinverbruikers (incl. ODE is dit €190 / ton CO₂ op aardgas, €325 / ton CO₂ op elektriciteit), levert een sterke prikkel op voor de adoptie van energie-efficiënte apparaten en warmtelevering.
- Geen energiebelasting op warmtelevering maar wel op aardgasgebruik, geeft een sterke prikkel aan warmtelevering aan kleinverbruikers. De prikkel om restwarmte te leveren aan kleinverbruikers is fors hoger dan die voor hergebruik in de industrie (het verschil in EB en ETS-prijs tussen beide groepen is € 153 per ton CO₂).
- De warmtepomp wordt tegengewerkt door de hoge EB op elektriciteit ten opzichte van die op aardgas.
- De waarde van warmtepompen in combinatie met thermische opslag in woningen wordt onvoldoende verzilverd, omdat kleinverbruikers prijzen betalen die niet in de tijd aansluiten op het fluctuerende aanbod op de elektriciteitsmarkt.

Technology push:

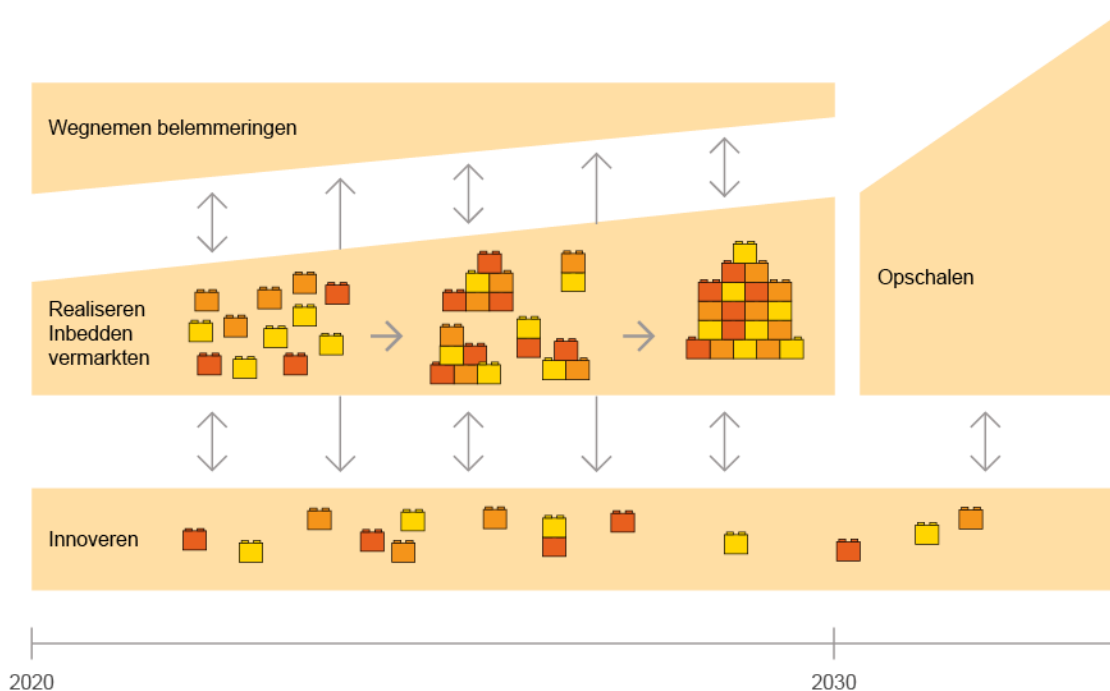
- Voor de belangrijkste technologieën staan RD&D subsidies open. Budgetten worden niet structureel uitgeput.
- Voor de integratie van technologieën staan nog relatief weinig RD&D subsidies open, terwijl daar wel de uitdagingen lijken te liggen. Ook lijkt het Programma Aardgasvrije wijken niet sterk te sturen op het testen van innovatieve totaaloplossingen.

Adaptief innoveren met oog voor communicatie, leren en disseminatie

Het ontwikkelen van innovaties is geen lineair proces. Het is nodig om te toetsen of ze voldoende bijdragen 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.

Er is een adaptieve houding nodig bij de uitvoering van dit innovatieprogramma, waarbij er een samenspel plaatsvindt tussen (1) innoveren, (2) realiseren, inbedden en vermarkten en (3) het wegnemen van belemmeringen. Dit is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.





Kennisdisseminatie

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

Oog voor de markt en wettelijke kaders

Er wordt gezocht naar consortia die expliciet aandacht hebben voor ontwikkelingen in de markt en de mogelijke veranderingen van wettelijke kaders. Ook worden projecten aangemoedigd onder de regeling 'experimenten elektriciteitswet', waardoor ook buiten de bestaande kaders geïnnoveerd kan worden. Van grotere consortia en voorstellen, met name bij de IRGO, wordt verwacht dat zij een transitiepad schetsen voor verdere uitrol, met aandacht voor markt en wettelijke kaders. Projectvoorstellen dienen inzichtelijk en aannemelijk te maken hoe hun oplossingen bijdragen aan het bereiken van dit transitiepad en de gestelde doelen.

Monitoring en evaluatie

Monitoring en effectmeting zijn voor het welslagen van het missie-gedreven innovatiebeleid van groot belang. We zullen communiceren hoe men de effecten meet en doelen denkt te realiseren, zodat de consortia hier in de uitvoering rekening mee kunnen houden. Door het dynamische karakter van het MMIP zal er behoefte zijn aan herijking en bijstelling van het programma. Er is wel 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.



De mijlpalen van MMIP 4 worden gezamenlijk door RVO en TKI Urban Energy gemonitord. Jaarlijkse rapportage aan de hand van de KPI's, mijlpland en kennisdeling met andere relevante MMIP's is een verplicht onderdeel. De KPI's zijn per deelprogramma zo goed als mogelijk gedefinieerd. De ontbrekende KPI's zullen in de komende tijd verder uitgewerkt worden. Om devootgang over alle MMIP's te borgen, zullen de betrokken uitvoerders worden ondersteund door een nog op te richten onafhankelijke Innovatie Monitoring Unit (IMU). De belangrijkste taak van de IMU is het ontwikkelen en beheren van een jaarlijkse voortgangsmonitor om zicht te houden op de ontwikkeling van de factoren die van invloed zijn op de voortgang van het innovatie-ecosysteem rondom elke missie. De IMU zal op doorlopende basis terugkoppeling organiseren. Deze monitor zal toegespitst worden op de ontwikkeling van het innovatie-ecosysteem op missieniveau.

Om de ontwikkelingen binnen dit MMIP te kunnen spiegelen aan de ontwikkelingen en behoeften van de markt, wordt een 'voortgangsmonitor' opgezet. Deze maakt inzichtelijk hoe de vraag naar en het aanbod van aardgasvrije woningen zich jaarlijks ontwikkelt, en waar deze vandaan komt. Ook wordt de waarde van verschillende vormen van warmte- en koudebronnen in kaart gebracht, waardoor het mogelijk is om te bepalen welke potentiële warmte- en koudebronnen kansrijk zijn voor verdere innovatie of opschaling.

Valorisatie en marktcreatie

Vanwege het missiegedreven karakter van dit MMIP is het van belang om tevens 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. Marktcreatie is relatief nieuw als speerpunt en kan onder andere vorm krijgen door financiële prikkels (zoals SDE+), ruimte in regelgeving (bijvoorbeeld via een ondernemersloket) en een transitiegericht inkoopbeleid (zoals bij SBIR).

Wat betreft 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 gegeven aan private financieringsmogelijkheden. Bijvoorbeeld via een masterclass financiering, een *investors day* en een loketfunctie voor financieringsvraagstukken. Aandacht voor andere financieringsroutes is essentieel om bedrijven in staat te stellen om te innoveren. Subsidies kunnen namelijk nooit de volledige financieringsbehoefte van innovatieve bedrijven dekken, doordat niet alle bedrijfsuitgaven subsidiabel zijn, maar ook doordat subsidies nooit de volledige gemaakte kosten dekken; er wordt altijd een *in-kind* of *in-cash* bijdrage gevraagd.

Voor valorisatie en marktcreatie spelen de regionale gebieden een belangrijke rol. Niet alle provincies kunnen een rol spelen in de ontwikkeling van kennis en onderzoek, maar er zullen wel toepassingsgebieden zijn.



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

- De projectencatalogi¹ voor de programmalijnen PL0 t/m PL2 en PL3 t/m PL5 onder 'Projecten' op de TKI Urban Energy website.
- TKI Urban Energy biedt een projecten app aan, te downloaden via de App Store of Google Play Store (zoeken op 'TKI Urban Energy'). De app is ook bereikbaar via de projectendatabase² op de website van TKI Urban Energy. Voor zover projecten zijn afgerond, zijn de eindrapporten te benaderen via catalogus of app.
- Eén of meer kennisdossiers³ van TKI Urban Energy.

Maatschappelijke thema's

Verschillende maatschappelijke uitdagingen zijn van invloed op de succesvolle uitrol van innovaties uit dit MMIP.

Er moet kennis en ervaring worden opgebouwd over hernieuwbare en aardgasloze warmte- en koudeconcepten voor de gebouwde omgeving, op zowel technisch als sociaal vlak. Innovaties binnen warmte- en koudeconcepten moeten binnen afzienbare tijd in pilotlocaties worden uitgevoerd, getest en geëvalueerd. Daarna kunnen concrete verbeteringen in de volgende stappen van de opschaling worden bereikt. We moeten open blijven communiceren met bewoners en omwonenden, want maatschappelijke acceptatie van bijvoorbeeld geothermie, grootschalige thermische opslag en warmtenetten is belangrijk. Deze collectieve warmtevoorzieningen kunnen alleen tot stand komen als er een significante afzet van de duurzame warmte binnen een compact gebied (wijk) is. De slaagkans van zo'n project hangt in grote mate af van het maatschappelijk enthousiasme. Dit geldt niet alleen voor collectieve, maar ook voor individuele warmtevoorziening. Goed opgeleide mensen zijn nodig die de bewoners kunnen adviseren en overtuigen bij het aardgasloos maken van de woning. Technische en financiële kennis van de verschillende aardgasloze opties zijn daarbij noodzakelijk om de bewoners objectief van advies te kunnen voorzien.

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

Er is een grote behoefte aan het opleiden, in stand houden en omscholen van getraind personeel in de installatiebranche. De monteurs die zich momenteel bezighouden met de installatie van HR-ketels zouden 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 hardwareproducten

¹ Zie <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/tki-urban-energy-projecten>

² Zie <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/tki-urban-energy-projecten>

³ Zie <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers>



zoals een warmtepomp steeds meer een IT-focus. Deze technieken zijn (nog) nauwelijks geïntegreerd in HR-ketels, bijscholing zou hier dus op moeten focussen.

Ook 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 lagetemperatuurnet. Doe je dit met een collectieve of individuele warmtepomp? De wijken binnen de regeling Programma Aardgasvrije Wijken gaan grotendeels aan de slag met nieuwe warmtenetten of stappen over naar een MT/LT-net. Hieruit volgen hopelijk effectieve leidraden voor andere gemeenten om de technische en socio-economische stap te maken naar een duurzame warmtevoorziening.

Uit bovengenoemde situaties blijkt dat binnen dit MMIP de integratie tussen de technieken van de deelonderwerpen belangrijk zijn om de gebouwde omgeving aardgasvrij te krijgen. Denk bijvoorbeeld aan sensoren die op basis van de temperatuur en luchtvochtigheid een warmtepomp in combinatie met een ventilatie-unit kunnen aansturen, om zo de meest efficiënte en energiezuinige warmte te kunnen afgeven. Data is het toverwoord. Door middel van algoritmes die gebruikersvoorkeuren en input over bijvoorbeeld weersomstandigheden meenemen, kan doelgericht energie worden gebruikt voor verwarming en verkoeling van een ruimte. Voor de installatie en het onderhoud van zo'n systeem is het van belang dat een installateur kennis heeft van het meet- en regelsysteem én de mechanische onderdelen van de warmtepomp. Dit is onder andere terug te zien in de fiets- en autobranche: waar vroeger een auto kapot ging 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.

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.

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 energiezuiniger leefomgeving.

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.



Regio's

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

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



Internationale link

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

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

Voor de warmtebatterij 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 de warmtebatterij. Samenwerking met Duitse chemische industrie in de opschaling van de productie thermochemisch materiaal is daarbij nodig. Overige Europese samenwerking richt zich op demonstratie en validatie van deze nieuwe technologie.

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

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



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



4 Beschrijving van de deelprogramma's

In deze sectie zal per subsectie dieper worden ingegaan op de zeven deelprogramma's.

Deelprogramma 1: warmtepompen

Omschrijving van het deelprogramma

Een warmtepomp verbruikt geen aardgas maar elektriciteit voor verwarming. Het is te vergelijken met airconditioning, maar met een tegengestelde werking.

Warmtepompen onttrekken warmte aan één zijde en brengen ('pompen') deze naar een hoger temperatuurniveau aan de andere zijde. De warmtepomp kan worden ingezet voor verwarming door de thermische energie op het hoge

temperatuurniveau te benutten, of voor koeling door het onttrekken van thermische energie op het lage temperatuurniveau, of beide. Bij verwarmingstoepassingen wordt de thermische energie meestal onttrokken uit de omgeving (bodem of lucht). Deze energie is min of meer vrij beschikbaar. De energie om de warmtepomp aan te drijven moet worden toegevoerd. Meestal is dit elektrische energie, maar er bestaan ook gasgedreven warmtepompen en adsorptiewarmtepompen, waar ook thermische energie ingevoerd wordt.

Door middel van een warmtepomp kan duurzame warmte gegenereerd of opgewaardeerd worden. Er zijn verschillende werkingstypes met elk eigen innovatieopgaven. Er liggen nog veel uitdagingen op het gebied van systeemintegratie.

Er zijn verschillende werkingstypen van warmtepompen:

- Compressiewarmtepomp. Daarbij valt onderscheid te maken tussen een lucht/water (L/W) warmtepomp en een water/water (W/W) warmtepomp. De L/W-warmtepomp haalt de energie uit de buitenlucht, en de W/W-warmtepomp uit water via bijvoorbeeld een bodemlus. Deze warmtepomp maakt gebruik van een koudemiddel. Voor woningbouwtoepassingen is dat momenteel op basis van HFK's; systemen op basis van natuurlijke koudemiddelen zoals CO₂ zitten in de ontwikkelfase.
- Thermo-akoestische warmtepomp. Werkt op het principe van thermo-akoestiek, een techniek waarbij laagfrequente geluidsgolven in gas worden gebruikt om warmte op te pompen naar de gewenste temperatuur. Hier is geen compressor met koelmiddel nodig. De eerste werkende prototypes zijn in Nederland ontwikkeld.
- Magnetocalorische warmtepomp. Deze maakt gebruik van met het magnetocalorische effect, een fenomeen waarbij paramagnetisch materiaal omgekeerde temperatuurveranderingen vertoont bij blootstelling aan een wisselende magnetisch veld. Dit effect wordt op kleine schaal voor koelunits toegepast, maar heeft tevens de potentie om zonder compressor als warmtepomp ingezet te worden. Een *proof-of-concept* is nationaal en internationaal aangetoond.



- Adsorptiewarmtepomp. Werkt op basis van adsorptie (neerslaan) van een koudemiddel aan een vaste stof en het weer afdampen hiervan, zonder compressor. Systemen op basis van aardgas, maar ook andere media zoals ammoniak, zijn nationaal en internationaal in ontwikkeling. Ook zijn er warmtepompen met HFK's en F-gassen als koudemiddel en warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen zoals CO₂ of propaan. Een ander spoor is om de synthetische koudemiddelen natuurlijker te maken door mengstoffen.

De warmtepomp is uitvoerbaar in een *stand-alone* opstelling of in combinatie met een cv-ketel (hybride). Een hybride warmtepomp werkt samen met de cv-ketel of andere externe warmtebronnen zoals een warmtenet. Hij zorgt op de meeste dagen voor de warmte in huis, de cv-ketel springt alleen bij als het erg koud is en zorgt voor je warme water in de badkamer en keuken. Het is een tussenstap naar wonen zonder aardgas.

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, zo zal ook deze toepassing van warmtepompen (met en zonder opslag) zich tot telkens verbeterende generaties ontwikkelen. De huidige generatie is functioneel, maar kan en moet nog verbeteren om beter aan de 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 bij dat laatste aan nieuwe principes rondom de vermindering van de geluidsproductie, miniaturisatie van warmtepompcomponenten en nieuwe efficiënte warmtepomp- en compacte-opslagconcepten.

