

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

TNO 2022 P12231

Inventarisatie innovaties collectieve warmte

Datum	15 november 2022
Auteur(s)	Marijke Menkveld en Floris Uleman
Opdrachtgever	Gemeente Leiden
Projectnummer	060.54575

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Samenvatting

Inventarisatie actuele kennis en innovaties collectieve warmtesystemen

De Leidse regio heeft TNO gevraagd een inventarisatie te maken van actuele kennis en innovaties, die in de komende jaren toegepast kunnen worden bij de realisatie van collectieve warmtesystemen. Dit rapport geeft een overzicht van kennis en innovaties die ontwikkeld zijn of worden met innovatiesubsidies binnen het WarmingUP programma, in het recent door het Nationaal Groeifonds gehonoreerde project NieuweWarmteNu! en door het TKI Urban Energy. TNO heeft de inventarisatie ingedeeld in verschillende thema's: ontwerp- en aanleg van warmtenetten, aquathermie, geothermie, warmteopslag, vraagsturing, sociale innovaties en waterstof.

Ontwerp en aanleg van warmtenetten

Tot nu toe werden warmtenetten voornamelijk aangelegd in nieuwe wijken. Door de toepassing van warmtenetten in bestaande wijken ontstaan nieuwe vragen over ontwerp en aanleg van warmtenetten. De WarmingUP Design Toolkit kan gebruikt worden voor het ontwerp van het warmtenet. Het "How low can you go" onderzoek heeft laten zien dat warmtenetten ontworpen kunnen worden op 70 graden aanvoer temperatuur. In WarmingUP is onderzoek gedaan naar factoren die de aanlegkosten van warmtenetten in de bestaande bouw bepalen om de bandbreedte van schattingen voor investeringskosten te verkleinen. De kosten voor woningaansluitingen kunnen verlaagd worden door sleufloze aanlegtechnieken, kunststof leidingen en aansluiting langs de gevel.

Aquathermie

Om emissies van broeikasgassen te reduceren is het nodig de warmte te produceren uit hernieuwbare bronnen, aquathermie of geothermie, of gebruik te maken van restwarmte. Aquathermie is de verzamelterm voor duurzaam verwarmen en koelen met water. Het gaat om warmte en koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). Door de schaalgrootte is aquathermie alleen geschikt voor een buurt of wijk tot maximaal een paar honderd woningen. Er is een interactieve potentieelkaart, de aquathermieviewer en actuele kennis over investeringskosten van aquathermie. In WarmingUP is literatuuronderzoek gedaan naar ecologische effecten van TEO en een monitoringsplan geschreven voor vergunningen. Voor ontwikkelaars is er een handreiking voor het ontwerp van een aquathermiesysteem.

Geothermie

Geothermie, ofwel aardwarmte, is duurzame warmte uit de diepe ondergrond (dieper dan 500 meter) waarmee je huizen, gebouwen en kassen kunt verwarmen. Momenteel zijn er 22 geothermieprojecten in gebruik in Nederland, waarvan 19 projecten in de glastuinbouw. Het informatiesysteem ThermoGIS bevat gegevens over de geschiktheid van de ondergrond voor geothermie. Een innovatief putontwerp kan de investeringskosten van geothermie verlagen. Nieuwe kennis over seismische risico's helpen de monitoring en evaluatie in het kader van vergunningen te verbeteren. Operators kunnen door real time gegevens over de situatie in de geothermiebron proactief beslissen bepaald onderhoud of vervanging te doen om storingen te voorkomen.

Warmteopslag

De warmtevraag in een warmtenet in de gebouwde omgeving is niet het hele jaar gelijk: in de winter is er veel warmtevraag vanwege ruimteverwarming, in de zomer blijft alleen de tapwatervraag over. Bij de combinatie van geothermie met hoge temperatuur warmteopslag in de bodem kan een geothermiebron meer draaiuren maken. In de zomer wordt warmte uit de geothermiebron opgeslagen en in de winter wordt warmte uit de opslag onttrokken. Doordat een geothermiebron meer draaiuren kan maken, kan deze meer warmte produceren en kunnen de investeringskosten over meer productie worden verdeeld. Door de combinatie met opslag kan een duurzame warmtebron ook een groter deel van de warmtevraag voorzien ten gunste van andere bronnen die minder duurzaam zijn. Decentrale opslag van warmte op buurt of gebouwniveau biedt vooral mogelijkheden om de piekbelasting over de dag in het lokale distributienet te verminderen. Dimensionering van het systeem kan daardoor goedkoper en daarmee ook de aansluitkosten.

Vraagsturing

Vraagsturing in warmtenetten richt zich op het verlagen van de piekvraag en het verlagen van de retourtemperatuur in een warmtenet. Dat kan via regeltechniek door de warmteleverancier (centrale sturing) of door de gebruiker zelf daartoe aangezet door communicatie of variabele tarieven (decentrale sturing). De warmtevraag tijdens de piek wordt dan verschoven naar momenten buiten de piek, doordat in een deel van de woningen en gebouwen op een koude winterochtend eerder begonnen wordt met verwarmen. Door een lagere piekvraag treden verschuivingen op in de bronnenmix en hoeven gasgestookte piekketels minder vaak te worden ingezet. Vraagsturing kan leiden tot lagere kosten en CO₂-reductie. Vraagsturing wordt nog weinig toegepast in warmtenetten, op enkele pilots na.

Sociale innovaties

In de inventarisatie is ook gekeken naar sociale innovaties. In het WarmingUP programma zijn handelingsperspectieven ontwikkeld voor gemeenten, woningcorporaties en warmteleveranciers hoe zij bewoners kunnen betrekken bij de overstap naar een warmtenet. Gemeenten spelen een regierol in de aardgasvrij maken van wijken. Daarnaast zijn er bewonerscollectieven die zelf een warmtenet in hun wijk willen ontwikkelen. Er is daarom behoefte aan nieuwe samenwerkingsvormen bij de ontwikkeling, aanleg en exploitatie van een warmtenet en nieuwe kennisproducten om beslissingen daarover te ondersteunen. In WarmingUp is onderzoek gedaan naar inpassing van warmtenetten in de ondergrond en het benutten van meekoppelkansen met ander opgaven in de wijk. Ook is gekeken naar de opschaling van warmtenetten, met keuzes in de grootte van warmtekavels en volgorde waarin wijken op een warmtenet worden aangesloten. Om de warmtetransitie te versnellen is het belangrijk van anderen te leren en ervaringen te delen.

Waterstof

Naast innovaties in collectieve warmte wordt er in discussies in de Leidse regio gesproken over waterstof als alternatief voor aardgas. In de gebouwde omgeving is waterstof vóór 2030 geen optie, omdat groene waterstof niet op voldoende schaal beschikbaar is. De groene waterstof die voor 2030 wel beschikbaar is, zal eerst worden gebruikt in de industrie als vervanging voor grijze waterstof in productieprocessen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
2 Ontwerp en aanleg van warmtenetten	7
2.1 Design toolkit warmtenetten	7
2.2 Verlaging aanvoertemperatuur in warmtenet	9
2.3 Database kostenkengetallen aanlegkosten warmtenet bestaande bouw	11
2.4 Sleufloze aanleg van warmtenetten	12
2.5 Kunststof leidingen	12
2.6 Bestaande woningaansluiting op warmtenet langs gevel als "regenpijp"	13
3 Aquathermie	15
3.1 Potentieelkaart aquathermie.....	16
3.2 Overzicht aquathermie configuraties met prestaties en kosten	17
3.3 Beleidskader aquathermie i.v.m. ecologische effecten	19
3.4 Handreiking ontwerp TEO aquathermiesysteem.....	20
4 Geothermie	21
4.1 Thermo GIS Analyse geschiktheid ondergrond geothermie.....	21
4.2 Bronontwerp geothermie	22
4.3 Geïnduceerde seismiciteit en milieueffecten	23
4.4 Productie optimalisatie geothermie	25
4.5 Demonstratie Eavor Loop (gesloten geothermiesysteem).....	25
4.6 Composiet putverbuizing Geothermie	26
4.7 Data gedreven optimalisatie aardwarmte systemen ('digital twin')	26
5 Warmteopslag	28
5.1 Hoge temperatuur warmteopslag in de bodem	28
5.2 Opslag op buurniveau	29
5.3 Kleinschalige opslag op gebouwniveau	31
6 Vraagsturing	33
6.1 Vraagsturing in warmtenetten.....	33
6.2 Storm Controller.....	34
7 Sociale innovatie	36
7.1 Handelingsperspectieven betrekken bewoners bij overstap naar warmtenet	36
7.2 Buurtwarmte helpt bewonersinitiatieven en gemeenten.....	37
7.3 Innovatieve samenwerkingsvormen realisatie warmtenet.....	38
7.4 Governance en organisatiemodellen.....	38
7.5 Methoden en instrumenten voor participatie en draagvlak	39
7.6 Inpassing in de ondergrond en meekoppelkansen bij aanleg warmtenet	40
7.7 Keuze kavelgrootte en volgorde ontwikkeling warmtekavels	41
8 Waterstof	42