Het programma spreidt zich uit over de gehele TRL-schaal en vereist een gecoördineerde meerjarige onderzoeks- en ontwikkelingsinspanning van integrale consortia. De componenten komen uit het buitenland. We zoeken aansluiting bij programma's voor fundamenteel onderzoek, waarmee in het MMIP zelf ook deels toepassingsgeïnspireerd fundamenteel onderzoek wordt uitgevoerd. In meerjarige deelprogramma's zullen partijen zich committeren tot het behalen van het gewenste eindresultaat en ze zullen afspraken maken over het te doorlopen innovatieproces. Onderdeel van het MMIP zijn daarnaast korter lopende projecten om de gewenste ontwikkeling in de markt te ondersteunen. De resultaten uit de meerjarige deelprogramma's en de korter lopende innovatieprojecten voeden de projecten in de demo- en proeftuinfase. Hier wordt een effectieve samenwerking en kennisdisseminatie binnen het innovatiesysteem georganiseerd. Enthousiasme en belangen van gebruikers moeten altijd als ontwerpuitgangspunt worden beschouwd. Naast valide toetsingsprocedures vooraf en monitoring bij de eerste toepassingen, zijn goede inbreng van gebruikerspanels of vertegenwoordigers van gebruikers essentieel voor het minimaliseren van problemen bij de marktintroductie. Het uiteindelijke doel is een betere prijs-prestatie-verhouding van de warmtepompen op geïnstalleerd niveau; namelijk €500-700/kW.

Doelstellingen

- Verlagen geluidsproductie;
- Verhogen rendementen: verwarming, warm tapwater en koeling en overall systeem rendement;



- Kleiner maken van de warmtepomp en opslag (warmtebatterij) of verticale bodem warmtewisselaar (VBWW));
- Verlagen productiekosten -> slag maken naar massaproductie, industrialisatie van prefab geïntegreerde energie-units;
- Verlagen milieudruk/GWP van warmtepompen, bijvoorbeeld door overgang naar GWP<5 koudemiddelen;
- Tapwater buffering miniaturisatie en/of gemakkelijkere vormfactor ten behoeve van integratie of inpassing;
- IBS (In Bedrijf Stel), service en onderhoud makkelijker door *continuous monitoring, alerting, early warning management, Firmware Over The Air (FoTa)* en daarmee slimme kostenreducties met een lagere TCO.

Ook zijn er doelstellingen gericht op: 1) *Smart controlling* van warmtepompen in HEMS (Home Energy Management Systems) en in smart grids (straat, wijk, regio, etc.) en 2) *Demand Responsive & voorspellend* regelen van warmtepompen. Deze onderwerpen vallen onder MMIP 5.

Huidige stand van zaken

Een grote uitrol van warmtepompen voor zowel renovatie als nieuwbouw vereist het testen en valideren van gebruikersvriendelijkheid, veiligheid van de warm tapwatervoorziening en efficiëntie. Door de grote diversiteit aan L/W warmtepompen die de komende jaren de Nederlandse warmtepompmarkt lijken te gaan domineren, zijn er nog veel vragen wat de meest optimale varianten zijn. Er is nog veel onduidelijk over de levensduur en geluidsproductie van deze systemen. W/W warmtepompen hebben het grote voordeel van een zeer lage/verwaarloosbare geluidsbelasting en voorspelbare en hogere energetische prestatie, maar zijn vooralsnog duurder om te plaatsen. Warmtepompen zijn vaak ook regeltechnisch nog te optimaliseren in relatie tot bijvoorbeeld thermische buffers, de gebouwmassa, extern aanbod van duurzame elektriciteit, peak shaving, weersvoorspellingen, etc. Een eenduidig, breed gedragen en gevalideerde onafhankelijke test- en simulatiemethodiek voor energetische prestatie, optimale regeltechniek, netbelasting en geluidseffecten voor de diverse systemen ontbreekt vooralsnog.

Warmtepomp- en koeltechniek in de gebouwde omgeving wordt momenteel overheerst door compressorgedreven systemen met synthetische koudemiddelen. Zowel magneto-calorie, thermo-akoestiek als Peltier zitten voor de gebouwde omgeving nog in de TRL 3-4 fase. Onderzoek aan zowel materialen, componenten en integratie met installaties en bouwdelen zijn nodig om het op TRL 5-7 te brengen.

Veel warmtepompen worden nu nog buiten Nederland geproduceerd, de bestaande Europese samenwerking wordt verder ontwikkeld. Harmonisatie in regelgeving en normering helpt daarbij. De enkele Nederlandse bedrijven onderscheiden zich op gebieden zoals het type warmtepompsysteem (bijv. zonder buitenunit), monitoring op afstand en *connectivity* voor optimale inzet en onderhoud, combinatie met ventilatie, etc. Integratie in energiemodules voor de bestaande bouw zijn ontwikkeld door en voor de bouwsector. Ook is er de ambitie om de industrialisatie en integratie van bouwelementen verder te ontwikkelen, in combinatie met langlopende onderhoudscontracten en prestatiegarantiecontracten. Daarnaast zijn in Nederland



geheel nieuwe principes voor de gebouwde omgeving in onderzoek zoals de akoestische warmtepomp. Voor grootschalige warmtepompen in combinatie met warmtenetten of geothermie kan worden geprofiteerd van de warmtepompen die voor industriële toepassingen zijn ontwikkeld, zoals een CO₂-warmtepomp met een hogere temperatuurvariatie. Deze kunnen worden doorontwikkeld voor de gebouwde omgeving om het rendement te verhogen en de kostprijs te verlagen. Een scala aan bedrijven is actief met opslag in water, met nieuwe opslagmaterialen en principes en met integratie van systemen. Toonaangevende bedrijven participeren in onderzoek en ontwikkeling voor compacte opslag.

Welke innovaties zijn nodig?

Voor korte termijn worden praktijkgerichte ontwikkelingen verwacht om de implementatie te versnellen en problemen te omzeilen, bijvoorbeeld door verkeerd gekozen warmtepompen voor een specifieke warmtevraag. Ook is het wenselijk 'configuratortools' te ontwikkelen waarmee installatie- en bouwbedrijven inschattingen en keuzes kunnen maken voor de beste warmtepomp in een specifiek gebouwconcept (inclusief de afweging over de mate van isolatie, verwarmingssysteem, etc.). Voor sommige applicaties is de implementatie en opschaling van hoge(re) temperatuur warmtepompen te overwegen, of het gebruik van andere bronnen zoals warmtepompen zonder grondbron of buitenunit, maar bijvoorbeeld op basis van PVT in het dak, vanuit ventilatiewarmte of een ijsbuffer. Ook wordt er ingezet op praktijktesten van kansrijke geïntegreerde energie-units en nieuwe kansrijke ontwikkelingen, zoals de akoestische warmtepomptechnologie. Verder speelt er: combinaties van warmtepompen met lage temperatuur warmtenetwerken, slimme aansturing van modulerende warmtepompen op basis van signalen van zonnepanelen, elektriciteitsnetwerk of andere sensoren en *performance contracting*: controle of garanties op de prestatie van warmtepompen.

Op de lange termijn is het noodzakelijk om de geluidsproductie van de (lucht)warmtepomp verder te reduceren. Dit kan bijvoorbeeld door de componenten van energie-units te verbeteren. Hybride of hoge temperatuur warmtepompen bieden uitkomst voor gebouwen waar grote bouwkundige aanpassingen lastig zijn. Ook kan het nuttig zijn om warmtepompen in grotere renovaties slim te combineren en om gebouwen meer als integraal systeem te zien. Warmteopwekking, isolatie, warmtedistributie, warmteafgifte en ventilatie moeten dan goed op elkaar zijn afgestemd. Ook kan de combinatie met warmteopslag en de toepassing van slimme aansturing (zoals *model predictive control*) een belangrijke ontwikkeling zijn om het elektriciteitsnet te ontlasten en de *seasonal performance factor* (SPF) te verhogen. Ruimtebeslag van de warmtepomp, zowel binnen als buiten het gebouw, blijft een punt van aandacht. Zeker als er ook noodzaak is voor warmteopslag in combinatie met de warmtepomp. Nieuwe technieken voor warmtepompen kunnen de inpasbaarheid en SPF verder verhogen. Grote kostenreducties zijn in theorie mogelijk en in de praktijk gewenst. Om de integratie in het energienet optimaal te laten verlopen, is het belangrijk dat warmtepompen flexibel kunnen reageren op signalen van buiten, bijvoorbeeld van eigen zonnestroomproductie of van het energienet. De warmtepompen moeten zelf slim kunnen reageren op dergelijke signalen, of ze moeten flexibel bestuurbaar zijn door software van buitenaf. Het belang van koeling neemt toe, mede door verbeterde isolatie en de stijgende gemiddelde buitentemperatuur. Dit kan deels bouwkundig en



door goede ventilatie opgelost worden, maar de inzet van de warmtepomp voor koeling krijgt een steeds belangrijkere rol.

Binnen dit deelprogramma zitten de innovaties nog in verschillende TRL-niveaus:

- In de lage niveaus (TRL 1-3) zijn projecten bezig met het optimaliseren van materiaaleigenschappen voor de toepassing in warmtepompen. Voorbeelden zijn de magnetocalorische materialen en thermochemische materialen voor een hogere systeemopbrengst.
- In TRL 4-7 kunnen innovaties worden gevonden op het gebied van thermo-akoestische en adsorptiewarmtepompen. Verder zijn er ook systeemintegratieprojecten, waarin een ventilatie warmtepomp wordt toegepast voor een PVT-systeem in een dak.
- Demonstratieprojecten (TRL 8-9) vinden plaats met hoge temperatuur warmtepompen en geïntegreerde prefab energie-units met L/W- of W/W-warmtepompconcepten.

Het innovatieprogramma van warmtepompen zal zich richten op de volgende onderdelen:

- Vanwege de huidige EU-regelgeving over F-gassen wordt er gekeken naar andere koudemiddelen zoals bijvoorbeeld het natuurlijke koudemiddel propaan met een GWP \approx 3. Door (verouderde) regelgeving op brandgevaar is dit lastig toepasbaar, maar inmiddels wordt er gewerkt aan actualisering en verruiming van de regelgeving. Innovatie in brandwerendheid en veiligheid van deze natuurlijke koudemiddelen zijn hierbij noodzakelijk.
- Geluidsreductie van de warmtepompen. Het doel is om 30 dB(A) in de verkeersruimtes en 27 dB(A) in de verblijfsruimtes (inclusief slaapkamer) te bereiken.
- Inzetten van pompen in de bestaande bouw: miniaturisatie van componenten van de warmtewisselaar en van de totale systeemomvang. Het doel is om de omvang ten opzichte van de huidige *state-of-the-art* apparaten te halveren.
- Betere benutting (rest)warmte. De doelen zijn: sorptiekoeling met lagere temperatuur warm water door desorptie, verhoging van de efficiëntie bij hoge buitentemperaturen en concurrerende prijzen ten opzichte van normale airco's.
- Lage temperatuur warmteafgiftesystemen zonder aantasting van het comfort door koude afstraling, met acceptabele geluidsniveaus en mogelijkheden tot koeling of regeneratie.
- Nieuwe principes of toepassingen om bestaande technieken efficiënter, stiller, schoner, compacter of goedkoper te maken zoals thermo-akoestische koeling en een magnetocalorische warmtepomp.
- Stillere en beter integreerbare buitenunits (in gevels en daken) voor L/W-warmtepompen.
- Goedkopere bodemlussen, voornamelijk door innovaties in de boortechnieken, boorsnelheden, boorwagens (kleiner en beter toegankelijk) en automatisering en robotisering van boorwagens. Daarmee kan één boormeester meerdere opgestelde boorwagens coördineren en bedienen.
- 24/7 communicatie tussen warmtepompen, smart home & grid en (bron) energie mechanismen of algoritmes (MMIP5)



Voor spronggewijze verbetering in de gebouwde omgeving zijn ook nieuwe principes nodig. De langetermijnontwikkelingen in de deelprogramma's zijn vooral gericht op significant hoger rendement, met een navenant lagere impact op het elektriciteitsnet of het duurzaam-gasnet, op CO₂-impact en exploitatiekosten. Hiervoor is ingezet op nieuwe warmtepomptechnologie met (tot nu toe) per technologie en deelprogramma een consortium voor meerjarige ontwikkeling.

Het is noodzakelijk om ook de installatie in de uitvoering te vereenvoudigen. Eenvoudig te hanteren rekenmodules helpen bij het selecteren van een warmtepomp met de passende specificaties voor een individuele situatie. Ook ondersteunen ze de keuze van de plaatsing. Hierbij is *mixed reality* voor de installateur een veelbelovende richting. Het integreren van de warmtepomp in totaalmodules en in bouwdelen.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

De minimale doelstellingen voor de rendementen van verschillende type warmtepompen zijn in onderstaande tabel vastgesteld voor 5 en 10 jaar.

	2019			Doel in 2025			Doel in 2030		
η	Ruimte-verwarming	Tap water	Koeling	Ruimte-verwarming	Tap water	Koeling	Ruimte-verwarming	Tap water	Koeling
	η _h ;gen	η _w ;gen	η _c ;gen	η _h ;gen	η _w ;gen	η _c ;gen	η _h ;gen	η _w ;gen	η _c ;gen
L/W WP	4,25	1,75	3	5,25	2,50	4	5,75	2,75	4,5
W/W WP	5,50	3	45	6,00	3,50	50	6,50	3,75	55

De minimale warmtepomp-doelstellingen voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor 5 en 10 jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018⁴.

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
Warm tapwater	1,75	2	2,5
Koeling	3	4	4,5
W/W: LTV	5,5	6	6,5

⁴ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



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

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

Ordegrootte inschatting 2019:

Vermogen warmtepomp:	2.5 kW	3950 Euro
	5 kW	4725 Euro
	7.5 kW	5500 Euro
	10 kW	6250 Euro
- Operationele (onderhoud & beheer, exclusief *fueling costs*) kosten (€/jaar), Ordegrootte inschatting 2019:

 - Voor L/W Warmtepomp : 100,- euro per jaar.
 - Voor W/W Warmtepomp: 50,- euro per jaar.
- COP en SPF zijn sterk afhankelijk van vraagprofiel, KPI's gedefinieerd voor de relevante toepassingen binnen de gebouwde omgeving in 2030 en verder (nieuwbouw, renovatie). Lage Temperatuur Verwarming, LTV, warm tapwater en koeling. Systeemaspecten moeten hierbij meegenomen worden⁵.
- Onderscheid wordt gemaakt tussen buiten- en binnengeluidsbelasting. Opgenomen waarden zijn respectievelijk buiten (op perceelgrens), binnen (verkeersruimte, bv gang), binnen (verblijfruimte, bv woonkamer/slaapkamer)
- 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.
- 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)).
- Bij netto warm tapwatervraag van 7,7 GJ/jaar overeenkomend met gemiddelde gezinsgrootte van 2,2 personen zonder warmteterugwinning (WTW) uit douchewater (EU-norm tappatroon M) of ca. 4-pers. huishouden met douche-WTW.

⁵ 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



Welk beleid is hiervoor nodig

- 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 zal worden;
- Slag naar massaproductie en prefab units, onder andere door de inbedding van de warmtepompoplossingen in een wijkgerichte aanpak en een startmotor;
- Actieve ondersteuning door grootschalige uitrol in een aantal van de aardgasvrije proefwijken;
- Prestatiegaranties (wat betreft hardware en systeemimplementatie);
- Eenvoudigere (en pragmatische) procedures en regelgeving rondom bodemenergiesystemen, waardoor opschaling en voorbereidingskosten omlaag kunnen. Is het wel handig dat elke omgevingsdienst of gemeente dit doet? Het is makkelijker op dit op landelijke schaal te doen. Hierdoor kunnen er meer kennis en mogelijkheden worden gegenereerd om dit beter te automatiseren;
- Aanpassen wetgeving rond toegestane hoeveelheden natuurlijke koudemiddelen en werkdrukken;
- Gefaseerde verbetering door aanscherping van de nationale en Europese eisen op alle genoemde KPI's. Wettelijke inbedding voor nieuwbouw en renovatie. Tot 2030 op vrijwillige basis, na 2030 verplichtend.

Deelprogramma 2: afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen

Omschrijving van het deelprogramma

Ventilatie is belangrijk voor een gezonde woon- en werkomgeving. Ventilatie neemt circa 30% van de verwarmings- en koelingsvraag in gebouwen voor rekening. Hier kan dus, in potentie, een grote duurzame bijdrage aan worden geleverd. In energiezuinige gebouwen wordt veel aandacht besteed aan een hoge luchtdichtheid, maar zonder goede ventilatie kan dit tot problemen leiden.

Ventilatiesystemen zijn belangrijk voor een gezonde woonomgeving. Door steeds beter geïsoleerde (nieuwbouw) woningen, blijven bijvoorbeeld kookemissies langer hangen in het binnenklimaat. Ontwikkeling van afgiftesystemen kan helpen om een ruimte efficiënter te verwarmen.

Een woning kan op twee manieren geventileerd worden: op een ongecontroleerde en gecontroleerde manier. Bij ongecontroleerde ventilatie waait wind door kieren en spleten, en ververst de lucht. Dit zorgt vaak voor een onaangenaam binnenklimaat en warmteverliezen. Daarom worden woningen steeds luchtdichter. Bij energiezuinige nieuwbouw en renovatie zijn gebouwen daarom vaak afhankelijk van gecontroleerde, meestal mechanische ventilatie. Met een behulp van een mechanische ventilator kan het debiet ingesteld worden, bijvoorbeeld op basis van informatie uit een sensor. Het meest voorkomend zijn sensoren die de concentratie CO₂ (maat van de 'versheid' van lucht) of relatieve vochtigheid meten.