1 Inleiding

Aanleiding

De Leidse regio heeft TNO gevraagd een inventarisatie te maken van innovaties in de realisatie van collectieve warmtesystemen. De opdracht maakt onderdeel uit van een bovengemeentelijke samenwerking van de gemeenten Katwijk, Oegstgeest, Leiden, Leiderdorp, Zoeterwoude en Voorschoten (samen: de Leidse regio) gericht op het ontwikkelen van een open regionaal energiesysteem. De interesse gaat uit naar innovaties op het gebied van lokale warmtedistributie en (hernieuwbare) warmtebronnen, maar ook naar innovaties op het gebied van bovengemeentelijk regionaal warmtetransport, omdat het een inventarisatie betreft die past in de samenwerking in de Leidse regio.

De Leidse regio zoekt naar concrete oplossingen, waarbij maximaal gebruik wordt gemaakt van actuele kennis en innovaties, voor zover die de komende jaren toepasbaar zijn of gaan worden. Innovaties zijn in dit geval breed te interpreteren. Naast technologische innovaties valt ook te denken aan nieuwe oplossingen op het gebied van (niet limitatief) ontwerp en aanleg, exploitatie, governance, financiering en publieke participatie. Binnen de scope van deze inventarisatie vallen daarom niet alleen de technologische innovaties, maar ook nieuwe inzichten uit wetenschappelijk onderzoek en pilotprojecten die met innovatiesubsidies zijn ontwikkeld.

In de inventarisatie is tevens gelet op de voorwaarden waaronder deze innovaties inzetbaar zijn, zodat een onderbouwde keuze mogelijk is om bepaalde vernieuwingen wel of niet in overweging te nemen. Voor elke innovatie is een korte toelichting gegeven over de toepasbaarheid van de innovatie in de Leidse regio.

Aanpak

We hebben een overzicht gemaakt van recente innovaties en kennis op het gebied van collectieve warmtesystemen die in een vergevorderd stadium van ontwikkeling zijn. De innovaties zijn combinaties van techniek en innovaties van andere aard. Om de inventarisatie met beperkte inspanning te maken hebben we in deze inventarisatie alleen gekeken naar het WarmingUP programma, het recent door het Nationaal Groeifonds gehonoreerde project NieuweWarmteNu! en overzichten bij Uptempo! als onderdeel van TKI Urban Energy. Daarmee kijken we alleen naar innovaties die ontwikkeld zijn of worden met innovatiesubsidie. We missen daarbij mogelijk innovaties en kennis die ontwikkeld worden door alleen commerciële partijen. Omdat het WarmingUP programma en het groeifondsproject NieuweWarmteNU! omvangrijk zijn qua budget en aantal betrokken partijen, verwachten we dat we in deze inventarisatie toch de belangrijkste innovaties en kennis kunnen vermelden.

In het collectief WarmingUP wordt samengewerkt aan toepasbare kennis voor duurzame collectieve warmtesystemen, zodat deze betrouwbaar, duurzaam en betaalbaar zijn voor de warmtetransitie. Achtendertig deelnemers uit de hele warmteketen doen mee. Met nieuwe kennis kunnen duurzame warmtebronnen met verschillende niveaus van temperatuur en volumes slim gecombineerd worden. Ook is kennisontwikkeling voor het realiseren van grootschalige warmteopslagsystemen en het integreren daarvan in warmtenetten een beoogd resultaat. Onderzocht wordt bijvoorbeeld hoeveel, waar en tegen welke kosten warmte gewonnen kan worden

via aquathermie of geothermie. Daarnaast richt het collectief zich op de ontwikkeling van nieuwe samenwerkings- en financieringsvormen én nieuwe werkwijzen om maatschappelijk draagvlak te realiseren. Meer info is te vinden op de website van WarmingUP: <https://www.warmingup.info/>.

Het project NieuweWarmteNu! is in juli 2022 gehonoreerd door de Adviescommissie van het Nationaal Groeifonds. Dit project is gericht op opschaling van collectieve warmtenetten en het toepassen van innovaties om o.a. de kosten van collectieve warmte te verlagen, zie [Zes projecten krijgen definitieve toekenning Nationaal Groeifonds | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl](#) en [NieuweWarmteNu! gaat collectieve warmteprojecten realiseren \(ebn.nl\)](#).