Door verbeterde isolatie van zowel nieuwbouw als renovatie, blijkt de mate van ventilatie een kritische succesfactor te worden om de binnenluchtkwaliteit en



temperatuur te beheersen. Internationaal onderzoek laat zien dat energierenovaties kunnen leiden tot meer schimmel (CSTB, Frankrijk) en fijnstof (National University of Ireland). Gebouwen en installaties worden steeds complexer en bij het behalen van hoge gebouwprestaties speelt de interactie tussen gebruiker, gebouw, installatie en de omgeving een steeds crucialere rol. Daarbij gaat het niet alleen om energie- en CO₂-prestaties, maar ook om de kosten en de combinatie van comfort en binnenmilieukwaliteit. Het uiteindelijke doel van dit deelprogramma is het kunnen bereiken van hoge gebouwprestaties tijdens de gebruiksfase (wat betreft energie, CO₂-emissies, kosten, comfort en binnenmilieu), zowel in de woningbouw als in de utiliteitsbouw. Bij een uitgebreide woningrenovatie wordt het energieverbruik van warm tapwater een vrijwel even grote factor als de benodigde energie voor ruimteverwarming. Nieuwe manieren van energiezuinig en gegarandeerd legionellavrije levering van warm tapwater, al dan niet in combinatie een MT/LT warmtenet, worden belangrijk voor het grootschalig uitrollen van deze renovatieoplossingen (naar 200.000 woningen per jaar). Er worden dus tools, modellen, concepten, componenten en systemen ontwikkeld en opgeleverd. Deze maken energie-, binnenklimaat- en warm tapwater-systemen voor nieuwbouw en renovatie mogelijk, met hoge operationele prestaties tegen aanvaardbare kosten.

Bij de glastuinbouw speelt het effect van dosering van CO₂ een belangrijke rol. De basisventilatie in de Nederlandse kassen is mengventilatie door midden van luchtramen, aangevuld met mechanische systemen. Door dit systeem verdwijnt een groot deel van de toegevoegde CO₂ van de buitenlucht. Mechanische ontvochtiging kan ervoor zorgen dat de ramen dicht kunnen blijven en CO₂ bespaard wordt. Bovendien kan er een substantiële hoeveelheid gas bespaard worden (grofweg 50%). Het probleem is echter dat de terugverdientijd lang is.

Bij het renoveren van bestaande gebouwen met centrale gebalanceerde ventilatie moet rekening worden gehouden met de noodzaak van ventilatiekanalen en de ruimte hiervoor. De geluidsproductie is een groot probleem: er zijn vele voorbeelden van gebruikers die de installatie uitzetten vanwege de geluidsoverlast. 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. Ook het controleren van een goede uitvoering tijdens de installatie is heel belangrijk. Bij het aanbrengen van een ventilatie-installatie is het wenselijk om een gesloten opstellingsruimte te hebben. Zeker als je uit een situatie komt waar geen mechanische ventilatie zit, kan een ventilator als geluidsoverlast worden ervaren.

De belangrijkste knelpunten van grootschalige implementatie van gezonde, comfortabele en energie-efficiënte ventilatie:

- Om woningen energiezuinig te maken, zijn ze luchtdichter en afhankelijker van mechanische ventilatie. Dit leidt niet automatisch tot een goed en gezond binnenmilieu; onderzoek in het buitenland laat in sommige gevallen meer schimmel en blootstelling aan fijnstof zien. Goede regelingen, sensoren, zonering, filtering en bronmaatregelen zoals een afzuigkap in de keuken kunnen een belangrijke rol spelen om zowel energie te besparen als een beter binnenmilieu te creëren.



- **Kwaliteitsborging.** De meeste woningen voldoen niet aan de integrale prestaties, bijvoorbeeld omdat er meer geluidsproductie is. Zeker in de slaapkamer kan dit tot problemen leiden. Een goed kwaliteitskader en goede meetmethodes om de beloofde prestaties kostenefficiënt vast te stellen ontbreken. Data-analyse is noodzakelijk om steeds grotere datastromen automatisch te analyseren en waar nodig te anticiperen.
- **Thermisch comfort.** Omdat de energiebalans in energiezuinige woningen kritischer wordt door toenemende isolatie, heeft de ventilatie een grote invloed op oververhitting. Daarom zijn innovatieve systeemoplossingen van belang die samenwerken met de verwarming, koeling, en spui ventilatie.
- De gebruiker heeft een steeds grotere invloed op de energieprestatie, specifiek door het gebruik van het ventilatiesysteem maar ook door het raamgebruik. Dit kan de ruimteverwarmingvraag met een factor vier vergroten. Ventilatiesystemen moeten robuust zijn voor de gebruiker en op zijn of haar gedrag kunnen anticiperen.

Doelstellingen

- Efficiënter maken van gecombineerde koeling, verwarming- en ventilatie-units;
- Slimme ventilatieconcepten op basis van nieuwe kwalitatieve sensoren, vraagsturing, filtering en bronmaatregelen die leiden tot lagere operationele kosten, een lager energiegebruik en een beter binnenmilieu;
- Kwaliteitskader, meetmethodes en data-analytics die leiden tot het realiseren van de beloofde prestaties in de praktijk. Verdere verbetering en optimalisatie van de effectiviteit, compactheid en onderhoudsgevoeligheid van warmtewisselaars voor ventilatielucht;
- Warm tapwatersystemen:
 - die bij lage temperaturen gegarandeerd legionellavrij blijven;
 - met extreem goed geïsoleerde warm tapwater buffers (minder onnodige start/stops van warmtepompen per periode om stilstandsverliezen te compenseren);
 - die slimmere ladingstechnieken en aftapbaarheid van warm tapwaterbuffers vergroten;
 - die meer informatie aan gebruikers geven over de warmwaterbuffer, bijvoorbeeld over de mate van belading. Nu is het een groot apparaat dat niets communiceert;
 - met een betere integratie in kleine ruimten of in een gevel, dak of knieschot;
 - met mogelijk alternatieve opslagmedia (i.p.v. water).

Huidige stand van zaken

Nederland heeft een sterke positie op het gebied van data-analytics van zowel het binnenmilieu als het energiegebruik en gebruikersgedrag. Er is ook monitoringsinformatie beschikbaar van bijvoorbeeld de Energiesprong en Monicair. Ook is er veel kennis van ventilatie en gezondheid, bijvoorbeeld toegepast op emissies die vrijkomen tijdens het koken. Er zijn innovaties op het gebied van ventilatieconcepten zoals: actieve en passieve warmteterugwinning uit ventilatielucht, verdampingskoeling, vraaggestuurde ventilatie, decentrale warmteterugwinning (WTW), zonering en concepten voor renovatie zoals mengen over de binnendeuren. In de glastuinbouw worden de componenten van mechanische ventilatie geïntegreerd.



Hierdoor vinden luchtbehandeling, luchtverdeling in de kas, WTW en ontvochtiging in de kassen plaats. Deze technieken worden wereldwijd toegepast in het hightech kassegment. Dat vraagt hoge investeringen, maar levert een laag energiegebruik en hoge gewasproductie op. Ook op deelcomponenten loopt Nederland voorop, zoals op het gebied van het ontvochtigen met zouten, luchtslurven in de kas, luchtbehandeling in corridors, slimme raamaansturing en kasklimaatregeling. Sommige landen ontwikkelen innovatieve deelcomponenten zoals druppelontvochtiger. Deze leveranciers werken intensief samen met de Nederlandse *turn-key* bouwers; zij zijn de system integrator. TNO heeft SIOM ontwikkeld, een systeem dat door vrijwel alle Nederlandse *turn-key* bouwers wordt gebruikt en de optimale technologiekeuze voor een kas in het buitenland ondersteunt.

Andere landen lopen qua technologie voor wat betreft *filtering, smart ventilation* (Berkeley, Frankrijk). Daar is de kwaliteitsborging van de integrale ventilatiepraktijk ingebed in de regelgeving, en zijn er betere prestatie-eisen voor de binnenluchtkwaliteit. Daarnaast vinden er studies plaats op het gebied van *low-cost sensors* voor IAQ (in de Berkeley labs). In Ierland is er onderzoek gedaan naar luchtkwaliteit voor en na renovatie en Denemarken onderzocht *Variable Air Volume* (VAR)-systemen.

Innovaties bevinden zich momenteel op de volgende TRL-niveaus:

#	Onderwerp	TRL niveau
1	Lage druk warmteterugwinning	Laag TRL-niveau
2	Energiezuinige ontvochtiging van kassen	Laag TRL-niveau
3	Energiezuinige kostenefficiënte sensorplatformen voor binnenmilieu-kwaliteit	Laag TRL-niveau
4	Smart ventilatie die ook rekening houdt met buitenlucht omstandigheden (vervuiling) en beschikbaarheid duurzame energie	Midden TRL-niveau
5	Digitale representatie van gebouwen door fysische modellen (digital twins) waardoor energiegebruik en binnenmilieu automatisch worden geanalyseerd	Midden TRL-niveau
6	Smart sensing/GBS in relatie tot vraagsturing en interactie met de gebruiker	Midden TRL-niveau
7	Hybride ventilatiesystemen voor woningbouw: bijvoorbeeld combinatie verwarming en koeling, ventilatie en nachtventilatie door ramen	Midden TRL-niveau
8	Ventilatiesystemen die robuust zijn, anticiperen op gebruik en inspelen op verschillende gebruikers	Midden TRL-niveau
9	Vereenvoudigde meetmethodes om de prestaties van systemen en woningen vast te leggen	Midden TRL-niveau
10	Ontwerptools waarmee ontwerpers op een relatief eenvoudige manier het effect van ventilatiemaatregelen op de luchtkwaliteit (CO ₂ , fijnstof) inzichtelijk worden gemaakt	Midden TRL-niveau



11	Lage druk elektrostatistische filtering met lange standby-tijd	Midden TRL-niveau
12	Innovatieve ventilatiesystemen geschikt voor energiebesparing van de bestaande woningvoorraad en een goed binnenmilieu inclusief filtering, kookafzuiging geïntegreerd in ventilatiesysteem	Hoog TRL-niveau
13	Verkrijgen van een factor 10 fijnstofreductie in blootstelling in de bestaande woningvoorraad	Hoog TRL-niveau
14	VAV-systemen met verdampingskoeling	Hoog TRL-niveau
15	Prestatie-eisen binnenluchtkwaliteit en veldstudies om de effecten van binnenluchtkwaliteit voor en na renovatie in kaart te brengen. Hierbij kan ook worden ingespeeld op gevoelige groepen, zoals astmapatiënten	Hoog TRL-niveau
16	Invoeren Total Cost of Ownership in regelingen gerelateerd aan energie (bijv EIA, LCC)	Hoog TRL-niveau
17	Kwaliteitskader voor prestatie-eisen in de praktijk, nieuwbouw, verbeteringen, renovatie (bijv. Belgische model)	Hoog TRL-niveau
18	Labelsysteem voor de vangst-efficiëntie van kookafzuiging wat betreft fijnstof	Hoog TRL-niveau

Welke innovaties zijn nodig?

Oe korte termijn wordt verwacht dat de ontwikkeling van een efficiënte combinatie van ventilatie, verwarming en koeling en spuventilatie voor de bestaande bouw veel potentie heeft. Dit moet ook leiden tot een gezonder binnenmilieu (met minder schimmel, fijnstof of verontreiniging door koken). Verder is de ontwikkeling en kostenreductie van innovatieve ventilatiesystemen in de bestaande bouw, waaronder decentrale ventilatie-units, belangrijk. Ook het implementeren van de juiste meet- en regelsystemen, zowel in het gehele ventilatiesysteem als in individuele onderdelen (bijvoorbeeld ventilatiekleppen die zichzelf instellen), heeft prioriteit nodig, evenals slimme aansluiting op spuventilatie voor zomerkoeling. Het is noodzakelijk om de interactie van ventilatiesystemen met de gebruiker te verbeteren; de display moet de mogelijkheid bieden om het ventilatiesysteem tijdelijk te 'overrulen'. Verdere opschaling van vraaggestuurd ventileren is ook nodig: vocht- en ventilatiemeters en zonerings. Een kwaliteitskader en vereenvoudigde methodes zijn nodig om de prestaties van ventilatiesystemen ook in de praktijk te behalen.

Voor de lange termijn zijn de volgende punten belangrijk:

- Meer aandacht voor het verhogen van de kierdichting en dus voor ventilatie; de standaard 'doorwaai'-woning met handmatige natuurlijke ventilatie moet uitgefaseerd worden.
- Het testen van de ventilatiekwaliteit (bijvoorbeeld het debiet) in woningen zonder centrale controle of sensoren moet eenvoudiger worden. Bijvoorbeeld met goedkope testkits; denk aan de thermocard voor radiatoren.
- Meer focus op *fool-proof* en onderhoudsarme systemen, die de mogelijkheden van fouten tijdens installatie en gebruik minimaliseren.



- Makkelijke en kwalitatieve controle van luchtkwaliteit moet standaard worden; denk aan een 'thermostaat voor de luchtkwaliteit', ook voor kleinere gebruikers zoals in eengezinswoningen.
- Innovatieve ventilatiesystemen die minder ventilatie-energie gebruiken en minder geluid produceren.
- Oververhitting van gebouwen heeft een relatie met ventilatie. Door beperkt te ventileren is de kans groter dat de lucht binnen gebouwen te warm wordt. Goede ventilatie kan dit verhelpen.
- Verdere verbetering en optimalisatie van de effectiviteit, compactheid en onderhoudsgevoeligheid van warmtewisselaars voor ventilatielucht.
- Meer aandacht voor sensoren in alle ruimtes; van geen of enkele centrale sensoren nu, naar sensoren door het gehele gebouw. Dit geeft ook de mogelijkheid om vraagsturing per ruimte toe te passen.

De volgende punten zouden moeten worden opgenomen in het innovatieprogramma:

- Comfort vergroten door geluidreductie en het tegengaan van tocht;
- Energiezuinige ontvochtigingstechnieken voor kassen;
- Innovaties binnen het totale ventilatiesysteem. Deze moeten geschikt zijn voor verschillende type ventilatie: filtering, kookafzuiging en afvangen bij het douchen. Ook moet het een robuust systeem zijn dat inspeelt op verschillende gebruikers. Ook zou zo'n *smart* ventilatie rekening moeten houden met de omstandigheden in de buitenlucht (zoals vervuiling), de beschikbaarheid van duurzame energie en zou het moeten inspelen op gebruikersgedrag (waaronder raamgebruik). Daarnaast zouden innovaties in hybride ventilatiesysteem gewenst zijn; een combinatie van bijvoorbeeld verwarming en koeling en ventilatie en nachtventilatie. Momenteel communiceren deze systemen niet, daar valt nog veel winst te halen;
- Eenvoudige installatie in de bestaande bouw, met als doel: *plug and play*-concepten, vermindering van het ruimtebeslag van kanalen;
- Filtertechnieken voor een betere zuivering, lager energiegebruik en minder onderhoud, met als doel: de normen halen tegen 20% lagere kosten (minder energie en minder onderhoud);
- Het verkrijgen van een factor 10 reductie van fijnstof in de blootstelling in de bestaande woningvoorraad. Voor gevoelige groepen (zoals astmapatiënten) zou het nuttig zijn om de binnenluchtkwaliteit voor en na renovatie in kaart te brengen;
- Warmteterugwinning bij natuurlijk gedreven ventilatie, VAV-systemen met verdampingskoeling, lage druk elektrostatische filtering;
- Digitale representatie van gebouwen door fysische modellen (*digital twins*) waardoor het energiegebruik en binnenmilieu automatisch worden geanalyseerd en waar mogelijk worden bijgestuurd. Vermeden energiegebruik is de snelste vorm van energiebesparing. Er is veel te winnen met *smart sensing*/GBS in relatie tot vraagsturing en interactie met de gebruiker;
- Kwaliteitskader (bijvoorbeeld naar Belgisch model) met vereenvoudigde meetmethodes zodat prestatie-eisen van ventilatiesystemen in de praktijk worden gehaald.



KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor vijf en tien jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018⁶:

Stelsel KPI	Doel 2025	Doel 2030
(1) Energiegebruik (GJ/jaar)	n.t.b.	
(2) Kosten (€/Gj jaar)	n.t.b.	
Comfort en gezondheid		
Maximaal overschrijdingsuren CO ₂ boven 1200 ppm:		
- slaapkamer (uren/jaar)	100	n.t.b.
- woonkamer (uren/jaar)	100	n.t.b.
PM2.5 fijnstof	Max. 25% van de buitenconcentratie	n.t.b.
Kookafzuiging	Min. 75% vangstrendement of 300 m ³ /h afvoercapaciteit	n.t.b.
Geluid (dB)	27-30	n.t.b.
Vocht	n.t.b.	
VOC (mg/m ³)	n.t.b.	

- 1 Dit is het energiegebruik voor ventilatie inclusief hulpenergie
- 2 Complete installatie per energiegebruik ventilatie inclusief hulpenergie

Deelprogramma 3: warmtebatterij

Omschrijving van het deelprogramma

Een warmtebatterij levert een compacte vorm van warmteopslag. Compactheid is een essentiële voorwaarde om de energietransitie in de bestaande gebouwde omgeving mogelijk te maken; oplossingen moeten simpelweg kunnen passen in de vaak beperkte ruimte in en om bestaande gebouwen. Warmteopslag in de gebouwde omgeving beoogt bij te dragen aan de oplossing van de volgende samenhangende problemen:

Warmtebatterijen kunnen warmte leveren op individueel huishoudelijk niveau. Door middel van innovatieve materialen en opslagmethoden kan warmte compacter worden opgeslagen in vergelijking met een opslagvat gevuld met water. Dit maakt het aantrekkelijk om toe te passen in woningen.

⁶ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



- 1 Het synchroniseren van vraag en aanbod, dat wil zeggen het oplossen van de ongelijktijdigheid van warmtevraag en warmteaanbod. Warmtevraag beslaat circa 75% van de totale energievraag in een woning en omvat verwarming en warm tapwater. Deze ongelijktijdigheid speelt zich af op verschillende tijdschalen; variërend van dag-nacht tot seizoenen;
- 2 Het overbruggen van de winterperiode waarin er geen of nauwelijks hernieuwbare energie (zon of wind) beschikbaar is om aan de warmtevraag te voldoen, de zogeheten *Dunkelflaute*;
- 3 Het afvlakken van de piekbelasting in het energienet, in vraag en/of aanbod, zowel in het elektriciteits- als warmtenet. Dit betekent een optimalere dimensionering en kostenreductie van de infrastructuur.

Er zijn momenteel drie verschillende gangbare principes om warmte op te slaan, met grote verschillen in de typische tijdsperiode van opslag, technologievolwassenheid en marktrijpheid, compactheid (of energiedichtheid) en schaalgrootte. Het principe van voelbare warmte, oftewel de opslag van warmte in een hoog geïsoleerd vat met water, levert de meest volwassen technologie op de markt. Warmteopslag in faseovergangen, het gebruik van zogeheten *phase changing materials* (PCMs), vormt een tweede principe, dat inmiddels in diverse commerciële producten te vinden is. Beide principes hebben te maken met opslagverliezen in de tijd en zijn vooral geschikt voor overbrugging van relatief korte tijdperiodes (dagen). Voor langere periodes (weken tot maanden), en daarbij vereiste hogere energiedichtheid, zijn er op chemische reactie gebaseerde principes: fysisorptie en chemisorptie in zogeheten thermochemische materialen (TCMs, zoals zeolieten en zouthydraten, respectievelijk) en *chemical looping combustion* (CLC), gebaseerd op oxidatie en reductie van metalen. Beide principes zijn in essentie verliesvrij, en vertonen grote verschillen in het temperatuurtraject. Globaal geldt voor TCM de range tot 100oC, terwijl het voor CLC over een temperatuurniveau ver daarboven gaat (300-450oC). De optie van seizoensopslag in de gebouwde omgeving op kleine schaal (eenmalige opslag van warmteoverschot om de winterperiode te overbruggen) is losgelaten, omdat dit met de huidige energiedichtheden tot te grote volumes en economische onhaalbaarheid leidt. Seizoensopslag op grote schaal heeft wel veel potentieel. Dit onderwerp wordt beschreven in deelprogramma 5: grootschalige thermische opslag.

Bovengenoemde systemen worden geleidelijk steeds goedkoper. In onderstaande tabel is een indicatie van het huidige prijsniveau gegeven in relatie tot de energiedichtheid van het systeem. Voor water en PCM is het prijsniveau ontleend aan de huidige commerciële prijzen en voor TCM en CLC is het kostprijsniveau ingeschat op grond van het huidige ontwikkelstadium (gebaseerd op recente R&D-projecten). De energiedichtheden en opslagverliezen zijn ingeschat op basis van de huidige beschikbare gegevens van de verschillende systemen. De technische volwassenheid van de verschillende systemen liggen te ver uit elkaar om een zuivere vergelijking mogelijk te maken.

Huidige/verwachte energiedichtheden en prijsrange van de warmteopslagprincipes:



Opslag principe	Systeem energie dichtheid (GJ/m ³) initieel	Systeem energie dichtheid (GJ/m ³) na 2 weken	Prijs (€/MJ)	Opslag verlies
(1) Water opslag (1000 L)	0,1-0,3	0,04-0,10	5	5-10 % per dag
(2) PCM	0,15-0,25	0,05-0,09	75	5-10 % per dag
(3) TCM	0,5-1	0,5-1	5-25	<1%
(3) CLC	0,5-5	0,5-5	>75	<1%

- 1 Op basis van 1000 L van IntraClima
- 2 Op basis van systeem Flamco (op basis van prijs van Technische Unie)
- 3 TCM en CLC zijn inschattingen op basis van huidige R&D prototypes

Doelstellingen

Voor de korte termijn:

Optimale systeemintegratie van water- en PCM-gebaseerde opslag en validatie ervan in praktijkpilots. Juist met deze kortetermijnopslag kan een eerste stap worden gezet.

Voor de middellange termijn (vijf jaar) zullen ontwikkelingen gericht zijn op:

- Eerste generatie TCM-materiaal dat goedkoop en met gegarandeerde prestatie (stabiliteit, vermogen etc.) op industriële schaal geproduceerd kan worden;
- Pilot demonstratie van de eerste TCM-gebaseerd warmtebatterij in Nederlandse woonwijken, gericht op validatie van de gebruikservaring, optimalisatie van de prestaties in verschillende systeemconfiguraties (elektrisch, warmte, centraal en decentraal) en identificatie van de meest kansrijke systeem configuraties voor de eerste grootschalige uitrol in de markt.

Langeretermijnontwikkelingen (>5 jaar) zullen zich richten op de tweede generatie materialen en systemen, met een verbetering van de KPIs compactheid, kosten, vermogen, stabiliteit en CO₂-reductie. Ontwikkeling van vol geïntegreerde producten (bijvoorbeeld de hybride combinatie warmtebatterij-warmtepomp).

De verwachting is dat in 2030 diverse concepten marktrijp zullen zijn om compacte warmteopslag in woningen mogelijk te maken. De verwachte elektrificatie van verwarming zal leiden tot extra piekbelasting van het net, en daarmee potentieel tot extra netverzwaring. Lokale warmteopslag kan een effectief instrument zijn om dit te reduceren.

2025

Eerste generatie opschaalbare warmtebatterij, die gebruiksgereed is voor een eerste winnende toepassingconfiguratie en die beantwoordt aan de ondergenoemde KPI's van kosten, compactheid, vermogen, levensduur en CO₂-reductie.



Zowel de koppeling met het warmtenet als het elektriciteitsnet moet worden overwogen in de identificatie van de eerste winnende toepassing.

Om dit vijfjaarsdoel met gespecificeerde KPI's te realiseren is het volgende minimaal gewenst:

- Optimalisatie van warmteopslag-materiaal, met name op het gebied van vermogen en cyclische stabiliteit, alsmede wat betreft de geometrie van deeltjes om optimaal presterende compacte reactorbedden te realiseren. Veiligheid en betaalbaarheid vormen cruciale randvoorwaarden;
- Ontwikkeling van industriële productietechnologie voor een eerste generatie TCM-materiaal, waarbij de kwaliteit en prestatie gedurende minimaal 25 jaar multicyclisch gebruik gegarandeerd zijn;
- Optimalisatie van reactorconcepten, waaronder:
 - Een zo compact mogelijk ontwerp, om inpassing in de bestaande omgeving te faciliteren;
 - Kostenreductie door een optimale keuze van materiaal en componenten, gegarandeerde robuustheid en eenvoudige lay-out om onderhoud te minimaliseren;
 - Minimalisatie van energieverliezen door optimalisatie van de kritische componenten in de reactoren. Dit omvat het ontwerp van de warmtewisselaar, van de eventuele verdamper/condensor en van het reactorbed-compartiment voor optimaal warmte/ massatransport;
 - Vergroting van de opslagefficiëntie middels oplossingen zoals kleine hoeveelheden energie uitwisselen zonder het gehele opslagvolume te activeren;
- De ontwikkeling van optimale regelstrategieën (laden/ontladen) voor de diverse configuraties van een warmtebatterij (met diverse hoge en lage temperatuurbronnen, waaronder warmtenet, PV, zonthermisch en warmtepomp), in het lokale (decentrale) en centrale energiesysteem, en in de balancering daarvan;
- De ontwikkeling van optimale gebruikersinterfaces, voor de diverse typen gebruikers. Vroegtijdige betrokkenheid van gebruikers is in deze ontwikkeling een essentiële voorwaarde;
- Identificatie van de optimale inbedding van de warmtebatterij in het lokale (huis, blok, wijk) en centrale energiesysteem, en daarmee de route voor de eerst winnende marktapplicatie. Het schaalniveau (individuele woning, woningblok of wijk) vormt daarbij een belangrijke parameter. Deze identificatie houdt ook rekening met de impact op de dimensionering van het centrale energiesysteem; elektrisch dan wel warmte;
- Pilotdemonstratie op verschillende schaalniveaus in reële situaties met (eind)gebruikers, ter validatie van de warmtebatterij in verschillende configuraties. Hierbij gaat het niet uitsluitend over validatie van de technische prestatie, maar vooral ook over vroegtijdige gebruikersfeedback als basis voor productoptimalisatie en een succesvolle latere marktintroductie;
- Alternatieve technieken om legionella in het tapwatersysteem te bestrijden met minder energie.



Huidige stand van zaken

Kleinschalige wateropslag is commercieel beschikbaar op verschillende temperaturniveaus: van buffervaten voor verwarming, boilervaten voor tapwater en hogere temperatuurvaten voor kokend water aan het tappunt. In Nederland brengen diverse fabrikanten dergelijke systemen op de markt (onder andere Nibe, InterClima, Inventum en Itho Daalderop). Momenteel wordt voornamelijk naar de optimale configuratie gezocht van deze kleine wateropslag in relatie tot de beschikbaarheid van verschillende laag-vermogen warmtebronnen. Dit vraagt om een geoptimaliseerde buffer (wat betreft volume, aantal en momenten van laden en ontladen) om fluctuaties in het aanbod en de vraag efficiënt op te vangen.

Compacte warmteopslag middels faseveranderend materiaal kent een aantal commerciële systemen op huishoudniveau (van onder andere Sunamp en Flamco), waarbij het laden plaatsvindt via elektriciteit en/of uit (rest)warmte. Deze systemen kunnen een beperkte capaciteit aan warmte opslaan met voldoende vermogen voor de eindgebruiker. De sleutel voor brede uitrol in de gebouwde omgeving ligt voornamelijk in de integratie tot totaaloplossingen voor klimaatbeheersing en tapwatervoorziening die aansluiten bij de *use-case*. De verdere ontwikkeling van dergelijke geïntegreerde producten, waarbij onder andere materiaalverbeteringen en geoptimaliseerde verpakkingstechnieken worden meegenomen, zal inzet van het onderzoek in de komende jaren zijn.

Op basis van de projectenportfolio van de TKI Urban Energy zouden TCM-opslagstechnieken nu aan eerste praktijktesten toe zijn. De techniek heeft op labschaal grote potentie getoond, maar moet nog geïntegreerd worden in het gehele (centrale en decentrale) energiesysteem van een huis, blok of wijk. Op het gebied van materiaal, reactor en integratie moeten nog stappen worden gezet voordat commercialisatie van deze opslagstechniek mogelijk is. Hierbij vormen de KPI's zoals vermogen, compactheid, stabiliteit en prijs de leidraad voor verdere ontwikkeling, mede in de context van opschaling.

CLC zit nog in meer in een ontwikkelfase (ten opzichte van TCM), en het principe dient eerst op labschaal verder gevalideerd en ontwikkeld te worden. Er worden op dit moment pilots uitgevoerd om de techniek te testen in het lab, maar nog niet op woningniveau.

Een eerste indicatie van de markt voor lokale, compacte warmteopslag kan ontleend worden aan de Duitse markt voor de dag-opslag van warmte, met een jaarlijkse afname van ca 600.000 eenheden, voornamelijk compacte watersystemen. Aangezien de Europese markt op zijn minst vijf keer groter is, en er rekening wordt gehouden met groei, wordt een marktpotentieel van 10 miljard€/jaar verwacht in 2030 in de gehele EU. Hier ligt veel ruimte om een leidende marktpositie voor de Nederlandse industrie op te bouwen, ook gezien de leidende kennispositie van Nederland op het gebied van TCM- en CLC-technologie.

Waar initieel vooral werd gezocht naar standalone oplossingen, is er nu meer aandacht voor combinaties tussen warmtepompen en warmteopslag. Deze combinatie heeft de potentie om het elektriciteitsnet te kunnen balanceren, om een groter deel van de



energieopwekking uit zon en wind op te kunnen vangen en de leveringszekerheid van duurzame energie aan gebouwen te garanderen. Deze combinatie sluit goed aan bij het Mission Innovation-project op het gebied van de *Comfort Climate Box (CCB)*, waarin Nederland een leidende rol heeft. Dit concept is zodanig ontworpen dat alle componenten – warmtepomp, energieopslagmodules, energieopwekkingsmodules, controllers – goed met elkaar samenwerken door middel van een geoptimaliseerde control-strategie.

Welke innovaties zijn nodig?

De technologie op basis van de hierboven genoemde principes vertoont grote verschillen in ontwikkelingsstadia. Het zwaartepunt in ontwikkeling voor de middellange termijn ligt op thermochemische materialen.

1 Warmteopslag in water: TRL 8-9

Warmteopslag in (hoog-)geïsoleerde vaten is bewezen technologie, en bij uitstek geschikt voor de korte termijn. Ondanks nieuwe innovatieve technologieën is het gebruik van water als opslagmedium geen verleden tijd. Ontwikkelingsvragen liggen op het vlak van systeemintegratie van de huidige producttechnologie om warmteverliezen verder te verminderen, grootschalige wateropslag op blokniveau en kleinschalige wateropslag om korte dagelijkse fluctuaties en vermogensvragen op te vangen.

2 Warmteopslag in faseveranderende materialen (PCMs) TRL 7-9

PCM-gebaseerde producten zijn reeds op de markt voor kortetermijnbuffering (dagen) in samenhang met andere systemen, waaronder warmtepompen. Daarmee vormen ze een compactere opslag dan water. Ook hier liggen ontwikkelingsvragen bij verdere systeemintegratie. Verder wordt de toepassing van PCM's als medium voor transporteerbare warmte geëxploreerd.

Een bijzondere, andere toepassing van PCM in de markt met een indirect effect op energiegebruik betreft de integratie van PCM's in bouwmaterialen; daarmee geven ze lichte constructies thermische traagheid. Hiermee wordt beoogd om dag/nacht-temperatuurfluctuaties te reduceren, om daarmee het comfort te verhogen en de koeling en verwarming te reduceren.

3 Warmteopslag in thermochemische materialen (TCM) TRL 5

Deze technologie bevindt zich nog in het ontwikkelstadium. De grote potentie is aangetoond en gevalideerd onder goed gedefinieerde omstandigheden in het lab. De technologie staat nu op het punt om het stadium te betreden van validatie in reële omstandigheden, geïntegreerd in het energiesysteem. In essentie zijn er drie elementen waarin verder ontwikkelingen zullen plaatsvinden:

- materiaal: met als belangrijkste uitdagingen de verdere mechanische stabiliteit en de verhoging van het vermogen bij grootschalige productie;
- reactor: verdere prestatie-optimalisatie en kostenreductie van huidige reactorprincipes;
- systeemintegratie: identificatie van de optimale configuratie(s) in het lokale en centrale energiesysteem en de ontwikkeling van regelstrategieën.



4 Warmteopslag door redox-principes (CLC) TRL 3

Dit opslagprincipe kent verreweg de hoogste energiedichtheid, maar bevindt zich in vergelijking met de andere principes het verst verwijderd van technologievolwassenheid. De potentie ervan is aangetoond. De grote ontwikkelopgaves zijn onder andere stabiliteit, kostenreductie en veiligheid.

Innovatieprogramma

De benodigde instrumenten bevatten: een gebundelde aanpak van funderend onderzoek voor materialen, reactoren en systeemintegratie (bundeling met NWO), innovatie-acties om de stap naar gebruiksklare prototypes te zetten, demonstraties en pilots (om een volledige validatie in reële gebruikscondities uit te voeren en om de eerste overtuigende successen te realiseren) en subsidie-instrumenten om de eerste uitrol te stimuleren. Mechanismen zijn vereist om de aansluiting en synergie met Europese innovatieprogramma's te faciliteren, zeker om het marktperspectief voor de Nederlandse industrie vroegtijdig te vergroten.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor vijf en tien jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018⁷:

Systeem KPI		Doel 2025	Doel 2030
(1)	Kosten (€/GJ)	15	7,5
(2)	Operationele kosten (€/jaar)	100	100
(3)	Compactheid (GJ/m ³)	0,5	0,7
(4)	Vermogen (kW/MJ)	0,1	0,5
(5)	Minimale levensduur (cycli)	250	500
(6), (7)	CO ₂ -reductie	50%	75%

- 1 De ratio tussen CAPEX en de energie-inhoud van 1 cyclus
- 2 De totale jaarlijkse kosten voor onderhoud en elektriciteit
- 3 De ratio van de energie-inhoud van 1 cyclus en het volume van het apparaat
- 4 De ratio van het door het apparaat geleverde warmtevermogen en de door het apparaat dagelijks geleverde warmte
- 5 Het minimale aantal cycli waarbij het prestatieverlies niet meer dan 5% is
- 6 De toename van het aandeel groene energie in het totale energiegebruik ten opzichte van een *full-electric (state-of-the-art)* warmtepomp
- 7 Betreft de wijziging van het aandeel groene energie in het totale energiegebruik als gevolg van de warmtebatterij in nog te definiëren referentie (voorstel: *full-electric*)

⁷ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



Welk beleid is hiervoor nodig

1 Gebundelde programmering (funderend) onderzoek-innovatie-implementatie

Benodigde instrumenten omvatten een gebundelde aanpak van:

- funderend onderzoek voor materiaal, reactor en systeemintegratie (bundeling met NWO);
- innovatie-acties om de stap naar gebruiksklare prototypes te zetten, demonstraties en pilots om een volledige validatie in reële gebruikscondities uit te voeren en eerste overtuigende successen te realiseren;
- subsidie-instrumenten om de eerste uitrol te stimuleren.