Uptempo! beoogt - binnen het kader van innovaties die via TKI Urban Energy zijn gestimuleerd - het lerend vermogen van alle actoren te vergroten. Voor partijen die aan de slag gaan met het verduurzamen en renoveren van gebouwen kan het lastig zijn om de juiste oplossing te vinden die past bij hun specifieke verduurzamingsopgave. Gelukkig is er ook veel aanbod. Dankzij innovatieve ondernemers wordt dat aanbod steeds groter en meer divers. Op <https://uptempo.nu/> presenteert Uptempo! innovatieve energie-oplossingen voor renovatie van woningen en utiliteitsgebouwen.

Leeswijzer

In de inventarisatie hebben we de kennis ingedeeld naar verschillende thema's. Ten eerste kijken we naar innovaties en nieuwe kennis bij het ontwerp en de aanleg van warmtenetten (Hoofdstuk 2). Om emissies van broeikasgassen te reduceren is het nodig de warmte te produceren uit hernieuwbare bronnen of gebruik te maken van restwarmte. We bespreken innovaties en kennis over aquathermie in Hoofdstuk 3 en geothermie in Hoofdstuk 4. Met warmteopslag en vraagsturing kunnen hernieuwbare bronnen beter worden benut. De mogelijkheden voor warmteopslag worden beschreven in Hoofdstuk 5. Vraagsturing in warmtenetten wordt besproken in Hoofdstuk 6. Warmtenetten als oplossing voor aardgasvrije wijken levert nieuwe uitdagingen, zoals het betrekken van bewoners, nieuwe samenwerkingsvormen en vragen rond de opschaling van warmtenetten. Die uitdagingen vragen om sociale innovaties die worden besproken in Hoofdstuk 7.

Naast innovaties in collectieve warmte wordt er in discussies in de Leidse regio gesproken over waterstof als alternatief voor aardgas. De Leidse regio heeft TNO gevraagd ook een beschrijving te geven van de status van de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving (Hoofdstuk 8).

2 Ontwerp en aanleg van warmtenetten

Tot nu toe werden warmtenetten voornamelijk aangelegd in nieuwe wijken. Door de toepassing van warmtenetten in bestaande wijken ontstaan nieuwe vragen over ontwerp en aanleg van warmtenetten. Het ontwerp van het warmtenet kent meer vrijheidsgraden, zoals welke wijken worden aangesloten en via welk tracé. De aanleg van warmtenetten in bestaande bouw is veel duurder dan in nieuwbouw en vraagt om innovaties die de aanlegkosten kunnen reduceren. In dit hoofdstuk presenteren we nieuwe kennis en innovaties op het gebied van ontwerp en aanleg van warmtenetten uit het WarmingUP programma en uit UpTempo van de TKI Urban Energy.

2.1 Design toolkit warmtenetten

Omschrijving

De WarmingUP Design Toolkit combineert een aantal bestaande ontwerpgereedschappen in 1 softwarepakket tot een breed inzetbaar ontwerpgereedschap waarmee alle ontwerpers op een uniforme manier warmtenetten op elke schaal kunnen ontwerpen en daardoor ook van elkaar kunnen leren. Het ontwerp bevat de dimensionering van het warmtenet en de berekening van heat flows in het warmtenet en de kosten van het warmtenet.

Het ontwerp van het warmtenet wordt ook beter, doordat in de design toolkit warmtenetten verschillende innovaties bijeen zijn gebracht:

- In de ESDL Mappeditor teken je eenvoudig een te bouwen warmtenet met drag and-drop componenten in een geografische kaart-omgeving. Hierin kun je ook informatie-kaarten oproepen die relevant zijn voor het (her-)ontwerp van warmtenetten. Of je uploadt een bestaand warmtenet, dat je wilt uitbreiden.
- Er wordt dynamisch gerekend met de simulatie-tools CHESS en WANDA voor het concept- en detail-ontwerp. Hiermee krijgt de ontwerper een beter inzicht over wat er fysisch gebeurt in het warmtenet.
- Het is daarbij mogelijk om voor een heel jaar door te rekenen wat het effect is van maatregelen en ontwerpkeuzes. Hierdoor kun je een meer weloverwogen keuze maken over zaken die zowel ontwerp als operationeel beheer van warmtenetten aangaan.
- De toolkit gebruikt daarbij tijdsprofielen voor vraag en aanbod, zowel over de dag, de seizoenen, als richting 2050.
- Het Computational Framework helpt de ontwerper bij de verschillende scenario's die hij wil onderzoeken en geeft de workflows die daarbij relevant zijn.
- De Topology Optimizer gebruikt slimme algoritmen om de kosten van pijpleidingen zo laag mogelijk te krijgen.
- Met Smart Control en Heatmatcher worden vraag en aanbod van warmte beter in balans gebracht, zowel bij operationeel gebruik als tijdens de ontwerpfase.
- Met een KPI-dashboard kan de ontwerper continu zien hoe ontwerpkeuzes uitpakken voor de belangen van stakeholders.