2 Koppeling nationale en Europese innovatieprogramma

Mechanismen zijn vereist om de aansluiting en synergie met Europese innovatieprogramma's te faciliteren, zeker om het marktperspectief voor Nederlandse industrie vroegtijdig te vergroten.

3 Introductie van instrumenten voor versnelling, als cruciale randvoorwaarde om een competitieve voorsprong voor Nederlands bedrijfsleven te creëren.

Deelprogramma 4: duurzame warmtenetten

Omschrijving van het deelprogramma

Warmtenetten zijn onderdeel van de collectieve warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Het idee is om warmte die vrijkomt uit bijvoorbeeld de industrie of biomassacentrales, aquathermie en geothermie, te distribueren naar de gebouwde omgeving voor de warmtevoorziening.

Een traditioneel warmtenet bestaat vrijwel altijd uit twee leidingen; een heengaande en een retourleiding. Via een afleverset in de woning wordt de warmte uit het warmtenet overgedragen aan het verwarmingssysteem in de woning. Hieronder staat een schematische weergave van de keten:

Een warmtenetwerk kan warmte leveren aan een wijk door middel van een leidingnetwerk. Innovatieopgaven zijn de aansluiting van lage temperatuurbronnen en de aansluiting en afrekening van meerdere bronnen. Een warmtenetwerk biedt veel potentie voor de ontsluiting van geothermie en aquathermie en kan goed gecombineerd worden met seizoensopslag.



Toekomstige warmtenetten zullen steeds meer gedistribueerde bronnen krijgen. De meest extreme variant is een warmte- en koudenet waarbij verschillende gebouwgebruikers tegelijkertijd warmte of koude kunnen afnemen; netten voor warmte-koudeopslag (WKO) zijn hier voorbeelden van. De stroomrichting in dergelijke warmte- en koudenetten wordt volledig bepaald door de verdeling van warmte- en koudevragers. Het warmte- en koudenet faciliteert dan de uitwisseling van thermische energie.



Doelstellingen

- Van hogetemperatuurverwarming naar midden- en lagetemperatuurverwarming. Hierdoor is er veel meer restwarmte beschikbaar. Om gebruik van lage temperatuur mogelijk te maken, wordt er voor een integrale benadering gekozen. Daarvoor wordt ook gekeken naar de kosten per woning, zoals extra kosten voor isolatie, eventuele aanpassing van afgiftesystemen en een aparte bereiding van tapwater. Het is mogelijk om warmte van lagetemperatuurbronnen eenvoudig met warmtepompen op midden of hoog temperaturniveau te brengen. In de afweging wordt ook rekening gehouden met de effecten van lage temperaturen op leidingverliezen;
- Kosten reduceren van aanleg, exploitatie, uitkoppeling van duurzame warmtebronnen en reductie van warmteverliezen;
- Het optimaliseren en flexibiliseren van het warmte- en koudenet met meerdere bronnen en verschillende temperaturen om zo verduurzaming en cascadering van warmte en koude te stimuleren.

Huidige stand van zaken

Warmtenetten zijn van oudsher lokale monopolies, waarbij één warmtebedrijf verantwoordelijk is voor de levering aan de klanten en daarmee aan de gehele keten: de productie van warmte, het distributienetwerk en de levering aan de consument. De restwarmte die vrijkomt bij bijvoorbeeld de verbranding in elektriciteitscentrales of bij het verbranden van afval of biomassa, wordt gebruikt om de gebouwde omgeving te verwarmen. Bij beperkte capaciteit levert deze bron alleen de basiswarmte, en zijn er gasgestookte hulpketens die de piekbelasting opvangen. Het warme water dat stroomt door een warmtenet is een klimaatneutrale energiedrager; de duurzaamheid van een warmtenet wordt vooral bepaald door hoe duurzaam de warmtebron zelf is. De warmteopwekking vindt op dit moment nog hoofdzakelijk plaats met fossiele brandstoffen. Daarmee worden momenteel wel CO₂-besparingen van 35-50 % bereikt, doordat de warmte veelal afkomstig is van warmtekrachtinstallaties, waarbij met een hoog overall rendement fossiele brandstoffen worden omgezet in elektriciteit en warmte.

In Nederland wordt 4% van de warmtevraag voorzien vanuit een warmtenet. In het Klimaatakkoord wordt een sterke groei verwacht. De projecten in de regeling Proeftuinen Aardgasvrij van het Ministerie van BZK werken voor het merendeel aan warmtenetten. De verwachting is dat er naast de hogetemperatuurwarmtenetten ook midden- en lagetemperatuurnetten zullen komen. Daarmee kunnen ook lokale en duurzame bronnen worden aangesloten. De eerste pilots en demonstraties met projecten voor het gebruiken van restwarmte uit lokale bronnen zoals supermarkten, aquathermie en datacenters lopen momenteel. Ook geothermische bronnen zullen op korte termijn in de warmtenetten worden ingepast. Zoals uit de analyse van de huidige projectenportfolio blijkt, is er ook aandacht voor de ontwikkeling van koudenetten, maar deze is vooralsnog minder groot dan de warmtenetten.

Welke innovaties zijn nodig?

Om de transitie van de huidige warmtenetten naar warmte- en koudenetten te maken, maar met name naar nieuwe concepten voor warmtenetten, zijn tal van innovaties nodig. Er is onderzoek nodig naar ontwerpmethodes, afwegingstools en



regelstrategieën. Kostenverlagingen door gebruik van goedkopere materialen (bij lagere temperaturen) en innovatieve aanlegmethodes zijn nodig voor versnelling van de warmtetransitie. Voor warmte- en koudenetten met verschillende bronnen gaat het om de technische en operationele inpasbaarheid, maar wellicht zijn ook andere samenwerkingsvormen nodig. Deze samenwerkingsvormen zullen technisch ondersteund worden door een volgende generatie van operationele tools, die de geoptimaliseerde inzet van verschillende bronnen bepalen.

Met de ontwikkeling van warmtenetten en de groei naar grote aantallen individuele warmtepompen in woningen, neemt de behoefte toe aan duurzame bronnen. Een van deze potentiële bronnen betreft thermische energie uit oppervlakte-, afval en drinkwater – tezamen aangeduid als aquathermie. Het zijn lagetemperatuurbronnen, die je energetisch gezien gunstig kunt combineren met seizoensopslag in het grondwater (WKO) of op grotere diepte. De inzet van warmte zal zijn gekoppeld aan collectieve warmtepompen die warmte kunnen opwaarderen naar juiste temperaturen. Ook de inzet van koeling is goed mogelijk. Verdere uitwerking en kennisontwikkeling zullen sterk zijn gekoppeld aan het realiseren van pilotprojecten, vanwege de complexiteit van de systemen waarin aquathermie een rol zal spelen. Er bestaat een grote samenhang met de ontwikkeling van warmtenetten.

Technische-inhoudelijke innovatievragen zijn vooral gericht op kosteneffectiviteit, seizoenseffecten, impact van variabele temperaturen op de omgeving waaruit warmte wordt onttrokken en de effecten op het watersysteem. Daarnaast moet het economische, juridische en maatschappelijke kader worden uitgewerkt en moet de wenselijke *governance*-vorm rond de winning van warmte worden ontwikkeld.

Korte- en langetermijnontwikkelingen

Op de korte termijn moeten gemeenten aangeven welke wijken van het gas af gaan. Dit is belangrijk in de strategiebepaling voor de ontwikkeling en uitrol van warmtenetten in Nederland. De kosten voor warmtesystemen kunnen verder omlaag worden gebracht door innovatie op het gebied van betere en goedkopere materialen (wat betreft isolatiewaarde), verbeterde apparatuur, verbeterde aansluitmethoden op de bestaande bebouwing en verbeterde aanlegmethodes van leidingen in de gebouwde omgeving. Verdere opschaling van de integratie van alternatieve duurzame bronnen in de warmtenetwerken is belangrijk. Ook is de ontwikkeling van planningstools of GIS-tools nuttig, om inzichtelijk te maken voor welke gebieden warmtenetten moeten worden ontwikkeld en om de implementatie efficiënt en kosteneffectief te maken.

Op de lange termijn zullen systeemonderdelen als gevolg van meer onderzoek, opschaling en leercurves verder afnemen. Doordat de gebieden die op warmtenetten worden aangesloten echter steeds uitdagender worden, is het onzeker of de systeemkosten nog significant zullen dalen. Door de ontwikkeling van nieuwe graafconcepten (bijvoorbeeld zonder het openbreken van de straat), wordt het mogelijk om sneller en efficiënter warmtenetten aan te leggen. Dit kan leiden tot verdere kostendalingen en het verhogen van maatschappelijk enthousiasme. Verdere integratie van duurzame bronnen en (lokale) restwarmte in warmtenetten, zal de CO₂-uitstoot van het warmtesysteem omlaag brengen. Ook het opwaarderen van bronnen met (industriële) warmtepompen op wijkniveau behoort tot de aandachtsgebieden (de



ontwikkeling hiervan wordt in MMIP 7 voorzien). Het doel is een CO₂-neutraal warmtesysteem in 2050. Op lange termijn worden ook multi-temperatuurnetwerken ontwikkeld voor het optimaal inzetten van warmte- en koudebronnen en afnemers van warmte en koude. Daarnaast worden methoden 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. Ook worden planningstools gekoppeld aan andere (planning)systemen, zodat geplande werkzaamheden aan wegen, straten en andere ondergrondse netten inzichtelijk worden en afstemmen mogelijk is. Dit heeft zowel effect op de kosten als op het maatschappelijk enthousiasme. Ten slotte wordt de ontwikkeling van detectie- en diagnosemethodes van fouten in het warmtenetwerk (bijvoorbeeld onderstations, pompen, kleppen, etc.) verwacht.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor vijf en tien jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018⁸:

Systeem KPI	Doel 2025	Doel 2030
Aantallen aansluitingen		80.000 aansluitingen erbij per jaar
Kosten (€/GJ)	1,5% verbetering per jaar t.o.v. 2019 n.t.b.	
Operationele kosten (€/jaar)	1,5% verbetering per jaar t.o.v. 2019 n.t.b.	
Duurzaamheid bronnen (CO ₂ -emissies/GJ)		17 kg/GJ (70% reductie t.o.v. aardgas)
(piek)belasting e-net op woning/wijk niveau (kW/m ² BVO)	n.t.b.	n.t.b.
Maatschappelijk enthousiasme; overlast, ruimtebeslag in woningen (-)	n.t.b.	n.t.b.
EU-richtlijn REDII:	1 tot 1.5%-pt duurzame warmte extra per jaar tot 2030	

Welk beleid is hiervoor nodig

Projecten in de lage TRL-niveaus doen onderzoek naar het opzetten en uitrollen van nieuwe slimme warmtenet-infrastructuren. Belangrijke aandachtspunten zijn hierbij de invoer van meerdere warmtebronnen: hoe kan je garanderen dat er genoeg invoer is en hoe optimaliseer en beheer je het hele warmtesysteem? Ook wordt er gekeken naar andere bronnen zoals warmtewinning uit drinkwater, lagetemperatuurnetwerken of de combinatie met warmteopslag.

⁸ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



Onderzoek in de hogere TRL-niveaus vindt plaats op het gebied van slimme sturing van netten, verslimmen van lekdetectie en het ontwikkelen van warmtenetten voor de (glas)tuinbouw.

Deelprogramma 5: Grootschalige thermische opslag

Omschrijving van het deelprogramma

Het aanbod vanuit (duurzame) warmtebronnen sluit niet goed aan bij de vraag naar warmte.

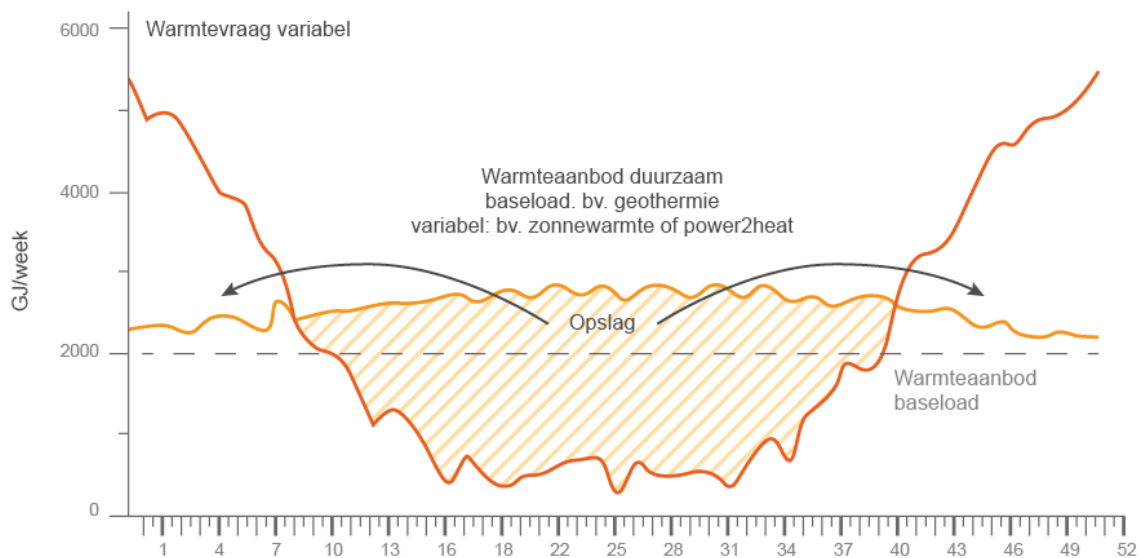
(Seizoens)opslag van warmte is noodzakelijk om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van de duurzame warmtebronnen, om vraag en aanbod optimaal op elkaar te laten aansluiten, en om de kosten voor warmtelevering te beperken (zie figuur 1). In deelprogramma 3 zijn verschillende vormen van (compacte) warmteopslag beschreven die op kleine schaal in woningen kunnen worden toegepast:

- Warmteopslag in water;
- Warmteopslag in faseveranderende materialen;
- Warmteopslag in thermochemische materialen;
- Warmteopslag door redox-principes.

Grootschalige warmteopslag is nodig om seizoenen te kunnen overbruggen. Warm water wordt opgeslagen onder de grond en kan daar op temperatuur worden gehouden. Voordat grootschalige uitrol van deze techniek kan plaatsvinden, moeten er nog juridische kaders worden ontwikkeld, pilots worden uitgevoerd en moeten we meer inzicht krijgen in de gevolgen van grootschalige warmteopslag.

Een aantal van bovengenoemde technologieën kan op termijn worden opgeschaald naar wijkniveau nadat de efficiëntie is verbeterd en kostenreducties zijn behaald op kleine schaal. Innovaties en toepassingen gericht op opschaling naar wijkniveau worden meegenomen in deelprogramma 3: 'Compacte warmteopslag'. Deelprogramma 5 richt zich specifiek op grootschalige systemen voor seizoensopslag van warmte (het overbruggen van langere perioden). Deze systemen kunnen naast seizoensopslag ook flexibiliteit leveren aan het elektriciteitsnet door middel van Power2Heat. Hiermee kunnen overschotten aan elektriciteit worden ingezet om via warmtepompen seizoensbuffers te creëren. Seizoensopslag kan ook helpen om warmte-infrastructuur te optimaliseren en daarmee de aanlegkosten te beperken.





Grootschalige opslag van warmte richt zich op schaalgroottes vanaf wijkniveau tot en met de opslag ten behoeve van grote regionale warmtenetten. De huidige techniek om voor langere tijd warmte op te slaan wordt reeds toegepast in grootschalige bovengrondse buffers. Die worden toegepast om bijvoorbeeld bij energiecentrales warmte en elektriciteitslevering los te koppelen; zo wordt de inzet van de centrale meer flexibel. Maar deze systemen hebben onvoldoende schaal om enkele duizenden huizen van warmte te voorzien.

Opslag van warmte in de ondergrond is een van de goedkoopste vormen van seizoensopslag. Bodemenergie is een al veel gebruikte techniek, waarbij warmte en koude wordt opgeslagen in de ondiepe ondergrond (<500m) met temperaturen lager dan 25 à 30°C.

Voor verdere verduurzaming van het warmtesysteem biedt ondergrondse warmteopslag met hogere temperaturen (met temperatuurniveaus hoger dan 30°C en oplopend tot 90 à 120°C) kansen: het financiële en energetische rendement verbetert. Dit kan in open of gesloten systemen (zoals vormen van *pithole storage*).

Ondergrondse warmteopslag bij temperaturen hoger dan 40°C wordt echter nog zeer beperkt toegepast in Nederland. Met betrekking tot de techniek, de effecten, de robuustheid van de business case en het bijbehorende juridische kader zijn er belangrijke uitdagingen. Kennisontwikkeling, kennisdeling en ervaring is nodig voor een snellere en verantwoorde implementatie van ondergrondse warmteopslag in Nederland. Dit deelprogramma richt zich op het wegnemen van de barrières zodat deze technologie na 2025 op grote schaal kan worden toegepast.

Kosten

De kosten van warmteopslag zijn concurrerend in verhouding met andere vormen van energieopslag. Voorwaarde is wel dat de geologische omstandigheden geschikt zijn voor het veilig opslaan van warmte. De aanwezigheid van een goed doorlatende aquifer met een goed afsluitende laag is hierbij een voorwaarde. De investeringskosten zijn een belangrijke component in de totale kostenopbouw. De operationele kosten zijn



laag. Het geologisch risico is een belangrijk element dat doorwerkt in de berekening van de business case. De totale projectkosten zijn dus sterk afhankelijk van de diepte van het reservoir, de lokale geologie en de productie- en retourtemperatuur. Voor opslag in ondergrondse waterhoudende lagen geldt dat een investering van ongeveer € 1.8-2.5 miljoen kan worden aangehouden voor een 6-10MW thermische buffer. De operationele kosten worden bepaald door de pompenergie, het vervangen van de pomp en maatregelen om de doorstroming van het water in het reservoir en de putten te waarborgen. Verder is het rendement van het systeem belangrijk. Schaalvergroting is noodzakelijk om het rendement van de aquifer-opslag boven de 75% te krijgen.

Doelstellingen

Fundamenteel inzicht verkrijgen in de fysische en chemische processen die optreden bij grootschalige warmte-opslag in de bodem op hoge temperaturen. Beter inzicht is nodig om grip te krijgen op de terugwin-efficiëntie, de impact en de chemische processen die tot waterkwaliteitsveranderingen en bronverstopping kunnen leiden. Met dit inzicht kunnen ontwerpen en operaties worden verbeterd en kan eventuele waterbehandeling worden ingericht voor succesvolle exploitatie van grootschalige warmte-opslag.

Het inpassen van seizoensopslag kan helpen om collectieve warmtenetten te optimaliseren door:

- het beter benutten van duurzame warmte of (rest)warmte;
- het besparen van aardgas en CO₂-emissies door de inzet van pieklast-boilers te vermijden;
- extra pieklast beschikbaar te hebben in de winter;
- meer flexibiliteit in vraag en aanbod in het warmtenet;
- het vergroten van de zekerheid van warmtelevering en beter gebruik infrastructuur.

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.

De hoofdoelen van deelprogramma 5 zijn:

- Het wegnemen van technische, juridische en bedrijfseconomische belemmeringen van ondergrondse warmteopslag;
- Beter inzicht krijgen in de effecten van het verantwoord toepassen van ondergrondse warmteopslag;
- Ondergrondse warmteopslag als bewezen techniek toepassen na succesvolle demonstraties.

Huidige stand van zaken

Zoals beschreven is in Nederland reeds veel ervaring met ondergrondse opslag in waterhoudende lagen en is er ook ervaring met opslag in warmtebuffervaten, in mijnwater en in gesloten bodemsystemen. Ook Duitsland en Denemarken hebben ervaring met warmteopslag. Denemarken heeft veel (lokale) warmtenetten en opslag wordt daar ook toegepast. Er vindt bijvoorbeeld opslag in grote waterbassins (*pit storage*) plaats en er zijn lessen te leren van die ervaringen. In Duitsland is ook



ervaring met opslag in waterhoudende lagen op hogere temperaturen. In het EU HEATSTORE-programma worden lessen omtrent ondergrondse warmteopslag uit negen verschillende landen gedeeld (Nederland, Denemarken, Duitsland, Zwitserland, IJsland, Portugal, Spanje, Frankrijk en België). Europa is op dit gebied voorloper.

Ondergrondse opslag onder de 25°C is bewezen technologie. In de Waterwet is opgenomen dat systemen met injectietemperaturen tot 25°C en zonder warmteoverschot in de bodem, voldoen aan de eisen voor vergunningverlening. Projecten die warmte willen opslaan en bufferen op hogere temperaturen en met netto warmteverlies in de bodem, moeten aantonen dat het systeem geen nadelige gevolgen heeft, voordat de provincie vergunning kan verlenen. Boven de 25°C zijn in het verleden verschillende technologieën toegepast. Aquifer-opslag kent in Nederland nu twee pilotlocaties (NIOO in Wageningen en KoppertCress in Zuid Holland). Beide opereren boven de 25°C. In het EU HEATSTORE-project wordt een grootschalig demonstratieproject gerealiseerd (6-10 MW) dat opereert tot en met ongeveer 90°C (TRL 6-9).

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 niet ontwikkeld. Ondergrondse warmteopslag in de vorm van buffervaten bevindt zich ook in de demonstratiefase. Een andere toepassing is warmteopslag in oude kolenmijnen. Hierbij wordt mijnwater in oude kolenmijngangen ingezet als warmtebuffer voor het warmtenet. De technologie kan worden gekarakteriseerd als TRL 7-8. Het mijnwaterproject in Heerlen is afgerond en wordt nu geëxploiteerd in andere gemeenten en wijken in Limburg. Door middel van thermische opslag van warm water in de mijnen en slimme warmtenetten worden huizen en gebouwen in de buurt voorzien van duurzame warmte.

Grootschalige thermische opslag is een belangrijk middel voor seizoensopslag en kan veel flexibiliteit bieden aan warmtesystemen en zo hoge investeringskosten in nieuwe bronnen en nieuwe transportcapaciteit verlagen. De warmtetransitie kan zo waarschijnlijk tegen lagere systeemkosten worden gerealiseerd. Ook kan warmteopslag op langere termijn veel flexibiliteit bieden aan het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld middels Power2Heat. Het programma zal erop gericht zijn dat deze impact wordt gemaximaliseerd door hogere temperaturen mogelijk te maken, en inpassing van opslag in het energiesysteem te optimaliseren en kosten van opslag te verlagen. Een van de bronnen waar dit interessant voor is, is aquathermie. In de zomer wordt de warmte gewonnen, en op de momenten met een elektriciteitsoverschot kan met behulp van warmtepompen de temperatuur worden opgewaardeerd en in de ondergrond worden opgeslagen.

Welke innovaties zijn nodig?

Het innovatieprogramma zal zich richten op verschillende thema's:

- Potentieel en inpassing voor ondergrondse opslag: Er is weinig data beschikbaar van de ondergrond voor ondiepe aquifers (200-800 meter). Kennis van de ondergrond is belangrijk om de haalbaarheid en het marktpotentieel van deze technologie beter in te kunnen schatten. Daarnaast is inpassing in het warmtenet en het kunnen kwantificeren van de waarde van een buffer belangrijk om



marktpartijen te interesseren en zodat overheden warmteopslag meenemen in de Regionale Energie Strategieën.

- Milieu en grondwater: Dit deel richt zich op het beter begrijpen van fysische en chemische processen die optreden in de bodem bij grootschalige warmte-opslag op hoge temperaturen. Beter inzicht is nodig om grip te krijgen op de milieu-impact en de chemische processen die tot waterkwaliteitsveranderingen en bronverstopping kunnen leiden. Dit laatste aspect is belangrijk voor de prestatie van het systeem. Ook het monitoren en beperken van milieueffecten staat centraal in dit deel van het programma. Grondwaterkwaliteit, warmte-uitstraling, interferentie van systemen zijn belangrijke speerpunten die in een monitoringsprogramma worden meegenomen.
- Techniek en performance: Het optimaliseren van de technologie, het ontwerp en de exploitatie. Het putontwerp en het optimaliseren van de efficiency staat hierbij centraal. Er is ook structureel aandacht voor aspecten rond kwaliteitsborging bij ontwerp, realisatie en exploitatie.
- Demonstratieprojecten en pilots: De meest logische route naar het oplossen van knelpunten bij grootschalige (ondergrondse) warmteopslag is toepassing in de praktijk en daarvan zo veel mogelijk leren. De eerste stap naar toepassing is het uitvoeren van verkenningen en proefboringen voor kansrijke locaties en deze vervolgens doorontwikkelen tot demonstratieprojecten. Lessen uit de andere programmalijnen worden geïmplementeerd en gevalideerd in de demonstratieprojecten.
- Wettelijk kader: Er is nog geen beleidskader voor ondergrondse warmteopslag. 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.
- Organiseren en verbinden: Succesvolle modellen voor het betrekken van omwonenden en eindgebruikers bij de ontwikkeling van warmteopslag-modellen. Disseminatie van kennis bij ontwerpers, aannemers, operators, beslissers, financiers, vergunningverleners en toezichhouders, door middel van rapporten, tools, handleidingen, cursussen, seminars, etc.

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor vijf en tien jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018⁹:

Systeem KPI	Doel 2025	Doel 2030
Kosten (€/GJ)	8 - 14	6 - 10
Operationele kosten (€/GJ)	n.v.t.	n.v.t.
Opslagcapaciteit (MW)	6 - 10MW	15 - 35 MW
Beleidskader	Warmteopslag in provinciaal beleid opgenomen	In provinciaal beleid geëvalueerd en aangescherpt

⁹ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



Doorlooptijd van PvE tot realisatie	< 2 jaar	< 1 jaar
-------------------------------------	----------	----------

Welk beleid is hiervoor nodig

- Aanpassen van wet- en regelgeving om hogetemperatuuropslag (onder voorwaarden) toe te kunnen staan;
- Uitbreiden van SDE-regelgeving voor warmteopslag;
- Warmteopslag zien als uitgestelde duurzame energieproductie.

Deelprogramma 6: geothermie

Omschrijving van het deelprogramma

Geothermie of aardwarmte is thermische energie uit de aarde. Deze warmte kan gewonnen en gebruikt worden voor temperatuurregeling in gebouwen en kassen. Daarnaast kan een ondergrond gebruikt worden voor warmte- en koudeopslag (WKO), zoals beschreven staat in het vorige deelprogramma.

Door middel van een geothermische bron kan warmte worden gewonnen uit aardlagen. De techniek heeft de potentie om een significante bijdrage te kunnen leveren aan de energievraag vanuit de gebouwde omgeving. Pilots moeten veel inzicht gaan geven en zo de uitrol versnellen.



Het 'Masterplan Aardwarmte' en het ontwerp-Klimaatakkoord gaan uit van een stevige opschaling van warmtenetten en geothermie. Deze moet onder andere mogelijk worden gemaakt door het beter in kaart brengen van de ondergrond en door kostenreducties. In het Masterplan Aardwarmte heeft de geothermiesector zich reeds gecommitteerd aan een opschaling van geothermie in zowel de glastuinbouw als in de gebouwde omgeving. In het plan zijn stevige ambities neergezet voor de groei van geothermie naar ca. 50 PJ in 2030 en 200 PJ in 2050 (nu ~ 3 PJ uit 18 geothermische installaties). In 2050 zal circa 80% van de geprognoseerde 700 geothermische doubletten worden gebruikt voor de verwarming van huizen (135 PJ). Volgens dit pad kan aardwarmte in 2030 voor ongeveer 15% bijdragen aan CO₂-besparing in de warmtesector. Dit gaat om ongeveer 3 Mton aan emissies. In 2050 verwacht men 9 Mton aan CO₂-eq emissies te besparen door het gebruik van aardwarmte. In deze berekeningen is uitgegaan van een dalende warmtevraag, efficiëntere processen, betere isolatie en beperkte bevolkingsgroei.

Van geothermie wordt gesproken als de warmte wordt gewonnen uit aardlagen met dieptes tussen 500 en 4000 meter. Warmte afkomstig uit dieptes tussen 500 en ±1500 meter wordt aangeduid als 'ondiepe geothermie'. Temperaturen van het water liggen dan tussen de 20 en 55°C. Met ondiepe geothermie is in Nederland nog weinig ervaring opgedaan. Met uitzondering van één recent gerealiseerde ondiepe installatie, behoren alle bestaande geothermische installaties in Nederland in de categorie 'diepe geothermie'. Diepe geothermie haalt warm water omhoog vanaf dieptes tussen de 1500 en 4000 meter, en met temperaturen tussen de 55 en 120°C. Deze temperaturen passen uitstekend bij midden (MT) en hoogtemperatuur (HT) warmtenetten en aan



lagere kant van deze range bij de glastuinbouw. Ten slotte wordt in Nederland op dit moment in kader van de 'Green Deal Ultradiepe Geothermie' gekeken naar systemen dieper dan 4000 meter.

Het in het Masterplan voorgestelde groeipad gaat uit van 175 aardwarmtesystemen in 2030. Met de groei van geothermie naar meer dan 100 doubletten, zijn miljardeninvesteringen gemoeid en is gerichte innovatie nodig. De in het Masterplan benoemde aandachtspunten met vraaggestuurde innovatie behoeften zijn: 1) rendabele projecten, 2) veilige en effectieve operationele activiteiten en 3) aansluiting op warmtenetten. Daarnaast zijn voor de opschaling van aardwarmte 4) robuust maatschappelijk draagvlak (publieke acceptatie) en 5) passende wet- en regelgeving, toezicht en beleid van belang.

Opschaling van aardwarmte in Nederland is niet mogelijk zonder het vergroten van de kennis van de ondergrond. Momenteel lopen er onderzoeken naar gebieden waar er minder kennis is over de ondergrond, dit zal in de toekomst een match vergroten. Het Ministerie van EZK heeft EBN de opdracht gegeven om de witte vlekken in Nederland in kaart te brengen door middel van de 'Seismische Campagne Aardwarmte Nederland' (SCAN). Daarnaast lopen er verschillende onderzoeken in de provincie Brabant ('Green Deal Brabant') en door individuele operators die in het bezit zijn van exploratievergunningen. Tenslotte is er extra aandacht voor seismiciteit en andere impact van aardwarmte op de omgeving en de ondergrond.

Het Masterplan gaat uit van een kostenreductie van 30-50% over de levenscyclus van een aardwarmteput tussen nu en 2030 en 2050. Dit moet onder andere mogelijk worden gemaakt door gecoördineerde exploratie en exploitatie zoals dat staat beschreven in de *play-based* portfolio benadering en in het rapport 'Opschaling aardwarmte in warmtenetten'. Schaalvoordelen zullen de kosten, geologische onzekerheden en technische risico's van exploitatie verminderen. Ook is verdere kostenreductie mogelijk door onder andere een structurele inzet van R&D en innovatie. In het kader hiervan zijn de bij het Masterplan betrokken partijen voornemens om een 'Integraal Kostprijsreductieprogramma Aardwarmte' (IKPA) op te zetten. De verwachting is dat IKPA eind 2019 een helder overzicht kan verschaffen in het kostenreductiepotentieel en de bijbehorende kostenreductiestrategieën, inclusief innovatie en R&D.

Het deelprogramma geothermie richt zich op innovaties die de verdere opschaling van aardwarmtetoepassing in de glastuinbouw ondersteunen, evenals het realiseren en daarna opschalen van de eerste geothermieprojecten in de gebouwde omgeving. Het Masterplan Aardwarmte, dat als input voor het klimaatakkoord diende, vormt voor dit deelprogramma het richtinggevende kader.

Doelstellingen

- bijdragen aan opschaling en kostenreductie voor aardwarmte in glastuinbouw en de gebouwde omgeving;
- vergroten van de veiligheid en reduceren van de risico's gedurende de levensduur van een geothermieproject. Er moet extra aandacht komen voor seismiciteit en andere impact van aardwarmte op de omgeving en de ondergrond;



- succesvol toevoegen van aardwarmte aan en inpassen in de bronnenstrategie voor warmtenetten.

Huidige stand van zaken

Er is in Nederland nog weinig kennis en ervaring op gebied van ondiepe geothermie. Wel hebben de industrie en warmtevragers belangstelling voor het ontwikkelen van passende concepten. Olie- en gasexploratie heeft in Nederland in het verleden voornamelijk plaatsgevonden in de diepere ondergrond, waardoor er weinig bekend is over de ondiepere vaak geconsolideerde lagen. De porositeit en permeabiliteit van de ondiepe zanden kunnen echter wel degelijk geschikt zijn voor lagetemperatuur-geothermie en de putkosten zijn aanzienlijk minder. Daarnaast is de kans op het ontstaan van geïnduceerde seismiciteit kleiner.