Status

Een beta-versie van de Toolkit is begin 2022 uitgekomen, als het resultaat is van twee jaar samenwerking van partijen in het onderzoeksprogramma WarmingUP. De beta-versie is een open access versie, wat inhoudt dat partijen vrij gebruik van kunnen maken de functionaliteiten die het biedt.

De Toolkit wordt door verschillende partijen gebruikt:

Partij(en) zetten Design Toolkit in voor...	... warmtenet casus in gemeente:
ENECO	Rotterdam
Vattenfall	Amsterdam
Ennatuurlijk	Eindhoven
Enpuls	Emmen
Greenvis/ Warmtetransitiemakers	Leidse regio*
EBN	Delft
Qirion	Lingewaard
Juva Capturam en Rotterdam Engineering	Westland
Saxion	Hengelo
Saxion	Apeldoorn*
TNO en Gemeente Rijswijk + partners	Rijswijk
TNO en HVC	Alkmaar
TNO, Deltares, EBN, Gasunie, RES RDH, PZH en Invest-NL	RES R'dam-Den Haag en 23 aangesloten gemeenten*
Deltares	Nijmegen
Deltares	Delft (campus Deltares)

Vaak zijn dit studies tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, waarvan de resultaten (nog) niet openbaar zijn. Naar verwachting komen veel resultaten in een later stadium alsnog publiek beschikbaar. Twee studies zijn toegelicht in eerder beta release webinar (eind maart 2022):

<https://www.youtube.com/watch?v=mf3NfCdFrmU>

De Designtoolkit gaat ook worden toegepast bij het ontwerp van minimaal 4 warmtenetten in het groeifondsvoorstel NieuweWarmteNu! De design toolkit is te vinden op de website van WarmingUP:

<https://www.warmingup.info/designtoolkit>

Toepasbaarheid

De Leidse regio heeft Greenvis (nu onderdeel van De Warmtetransitiemakers) een opdracht gegeven om met behulp van deze Toolkit enkele berekeningen voor de Leidse Regio uit te voeren.

De WarmingUP Design Toolkit is bij uitstek geschikt om het ontwerp van een regionaal of lokaal warmtetransportnet te ontwerpen en te optimaliseren op een transparante manier. Het geeft inzicht aan alle partijen over de effecten van ontwerp-parameters op de kapitaal en operationele kosten van het

warmtesysteem, alsmede de consequenties voor de emissiereductie die met het transportnet kunnen worden gerealiseerd. Verschillende optimalisatie algoritmen in de Toolkit helpen om een zo duurzaam en kostenefficiënt netontwerp te krijgen. Het kunnen doorrekenen van verschillende concepten waarbij ook opslag van warmte wordt meegenomen, is daarbij cruciaal. De inzet van de Toolkit wordt door alle betrokken partijen aanbevolen als een nationaal ontwerpinstrument waardoor inzichten en ervaringen in uiteenlopende projecten bijeen worden gebracht waardoor het leren over het ontwerpen van optimale warmte transportinfrastructuren wordt bevorderd.

Het volloopriscio kan in de Toolkit in scenario's worden gemodelleerd, dat doet TNO ook in de case voor Rijswijk. In het groeifondsproject NieuweWarmteNu! wordt dit als workflow opgenomen in de toolkit. Uit die case komt als resultaat naar voren dat een regionaal transportnet kan helpen als startmotor om in de ontwikkelingsfase woningen van warmte te voorzien, zodat de ontwikkeling van lokale duurzame bronnen pas start wanneer er voldoende aansluitingen zijn. De design toolkit geeft alle kosten van bronnen en transportnet, tot en met het warmteoverdrachtstation, zonder het distributienet en de kosten van de huisaansluiting. Voor de kosten van het distributienet en de huisaansluiting zijn al veel modellen beschikbaar. Als die kosten worden meegenomen kan ook een beeld worden geschetst van de totale kosten per GJ geleverde warmte. De kosten voor eindgebruikers hangen dan nog af van de tarieven van de warmteleverancier.

2.2 Verlaging aanvoertemperatuur in warmtenet

Omschrijving

Een lagere aanvoertemperatuur in een warmtenet leidt tot lagere warmteverliezen in het net en maakt het mogelijk lage(re) temperatuur warmtebronnen aan te sluiten. In het WarmingUP project "How low can you go" is in een grootschalige meetcampagne in meer dan 200 woningen onderzocht welke woningen de switch kunnen maken naar lage temperatuurverwarming zonder wijzigingen in de gebouwschil en radiatorsysteem.

Dit project is uitgevoerd door Deltares samen met Feenstra in woningen met een aardgasketel. In die woningen is de aanvoertemperatuur en retourtemperatuur in het CV systeem naar de ketel gemeten en de massaflow en de temperatuur in huis. Met de meetdata is een eenvoudig warmteverliesmodel gekalibreerd. Op basis van dit model is gekeken welke woningen met minder dan 55 °C aanvoertemperatuur hun woning onder ontwerpcondities kunnen verwarmen, dat wil zeggen een binnentemperatuur bereiken bij 20 °C wanneer het buiten -10 °C is en de gasketel 18 vollasturen per dag maakt.

Bij circa 150 woningen is de afgelopen winter (2021/2022) de ingestelde maximale aanvoertemperatuur verlaagd. De comfortmetingen hebben geen klachten opgeleverd, maar het was een hele zachte winter. Dat zegt dus niet zo veel en de meetcampagne is met een jaar verlengd zodat in de winter 2022/2023 opnieuw kan worden gekeken of er comfortklachten zijn.

De 200 woningen uit de meetcampagne zijn zo gekozen dat verschillende bouwjaarklassen en woningtypen daarin vertegenwoordigd zijn. Uit vergelijking

van de data met statistieken blijkt dat de woningen in de meetcampagne gemiddeld een hogere specifieke warmtevraag hebben in kWh per m² dan typische Nederlandse woningen.

Een van de hoofdconclusies is dat 95% van de woningen geschikt is voor MT-warmte met een maximale aanvoertemperatuur van 70 °C. Deze conclusie wordt bevestigd in praktijktest van warmtebedrijven. Warmtebedrijf HVC heeft een succesvolle temperatuurverlaging doorgevoerd in een koude winterperiode (februari 2021) in een wijk met 5000 woningen. Hun metingen lieten gemiddelde aanvoertemperaturen van 67 °C en retourtemperaturen van 42 °C zien. Na de test is de stooklijn in dat net aangepast.

De tweede hoofdconclusie is dat 60% van de bestaande woningen nu al LT-ready is en dus voldoende heeft aan een aanvoertemperatuur van 55 °C Dit biedt veel perspectief voor toepassing van (Z)LT-netten en warmtepompen in bestaande wijken. De vraag is welke woningen nu al LT-ready zijn. Uit de resultaten blijkt dat het bouwjaar en het woningtype niet bepalend zijn. De enige parameter die voorspellende waarde bleek te hebben voor hoe ver de aanvoertemperatuur kan zakken, is de mate van overdimensionering van radiatoren. De radiatoren of convectoren zijn vaak veel groter dan noodzakelijk is om het huis te verwarmen. Dat betekent dat er meer verwarmingsoppervlak is dan nodig is, en dat de temperatuur van de warmte omlaag kan. Als er dan ook nog eens verduurzaamd is, bijvoorbeeld door dubbel glas te nemen of te isoleren, dan is de verwarmingsinstallatie nog verder overgedimensioneerd.

Een kanttekening bij het onderzoek is het volgende. De ontwerpconditie is, zoals gezegd, vastgesteld op het warm houden van de woning bij -10°C. Maar in veel ontwerpmodellen een forse toeslag gehanteerd voor de “aanwarmtijd”, oftewel: hoe snel een woning na afkoeling weer opwarmt. Daar heb je een enorm piekvermogen voor nodig. En daarvoor heb je dus ook een relatief groot afgiftevermogen nodig. Dat halen waarschijnlijk niet alle woningen uit het onderzoek die volgens de ontwerpconditie met 55°C warm te houden zijn. Met een gasketel maakt dat niet uit, die kan makkelijk 90°C maken en als dat incidenteel nodig is, wordt de aan te schaffen ketel zelf daar niet duurder van”, Maar als je datzelfde vermogen wil kopen in warmtepompen of een aansluiting op een warmtenet, dan wordt het wel veel duurder. De onderzoekers breken daarom een lans voor een andere manier om het benodigde vermogen van woningverwarming vast te stellen.