Er zijn nu 18 actieve doubletten in operatie in Nederland. Deze vallen allemaal in de categorie diepe geothermie, en zijn doorgaans tussen de 2000 en 3000 meter diep. In totaal wordt ongeveer 3 PJ aan duurzame warmte met deze systemen geproduceerd. Deze projecten generen vooral warmte voor de glastuinbouw. In deze sector is er een goede business case voor aardwarmte, vanwege een hoog aantal vollasturen (6000 per jaar) en een geconcentreerde vraag. Hierdoor is aardwarmte nu al de meest economische oplossing als er geen duurzame restwarmte beschikbaar is. Door onder andere diepere boringen (en dus hogere temperaturen) en grotere debieten (door een grotere diameter van de put) is het gemiddeld vermogen per doublet over de periode 2010-2018 toegenomen. Door twee installaties wordt een deel van de warmte geleverd aan warmtenetten. Op dit moment is er nog geen aardwarmteproject primair in operatie voor een stadsverwarmingsnet.

Een belangrijke uitdaging voor de geothermieontwikkeling is de inpassing van geothermie in de gebouwde omgeving, als onderdeel van collectieve warmtenetten. Er wordt aangestuurd op een serie demonstratieprojecten voor bestaande warmtenetten en uiteindelijk ook voor nieuwe warmtenetten. Geothermische warmte kan op dit moment alleen kosteneffectief worden toegepast als er sprake is van substantiële warmtelevering in de basislast (minimaal 6000-7000 vollasturen per jaar). Op dit moment is slechts één keer een geothermie-doublet gerealiseerd voor een warmtenet in de gebouwde omgeving, maar deze is door het uitblijven van de warmtevraag nooit aan een net aangesloten.

In de gebouwde omgeving is brede samenwerking in de warmteketen nodig om aardwarmte op een veilige en effectieve manier in te kunnen zetten. Geothermische warmte zal daarbij door middel van warmtenetten naar de eindgebruikers worden getransporteerd. Vanwege de gestelde eisen aan leveringszekerheid en de grote verschillen in warmtevraag gedurende de dag en het jaar, zal aardwarmte altijd onderdeel zijn van een bredere bronnenstrategie, met minimaal piek- en backupvoorzieningen. Meer in het algemeen zal er voor de gebouwde omgeving geïnvesteerd moeten worden in het ontwikkelen van effectieve systeemintegratie tussen warmtenetten, warmteopslagsystemen en een brede combinatie van bestaande en nieuwe warmtebronnen zoals (ondiepe) geothermie, aquathermie, restwarmte en warmte uit biomassa.



Op dit moment werken consortia, EBN en TNO samen in een Green Deal om de mogelijkheid voor ultradiepe geothermie (UDG) gezamenlijk te onderzoeken. De nadruk ligt daarbij in eerste instantie op warmte voor de industrie en temperaturen boven de 120°C. UDG ligt buiten de scope van MMIP 4, dit valt onder MMIP 7 'CO₂-vrij industrieel warmtesysteem'.

Voor de verdere opschaling van geothermie is meer kennis nodig over de ondergrond. Het SCAN-programma biedt hiervoor een basis. Opschaling vereist ook de ontsluiting van geothermische bronnen in gebieden waarvan de ondergrond minder goed bekend is; de zogenaamde 'witte vlekken' die door SCAN in kaart worden gebracht. Een grote uitdaging in deze gebieden is, naast kostenreductie, het terugbrengen van het risico op een tegenvallende bron bij een eerste boring. Hier kunnen proefboringen een belangrijke bijdrage leveren. Daarnaast wordt gewerkt aan het ontwikkelen van de *play-based* portfolioaanpak gericht op risicoreductie en aan het vergroten van het herhaalpotentieel in combinatie met innovatie en kennisdeling.

Welke innovaties zijn nodig?

De generieke uitdagingen voor de geothermieontwikkeling in Nederland zijn kostprijsreductie, veilig en doelmatig produceren gedurende een levensduur van meer dan dertig jaar en het in kaart brengen van de witte vlekken in de ondergrond. Opschaling zal plaatsvinden als er meer zicht is op het potentieel van de ondergrond en als er doelgericht wordt geïnvesteerd in het (door)ontwikkelen van maatregelen, processen en technieken die de kans op een geslaagd aardwarmteproject vergroten. Het gaat daarbij om een breed pakket aan zaken; van technische innovatie tot procesinnovatie.

Het verder vergroten van de kennis van de ondergrond is een randvoorwaarde voor opschaling, kostprijsverlaging en risicoreductie. Activiteiten moeten goed worden afgestemd en complementair zijn aan het SCAN-project en andere bestaande onderzoeks- en innovatieprojecten op het gebied van de kennis over de ondergrond.

Een belangrijk aandachtspunt voor innovatie zijn ontwikkel- en productiestrategieën voor geothermieprojecten. Het doel daarbij is onder andere het ontwikkelen en toepassen van kosteneffectieve (nieuwe) productiemethodes en *fit for purpose* putontwerpen die effectiever de warmte aan het oppervlak kunnen brengen en/of geschikt zijn voor grotere of variërende debieten. Een interessant vertrekpunt hierbij zijn de ontwikkelstrategieën uit de olie- en gassector (bijvoorbeeld *field development* strategieën).

De 'Innovatie Roadmap Geothermie Nederland' en de 'Kennisagenda Aardwarmte' hebben innovaties op technisch vlak in kaart gebracht. Op hoofdlijnen gaat het om innovaties en R&D ten behoeve van veiligheid en risicobeheersing (bijvoorbeeld geïnduceerde seismiciteit), waterinjectie en levensduurverlenging, inzet op het verminderen van chemicaliën (tegen verkalking en corrosie), verwerking van afvalstoffen en het verbeteren van het grondwatermanagement, reservoirmanagement, verbeteren putontwerpen en boortechnieken, reservoir-stimulatie en verbeterde data-acquisitie. Voor de langetermijnontwikkelingen wordt gekeken naar het ontwikkelen van radicaal nieuwe boortechnieken en fundamentele en toegepaste kennisopbouw voor



een betere voorspelling en mitigatie van aardbevings- en lekkagerisico's. Ondersteunend hieraan is de ontwikkeling van *tooling* (bij voorkeur *open source*). Aan het eind van de levenscyclus van een geothermiebron moet deze worden ontmanteld. Ook hier ligt een innovatieopgave. Al deze innovaties zullen in gelijke mate effect hebben op projecten in de gebouwde omgeving en in de glastuinbouw.

Voor de gebouwde omgeving zijn daarnaast ook andere maatregelen en innovaties noodzakelijk. Er is in Nederland één project voor stadsverwarming in de gebouwde omgeving gerealiseerd (Den Haag). Door het uitblijven van aansluiting op de warmtevraag is het systeem echter niet in gebruik genomen. Hier ligt ook een van de grote uitdagingen voor aardwarmte in de gebouwde omgeving: het kunnen aansluiten aan voldoende warmtevraag om een veilige en efficiënte warmtelevering vanuit de aardwarmtebron te kunnen bewerkstelligen. Een geothermiebron is gebaat bij een zo stabiel mogelijk gebruik van het beschikbare vermogen. Vanuit de hoge investeringen en de technische levensduur van de bron is het daarnaast wenselijk om op een zo hoog mogelijk vermogen warmte te kunnen afgeven. 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. Slimme systeemintegratie zal hier antwoorden op moeten bieden. Andere aandachtspunten voor innovatie in de gebouwde omgeving liggen op het vlak van veilige en effectieve operatie (boren en exploitatie), doelmatig ontwerp van bovengrondse installaties en het inpassen van de geothermische warmte in de bredere bronnenstrategie. Hiervoor is het noodzakelijk om eerste pilots of demonstratieprojecten (in samenwerking met warmtebedrijven) op te zetten voor de inpassing van aardwarmte in warmtenetten en in de bronnenstrategie.

Een ander belangrijk aandachtspunt is het ontwikkelen van concepten voor ondiepe geothermie (500-1500 meter). Ondiepe geothermie kan interessant zijn omdat de investeringen, doorlooptijd voor realisatie en complexiteit van de projecten aanzienlijk lager zal liggen dan die van diepe geothermie. De temperaturen zijn geschikt voor LT-systemen en kunnen door inzet van warmtepompen worden opgewaardeerd. Ondiepe geothermie kan een bijdrage leveren aan warmtelevering in de gebouwde omgeving en in de tuinbouw. De vermogens zullen aanzienlijk lager zijn dan die van bestaande diepe geothermie installaties.

Samenvattend zijn de volgende inspanningen nodig:

- Verder in kaart brengen van de Nederlandse ondergrond (*play-based*) om meer zicht te krijgen op het potentieel voor ondiepe en diepe geothermie. Voortbouwen op het verbeteren en uitbreiden van Themogis en het SCAN-programma;
- Het verder ontwikkelen van strategieën voor geothermieprojecten, inclusief *tooling* (bij voorkeur *open source*);
- Het optimaliseren van bestaande materialen en technologieën voor specifieke eigenschappen van (*sub*)*plays* gedurende de levensduur van een geothermieproject (30-50 jaar);
- Op basis van gerichte pilots of demonstratieprojecten bijdragen aan de versnelde inpasbaarheid van aardwarmte in warmtenetten en de bronnenstrategie voor de



gebouwde omgeving. In samenwerking met de warmtebedrijven en met aandacht voor systeemintegratie;

- Veilig en doelmatig produceren door gerichte innovatie- en kostprijsreductiestrategieën.

Door deze en andere innovaties kunnen, in combinatie met andere kostprijsverlagingen, de huidige 3 PJ in de glastuinbouw worden uitgebreid naar 30 PJ in 2030. Bovengenoemde inspanningen zijn ook nodig om het aandeel aardwarmte in de gebouwde omgeving naar de beoogde 20 PJ in 2030 te brengen¹⁰.

Korte- en langetermijnontwikkelingen

De partijen in het Masterplan Aardwarmte hebben een inschatting gemaakt van een kostenreductiepotentieel van 50% in 2050. Daarbij is ervan uitgegaan dat aardwarmte rond 2035 subsidieeloos en rendabel kan opereren. Belangrijk daarin is naast CAPEX-reductie ook de integrale kostenreductie over een levensduur van 30 jaar. IKPA zal in 2019 een nullijn van de kosten (CAPEX en OPEX) vaststellen en integrale strategieën (inclusief innovatie) definiëren, inclusief bijbehorende kostenreductiestrategieën en innovatiebehoefes.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor 5 en 10 jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018¹¹:

System KPI	Doel 2025	Doel 2030
Systeemkosten (€/GJ)	Ntb*	30% kosten verlaging
Operationele kosten tuinbouw (€/jaar)	Ntb*	30% kosten verlaging
Operationele kosten ondiep (500-1500 m) (€/jaar)	Ntb*	30% kosten verlaging
Operationele kosten diep (>4000 m) (€/jaar)	Ntb*	30% kosten verlaging
Versnelling/groei sector (PJ geïnstalleerd/PJ geproduceerd)	8 (= ~ 50 systemen)	50 (= ~175 systemen)
Pilots in gebouwde omgeving, groot bestaand warmtenet	4	5
Pilots gebouwde omgeving nieuw warmtenet	2	5

Welk beleid is hiervoor nodig

Zoals eerder vermeld heeft de sector samen met de Ministeries van EZK en BZK het Masterplan Aardwarmte opgesteld. 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.

¹⁰ Het is de bedoeling dat IKPA eind 2019 o.a. rekening houdend met de in dit deelprogramma genoemde innovatiebehoefes kostprijsreductie strategieën en het beoogde effect op €/GJ gaat presenteren.

¹¹ <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



- SDE: is de huidige SDE regeling afdoende om de doelstelling te halen? Moeten we naar een andere SDE-systemethiek waarbij de hoogte van de SDE wordt aangepast afhankelijk van het risicoprofiel?
- Garantierегeling: deze is er alleen voor projecten met een P90. Kan de garantierегeling worden uitgebreid?
- Duurzaamheidscriteria: de combinatie warmtepompen en geothermie scoort slecht op duurzaamheid. De COP 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);
- Subsidieregeling voor eerste risicovolle boring in 'witte vlekken'-gebieden.

Deelprogramma 7: LT bronnen zoals aquathermie en zonthermie

Omschrijving van het deelprogramma

Er zijn verschillende lagetemperatuurbronnen (LT) die potentieel duurzaam warmte (en koude) kunnen leveren aan de gebouwde omgeving zoals aquathermie, datacentra, restwarmte uit industriële processen, restwarmte uit glastuinbouw, bodemenergie en zonthermie.

Kenmerkend is dat deze LT-bronnen van warmte in veel gevallen een warmtepomp nodig hebben om de juiste temperatuur te leveren voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouwsector. De bronnen verschillen van elkaar; de ene levert stabielere warmte dan de ander en is makkelijker of juist moeilijker te integreren in het warmtenetwerk. Daarnaast verschilt de schaal van de bronnen sterk en is bij aquathermie en zonthermie (seizoens)opslag onderdeel van de keten. De vraagstukken die opgelost moeten worden om grootschalige toepassing mogelijk te maken zijn veelal generiek, of het zijn systeemvragen.

Lagetemperatuurbronnen bieden veel potentie als input voor warmtenetten. Het vermogen is groot doordat er talrijke bronnen zijn. Zo kan er warmte worden gewonnen uit oppervlaktewater, uit zonthermische systemen of uit restwarmte van bijvoorbeeld datacenters. Voordat de warmte gebruikt kan worden voor verwarming of tapwater moet het vaak nog worden opgewaardeerd, dit kan door middel van een warmtepomp.

Het is essentieel om grootschalige toepassing van deze LT-bronnen mogelijk te maken zodat ze voorzien in de warmtebehoefte van de gebouwde omgeving. 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 oppervlaktewater, al dan niet in combinatie met andere LT bronnen, (2) (laag) thermische opslagsystemen in de bodem en (3) distributie via slimme warmtenetten.

In het verwarmen of koelen van de gebouwde omgeving is ook een centrale rol voor warmte- en koudeopslag (WKO) weggelegd. WKO-systemen kunnen uitstekend worden ingezet als seizoensopslag voor LT-bronnen zoals aquathermie. Zo kunnen ook bestaande WKO's worden ingezet voor aquathermie en andere LT-bronnen.



Een andere LT-bron is zonnewarmte, ook wel zonthermie genoemd (thermische energie uit zonnecollectoren). Warmte wordt doorgaans onttrokken via een warmtevoerend medium: in de meeste gevallen is dat water (al dan niet in combinatie met een antivriesmiddel). De thermische energie uit dit warme water kan dan overgedragen worden aan processen, zoals het verwarmen van ruimtes in de gebouwde omgeving, of gebruikt worden voor warm tapwaterbereiding. Ook is het mogelijk om zonthermie toe te passen in de industrie. Bij relatief kleine schaal (bijvoorbeeld <200 m² 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 zodanige omvang dat verdeling over meerdere afnemers voor de hand ligt. Hiermee komt aansluiting op een warmtenet in beeld. Een ander aandachtspunt betreft de ongelijktijdigheid van vraag en aanbod: in de zomer is het warmte-aanbod het grootst (en de warmtevraag doorgaans relatief klein), maar juist in de winter bestaat er een significante warmtevraag, terwijl het warmte-aanbod uit zonnewarmte dan minimaal is. De link tussen de seizoenen kan worden gemaakt middels een seizoensgebonden warmteopslag (deelprogramma 5) of via gebouwgebonden compacte warmtesystemen (deelprogramma 3).

Een andere snel groeiende sector in Nederland zijn datacenters. Er zijn circa 95 datacenters in Nederland en door de beschikbaarheid van goede dataverbindingen is er een gunstig vestigingsklimaat voor internationale bedrijven. Circa 70% van het oppervlak aan datacenters ligt in de Metropool Regio Amsterdam en het is een van de sterkst groeiende markten in Europa. Nederland heeft in totaal ~ 1.200 MW aan datacentercapaciteit beschikbaar. Google en Microsoft hebben honderden miljoenen geïnvesteerd in twee nieuwe grote datacenters in de Eemshaven en Wieringermeer. Datacentra produceren een constante stroom aan restwarmte die kan worden benut voor het verwarmen van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Er zijn interessante combinaties te maken met restwarmte van datacenters en het opwaarderen van deze restwarmte met warmtepompen en zonthermische systemen, al dan niet in combinatie met vormen van warmte-opslag. De innovatievragen liggen vooral op systeemniveau.

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

Doelstellingen

De doelstelling van dit deelprogramma zijn:

- 1 Het verbeteren van de techniek en het ontwerp van LT-systemen en ketens;
- 2 Het realiseren van de noodzakelijke kostenreductie om LT-bronnen concurrerend te maken ten opzichte van andere warmtebronnen;



- 3 Het ontwikkelen van opschalingsstrategieën en een aanpak voor de implementatie van LT-bronnen;
- 4 Het ontwikkelen en doorlopen van pilotprojecten;
- 5 Het monitoren van ecologische effecten op water, grondwater en bodem;
- 6 Uitgewerkte concepten voor aquathermie en zonthermie op verschillende schaalgroottes (woning/blok/wijk) en in verschillende systeemplayouts (temperatuurniveaus, combinatie met warmtepompen, seizoensopslagconcepten). Het doel is om de techniek beter te positioneren bij de afwegingen rondom CO₂-uitstootreductie in de gebouwde omgeving;
- 7 Inzicht in de kostenstructuur van projecten en het identificeren van kansen op het gebied van kostenreductie dankzij gerichte innovatie, kennis over systeemvarianten, systeemintegratie en optimalisatie van het ontwerp;
- 8 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 algehele doelstelling van dit deelprogramma is om de toepassing van LT-bronnen 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.