Een andere ontwikkeling die steeds meer in de aandacht komt is cascaderen van warmte. Dit betekent dat de geleverde warmte eerst wordt gebruikt door afnemers die een hoge temperatuur nodig hebben. De resterende warmte van een lagere temperatuur wordt daarna nogmaals gebruikt door afnemers die toe kunnen met een lagere temperatuur. Hiermee wordt de capaciteit van het warmtenet optimaal gebruikt. Ook kan de efficiëntie van de bron hierdoor vaak worden verbeterd.

Status

De resultaten van het How low can you go project zijn gepubliceerd op de website van WarmingUP: https://www.warmingup.info/documenten/11205149-hye-001_field-measurements-on-lower-radiator-temperatures-in-existing-buildings_def.pdf

Toepasbaarheid

De resultaten van How low can you go laten zien dat een nieuw aan te leggen warmtenet kan worden ontworpen op 70 °C aanvoer bij de woning. De aanlegkosten worden daardoor veel lager dan wanneer op circa 85 °C aanvoertemperatuur wordt ontworpen. Er kunnen enkele woningen zijn die daar niet genoeg aan hebben, maar daar kunnen beter in de woning aanpassingen worden gedaan (extra radiatoren, isolatie). Bij een keuze voor een LT-systeem met aanvoertemperatuur van 55 °C moet eerst worden gecheckt of de woningen daarmee verwarmd kunnen worden en is een tapwatervoorziening (zoals een elektrische boiler) in de woning nodig.

2.3 Database kostenkengetallen aanlegkosten warmtenet bestaande bouw**Omschrijving**

Tot nu toe werden vooral warmtenetten aangelegd in de nieuwbouw. De aanleg van warmtenetten in bestaande bouw is relatief nieuw en veel duurder en ingewikkelder. De schattingen van aanlegkosten van een warmtenet in de bestaande bouw in verschillende energietransitiemodellen verschillen en laten een grote bandbreedte zien. Deze onzekerheid over de aanlegkosten bemoeilijkt de beslissing over de haalbaarheid van een project.

Waarschijnlijk spelen omgevingsfactoren een grote rol bij verschillen in aanlegkosten. In WarmingUP is gewerkt aan een model met kostenkengetallen voor de aanlegkosten van een warmtenet in de bestaande bouw en de afhankelijkheid van de situatie. Warmtebedrijven en aannemers hebben aan de hand van een template projectgegevens aangeleverd bij Deltares. In de database zitten gegevens van ongeveer 60 projecten. Deltares heeft aan de database de omgevingsfactoren zoals wegtype, woningtype, bodemtype en bomen uit verschillende nationale GIS-bronnen gekoppeld aan de projectgebieden waarvoor de warmtebedrijven hun projectdata hebben aangeleverd. Deltares heeft op basis van de verzamelde, vertrouwelijke, data over de aanlegkosten van specifieke warmteprojecten en omgevingsfactoren een aanlegkostenmodel opgesteld en gerapporteerd. Uit de analyse blijkt dat een groot aantal omgevingsfactoren de aanlegkosten bepaald. Vanwege het grote aantal omgevingsfactoren, dat de aanlegkosten bepaald, is de database te klein om tot een betrouwbaar kostenmodel te komen. Wel blijkt uit de analyse welke omgevingsfactoren een grote invloed hebben op de aanlegkosten. De onderzoekers en warmtebedrijven en aannemers hebben geconcludeerd dat dit een goede aanpak is en de aanbeveling gedaan om deze aanpak over 2 jaar te herhalen wanneer meer projecten zijn gerealiseerd en aan de database kunnen worden toegevoegd.

Status

De resultaten van de analyse komen voor eind 2022 beschikbaar op de WarmingUP website.

Toepasbaarheid

Wij adviseren de Leidse regio om kennis te nemen van deze analyse om daarmee de onderbouwing van de aanlegkosten in de ontwerpanalyse met de design tool te versterken.

2.4 Sleufloze aanleg van warmtenetten

Omschrijving

Vanwege overlast en kosten bij de aanleg van warmtenetten in de bestaande bouw is onderzoek naar sleufloze aanlegmethoden interessant. De verwachting is dat horizontale ondiepe aanlegtechnieken goedkoper kunnen worden uitgevoerd met minder overlast voor omwonenden. In WarmingUP is een inventarisatie gedaan van de beschikbare sleufloze methoden en is tevens gekeken welke innovatieve methoden en technieken bruikbaar zijn voor warmteleidingen. Hierbij zijn verschillende criteria beschouwd, waaronder kosten, ontwerpflexibiliteit, overlast en de tracékeuze.