Huidige stand van zaken

Het gebruik van LT-bronnen zoals aquathermie, warmte van datacenters, restwarmte van industriële processen en uit de glastuinbouw wordt op verschillende plekken lokaal en op kleine schaal toegepast, veelal zonder seizoensopslag. Aquathermie wordt in zo'n dertig projecten al op relatief kleine schaal toegepast (projecten van tientallen tot zo'n 1000 woningen) voor warmte, koude en een combinatie daarvan. Er zijn ook grotere projecten in voorbereiding van enkele honderden tot enkele duizenden woningen. Ook wordt in een aantal gevallen restwarmte van datacenters benut voor verwarming van de gebouwde omgeving. Seizoensopslag wordt nog niet toegepast. Binnen het Programma Aardgasvrije Wijken zijn in 2018 twee proeftuinen met aquathermie gestart. In 2019 heeft een groot aantal organisaties, waaronder de waterbeheerders en het Rijk de 'Green Deal Aquathermie' ondertekend en is onder die vlag het Netwerk Aquathermie gestart, getrokken door een programmabureau. Zoals hierboven reeds beschreven liggen er echter flinke uitdagingen op het moment dat we deze bronnen grootschalig willen gaan inzetten als strategie om een deel van de warmtevraag duurzaam in te vullen.

Hoewel zonthermie reeds een werkend steunregime kent (ISDE en SDE+), staat de techniek al jaren stil qua ontwikkeling (bron: CBS, Opendata, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83109NED/table?dl=1FBA8>). In de energietransitie zijn echter alle opties nodig, en volgens een recente studie is het potentieel voor zonthermie, in al haar verschijningsvormen, significant, namelijk 94 PJ in 2050 (bron: Warmtescenario, Berenschot, september 2018).

Welke innovaties zijn nodig?

De volgende innovaties per doelstelling zijn nodig.



1 Verbeteren van techniek en ontwerp

Een aquathermiesysteem bestaat uit verschillende onderdelen: de winning van de warmte via een warmtewisselaar, seizoensopslag van de warmte in grondwaterlichamen of andere warmteopslagsystemen, het verhogen van de temperatuur naar de gewenste eindtemperatuur middels warmtepompen (centraal of decentraal) en het distribueren naar de eindgebruiker. Installatieonderdelen zoals de warmtewisselaar, de filtertechnieken om oppervlaktewater, afvalwater en drinkwater schoon te houden en de warmtepompen moeten efficiënter worden. Ook is optimalisatie op systeemniveau mogelijk. De configuratie van de aquathermiesystemen kan variëren (warmtepomp centraal of decentraal, wel of geen seizoensopslag van warmte, eventueel hogetemperatuuropslag van warmte). Verschillende configuraties hebben voor- en nadelen, zowel technisch als economisch. Daarnaast moet gekeken worden naar het stabiliseren van het warmteaanbod. Het warmtenet ontvangt het liefst een constante warmteaanvoer, terwijl het natuurlijke watersysteem variabel is. Welke dimensionering is vereist en welke andere ontwerpprincipes zijn mogelijk om de warmteaanvoer te stabiliseren en te garanderen? Hoewel de natuurkunde achter zonthermie niet gecompliceerd is, kan met name de systeemintegratie op een slimmere manier aangestuurd worden. Uitdagingen liggen ook op het gebied van warmteopslag.

1 Realiseren kostenreductie

Hoe kunnen we de kosten omlaag krijgen van warmtesystemen die gebruik maken van LT-bronnen? Er zijn bijvoorbeeld extra kosten verbonden aan aquathermie ten opzichte van traditionele WKO. Het vraagt om extra leidingen en inlaatpunten. Om de WKO-systemen in balans te houden, zeker bij grootschalige toepassingen en veel naast elkaar gelegen WKO-systemen (interferentie), is in de toekomst vaker een externe bron nodig, zoals het watersysteem. Welke slimme manieren zijn er om de extra kosten te drukken en de business cases voordeliger te maken? Dit geldt ook voor de inpassing van andere LT-bronnen. Kostenreductie moet vooral worden gerealiseerd via optimalisatie van systeemintegratie.

2 Ontwikkelen opschalings- en implementatiestrategieën

Door toepassing in de praktijk wordt geleerd hoe het beter kan en hoe knelpunten opgelost kunnen worden. Door 'werkend te leren' wordt ervaringskennis opgebouwd. Het gaat hierbij met name om de juridische, beleidsmatige en organisatorische aspecten. Waar moet je allemaal rekening mee houden, hoe betrek je op het juiste moment de stakeholders, hoe ga je om met risico's ten aanzien van leveringszekerheid; zijn er terugvalopties, welke financiële arrangementen zijn mogelijk en werkbaar? Voor dit soort concrete implementatievraagstukken is kennis nodig van wetgeving, projectmanagement, contractmanagement en stakeholdermanagement. Daarnaast is de vraag hoe je van een set van individuele projecten tot een groter samenhangend geheel kunt komen. Welke strategieën zijn daarvoor nodig? Welke systemen zijn verder uit te breiden en hoe worden die uitgerold? Hoe past dat in het ruimtelijke beleid? Hoe gaan we om met drukte in de ondergrond? Hiervoor is meer specifieke kennis nodig van ruimtelijke planning, gebiedsontwikkeling, financiering en transitiekunde. Er zijn tools en beleidsinstrumenten nodig die deze strategische keuzes en gebiedsprocessen ondersteunen.



3 Ontwikkelen en doorlopen pilotprojecten

Op verschillende plaatsen in Nederland wordt al gebruik gemaakt van LT-bronnen voor duurzame warmtelevering. Het betreft bijvoorbeeld plekken waar gebruik wordt gemaakt van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), uit afvalwater (TEA) en uit drinkwater (TED). Ook wordt op verschillende plekken gebruik gemaakt van laag-thermische, industriële restwarmte of warmte uit datacenters, glastuinbouw en zonthermische systemen zoals in Almere. Dit zijn veelal kleinschalige projecten met enkele honderden tot duizend huizen.

Gezien de grote opgave om de warmtevraag van de gebouwde omgeving te verduurzamen, is het noodzakelijk om pilots te ontwikkelen voor gebruik van LT-bronnen op grote schaal, en om daarmee te voorzien in de behoefte aan duurzame warmte (en/of koude) in de gebouwde omgeving. Het grootschalig inzetten van LT-bronnen brengt namelijk andere uitdagingen en kennisvragen met zich mee dan de huidige initiatieven. De grootschalige inzet van WKO-systemen voor seizoensopslag brengt bijvoorbeeld problemen zoals onderlinge interferentie met zich mee. Dit vraagstuk speelt niet met de huidige, kleinschalige initiatieven.

4 Monitoring effecten ecologische effecten water en bodem

De toepassing van aquathermie kan het aquatische ecosysteem en het bodemecosysteem beïnvloeden. Ook kunnen er effecten zijn voor andere gebruiksfuncties. Er is langjarige monitoring nodig om die effecten in kaart te brengen. Centraal in die monitoring staat de vraag wat het effect is van een verlaging of verhoging van de watertemperatuur (bij TEO) op de ecologie en of dit speelt bij verschillende watertypen. Meer specifieke onderzoeksvragen zijn: wat is het effect van temperatuursprongen in vergelijking met een geleidelijke verlaging of verhoging van de watertemperatuur op de levenscycli van de waterorganismen? In welke seizoenen speelt dit? Is dit gelijk voor verschillende watertypen en verschillende mate van natuurlijkheid van de watersystemen? Mogelijk kan door aquathermie en het onttrekken van warmte (met name bij TEO) algenbloei worden voorkomen; hoe kan het aquathermische systeem zo ingericht worden dat het een positief effect heeft op de waterkwaliteit? Wat is het verschil in effecten tussen een kleine lozing met een hoog temperatuurverschil en grote lozing met een klein temperatuurverschil? Wat is het effect van het onttrekken van warmte op het zuiveringsproces van afvalwater (met name bij TEA)? Wat is het effect op het grondwater (microbieel, redox en saliniteit)? Ook moet er onderzoek worden gedaan naar de oplossingen. Welke toevoegingen worden gebruikt (zoals anti-fouling bij warmtewisselaars) en welke effecten hebben deze? Wat is het effect van extra circulatie en doorstroming van een watersysteem in combinatie met een veranderde temperatuur? Dit moet vertaald worden in randvoorwaarden en lokale eisen ten aanzien van toepassingen.

Korte- en langetermijnontwikkelingen

Gemeenten moeten op de korte termijn transitievisies op het gebied van warmte formuleren, waarin ze aangeven welke wijken wanneer van het gas af gaan en op welke wijze dit moet gebeuren. Specifiek voor aquathermie is het op de korte termijn ontwikkelen van kennis over de ecologische gevolgen van grootschalige winning van thermische energie uit oppervlakte-, afval- of drinkwater van wezenlijk belang. Inzicht



hierin bepaalt hoeveel warmte er beschikbaar is voor de winning en vormt daarmee een randvoorwaarde. Hiervoor is ook regelgeving over onttrekkingen nodig. Dit geldt ook voor de ontwikkeling van andere LT-bronnen. De bron is weliswaar anders, maar verder zijn er veel overeenkomsten in het warmtesysteem tussen de LT-bron en de afnemer van warmte. In de meeste ketens speelt warmtebuffering (WKO, HTO of een compacte warmtebatterij), temperatuursverhoging met warmtepompen en inpassing in LT/MT-warmtenetwerken een cruciale rol.

Het is ook nodig om de kosten voor het gebruik van LT-bronnen en warmtenetten op korte termijn omlaag te brengen, door gebruik van slimme technieken en slimmere ontwerpen. Dit is noodzakelijk om deze vormen van duurzame warmtelevering concurrerend te maken ten opzichte van andere bronnen. Ook zal nagedacht moeten worden over de vorm en inzet van bijvoorbeeld SDE-subsidie specifiek voor LT-bronnen.

Ook het opschalingsvraagstuk is zeer relevant. Op het gebied van aquathermie gaat het over vragen zoals: wat zijn de effecten van grootschalige warmteonttrekking uit het watersysteem? Wat is het effect van bovenstroomse warmteonttrekking op benedenstroomse warmteonttrekking? Hoeveel warmte is er beschikbaar, van wie is die warmte en hoe bepaal je de meest effectieve inzet van die warmte? Daarnaast is kennis nodig om systemen die werken op of met LT-bronnen te optimaliseren en robuuster te maken.

KPI's en doelstellingen 2025 en 2030

Voor dit innovatieprogramma zijn de volgende KPI's gedefinieerd voor 5 en 10 jaar. Deze KPI's sluiten aan bij de studie door Ecofys Navigant uit 2018¹²:

Systeem KPI	Doel 2020	Doel 2025	Doel 2030
Wegnemen drempels voor grootschalige toepassing:			
Beleidskader LT-bronnen (aquathermie, grootschalige LT-opslag in de bodem)	Concept	gereed	geüpdatet
Ontwerprichtlijnen LT-bron warmtesystemen (warmtewisselaars, grootschalige warmtepompen, voorfiltering)	Concept	gereed	geüpdatet
Praktijkervaring opdoen:			
Pilots gebouwde omgeving, bestaand warmtenetwerk voeden met LT-bron(nen)		2	10
Pilots gebouwde omgeving, nieuw warmtenetwerk		2	10
Voor zonthermie:			
Kosten (€/GJ)	24	18	12
Operationele kosten (€/kW/jaar)	4	3	2

¹² <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Analyse%20projectportfolio%20-%20TKI%20Urban%20Energy%20-%20Rapport%20-%202019%20-%20online.pdf>



Hierbij moet worden opgemerkt dat de prijs van de referentie belangrijk is voor de rentabiliteit van zonthermie. Traditioneel is dat de prijs van aardgas, maar voor toekomstige vergelijking kunnen ook andere referenties gaan gelden.

Hoewel de prijzen die in SDE+ gehanteerd worden niet per se voor alle varianten representatief zijn (er wordt zelfs gezegd dat de gerefereerde kosten voor zonthermie aan de hoge kant zijn), is hier toch aan SDE+ gerefereerd. Daarbij is gebruik gemaakt van de in SDE+ 2019 berekende basisbedragen en O&M-kosten uit het Eindadvies (december 2018). Hierbij wordt dan wel teruggesproken op de kosten voor grote systemen (>1 MW). Deze kosten bedragen €0,085/kWh (€23,9/GJ, basisbedrag) en €3,9/kWh/jaar voor de operationele kosten (bron: Eindadvies basisbedragen SDE+ 2019 (december 2018), <https://www.pbl.nl/publicaties/eindadvies-basisbedragen-sde-2019>). Voor de doelstelling in 2030 wordt voor de kosten een verlaging geambieerd tot aan het (huidige) correctiebedrag (€0,026/kWh – €7,2/GJ) en voor de operationele kosten een daling tot aan het niveau van systemen < 1 MW (€1,9/kWh/jaar).

Welk beleid is hiervoor nodig

- 1 Er is een beleidskader nodig voor het afgeven van vergunningen voor het grootschalig winnen van warmte uit oppervlaktewater en het lozen van relatief koel water terug op het oppervlaktewater. Hetzelfde geldt omgekeerd voor het winnen van koude om koeling te kunnen leveren in tijden van warmte.
- 2 Voor geothermie is SDE-subsidie beschikbaar. Die is er nog niet voor aquathermie of andere LT-bronnen. Voor aquathermie is de SDE-subsidie voorzien per 2020. Hierdoor is er voor andere LT-bronnen geen sprake van een *level playing field* en worden ze momenteel ongunstig afgezet ten opzichte van andere warmtebronnen. Het opzetten van een SDE-subsidieregeling voor LT-bronnen is noodzakelijk om grootschalige inzet hiervan mogelijk te maken.
- 3 Er is een bestaand beleidskader voor WKO-systemen. Bij grootschalige inzet van WKO-systemen is er kans op onderlinge interferentie. Het is cruciaal dat hiervoor een beleidskader wordt ontwikkeld. WKO-systemen zijn namelijk van belang voor de opslag van LT-bronnen die seizoensgebonden leveren. Ook combinaties met hoge temperatuursopslag moet in beleidskaders worden opgenomen.
- 4 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.
- 5 BENG-normen leiden niet tot een *level playing field* voor warmtenetten met aquathermie (toch een belangrijke ontwikkeling voor de wijkgerichte aanpak). Er lijkt sprake te zijn van een weeffout. In de systematiek wordt teveel vanuit het gebouw geredeneerd in plaats van het gebied. Verder zitten er sturingsmechanismen in die bepaalde bronnen (biomassa) nu veel gunstiger maken dan aquathermie.
- 6 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.



5 Colofon

Aan dit document hebben de volgende mensen meegeschreven:

Bonne van der Veen (Deltares), David van der Woude (BZK), Erik Caelen (Itho Daalderop), Frank Agterberg (DHPA), Huub Keizers (TNO), Ivo Pothof (Deltares), Jorien Schaaf (EBN), Julia de Geus (TKI Urban Energy), Maurice Hanegraaf (TNO), Olaf Adan (TNO), Peter Odermatt (EBN), Ralf Vermeer (EZK), Rik te Raa (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 (DPHA), Daniel van Rijn (RVO), Eelco van der Eijk (EZK), Frank Schoof (SPG), Gerda Lenselink (Deltares), Gijs de Man (Stadverwarming Purmerend), Henk Looijen (Rijkswaterstaat), Henk Visscher (TU Delft), Herm van der Beek (EZK), Jesper Juffermans (RVO), Johan Slobbe (BZK), John Post (TSE), Joost Koch (RVO), Laetitia Ouillet (TU/e), Lennart Goemans (EZK), Lex Bosselaar (RVO), Luuk Beurskens (ECN-TNO), Maarten de Vries (TKI Urban Energy), Marcel Hoek (NWO), Mari van Dreumel (I&W), Marleen Spiekman (TNO), Martin Bloemendal (KWR & TU Delft), Martin van der Hout (DAGO), Paul Klaassens (BZK), Philip Vardon (TU Delft), Piet Jacobs (TNO), Pim Donkers (TNO), Reinier Romijn (Unie van Waterschappen), Rogier Groeneveld (TKI Urban Energy), Roy Dekker (EZK), Rutger van der Brugge (Deltares), Sandra de Keijzer (NWO), Teun Bokhoven (TKI Urban Energy), Tjalling de Vries (EZK), Walid Atmar (VLA), Wendela Slot (EZK), Wendela Waller (TKI Urban Energy) en Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy).

Dit MMIP-document is onder de verantwoordelijkheid van het TKI Urban Energy tot stand gekomen. Bij vragen over het document of indien een toelichting wordt gevraagd, kan contact opgenomen worden met info@tki-urbanenergy.nl of 030-7470027.





TKI URBAN ENERGY

Topsector Energie

TKI Urban Energy

Arthur van Schendelstraat 550D
3511 MH Utrecht

T +31 30 747 00 27

E info@tki-urbanenergy.nl

T www.tki-urbanenergy.nl