Eén van de technieken die kansrijk wordt geacht voor het sleufloos aanleggen van huisaansluitingen is het Easy2Jet systeem, later door Kouwenberg Infra verder ontwikkeld tot de NanoDrill methode. Met de NanoDrill methode zijn op drie verschillende locaties en daarmee in verschillende omstandigheden tests uitgevoerd teneinde te kunnen bepalen of sprake is van een geschikte aanlegmethode van huisaansluitingen voor warmtenetten. De NanoDrill machine is een zeer bruikbaar systeem om gestuurde boringen over een kortere afstand uit te voeren. Het systeem is zeer compact en daarmee goed geschikt voor de aanleg van leidingen in bestaande woonwijken, met name voor huisaansluitingen.

Status

De inventarisatie van sleufloze aanlegmethoden is te vinden op de website van WarmingUP:

<https://www.warmingup.info/documenten/deelrapport-2b2-overwegingen-tracekeuze-en-kansrijke-sleufloze-technieken.pdf>

De test van de NanoDrill sleufloze methode voor huisaansluiting is beschreven in: <https://www.warmingup.info/documenten/deelrapport-2b5-testen-nanodrill-sleufloze-huisaansluitingen.pdf>

Kouwenberginfra biedt de NanoDrill sleufloze techniek aan:

<https://www.kouwenberginfra.nl/technieken/nano-drill/>

Toepasbaarheid

De NanoDrill methode is vooral bruikbaar voor het sleufloos aanleggen van huisaansluitingen en niet voor transportleidingen zoals in de Leidse regio. Sleufloos aanleggen is vooral van belang bij het aansluiten van grondgebonden woningen op een warmtenet. Door minder overlast en lagere kosten kan het toepassen van sleufloze aanlegtechnieken bijdragen aan de acceptatie van bewoners.

2.5 Kunststof leidingen

Omschrijving

Voor wijknetten, warmteleidingen met relatief kleine diameter (<DN100) waar water met relatief lage temperatuur (<80°C) doorheen stroomt, bieden kunststof leidingen mogelijkheden. Met een kunststof leiding wordt bedoeld dat de mediumvoerende leidingen van kunststof is gemaakt, in plaats van staal.

Om deze kunststofleiding is een isolatielaag (pur) en een PE-buitenmantel aanwezig. Ze zijn relatief goedkoop, vaak op rol leverbaar en eenvoudig in montage.

De nadelen zijn:

- Relatief kwetsbare leidingen (graafschade);
- Aanpassingen na aanleg zijn complex: Aftakkingen dienen vooraf ontworpen te zijn.
- Aanboren is niet mogelijk op kunststofleidingen. Bij het tussenbouwen van een T-stuk dienen de leidingen buiten bedrijf te worden genomen;
- Verouderen zeer snel bij hoge temperaturen (>80°C);
- Warmteverliezen zijn groter dan bij stalen leidingen;
- Worden niet standaard voorzien van een lekdetectiesysteem; - Kunststofleidingen met een diameter > DN50 zijn meestal duurder dan ST-PUR-PE;
- De mofverbindingen zijn kwetsbaar.

Dit rapport behandelt de gemeenschappelijke kenmerken en de aandachtspunten bij de keuze voor een kunststofleiding:

<https://www.nieuweenergieoverijssel.nl/site-content/uploads/2020/12/Rotterdam-Engineering-Advies-open-warmtenet-Zwolle-openbaar.pdf>

Status

Er zijn diverse soorten kunststof leidingen op de markt met veel eigen namen. Ook worden ze net als de St-PUR-PE-leiding in TWIN variant aangeboden (o.a. Calpex-DUO).

Thermaflex biedt prefab flexibele leidingelementen voor het aansluiten van grondgebonden woningen op een warmtenet. De onderdelen zoals bochten en T-stukken worden geïsoleerd geleverd. De elementen kunnen op locatie nog gebogen worden voor de precieze aansluiting: <https://thermaflex.com/flexalen-prefabrications/>

Toepasbaarheid

Kunststof leidingen zijn toepasbaar in wijknetten, warmteleidingen met relatief kleine diameter (<DN100) waar water met relatief lage temperatuur (<80°C) doorheen stroomt. Deze kunststof leidingen zijn dus vooral relevant voor distributienetten, niet voor regionale transportleidingen. TNO adviseert gemeenten om in het overleg met warmtebedrijven deze optie onder de aandacht te brengen om daarmee de kosten te verlagen.

2.6 Bestaande woningaansluiting op warmtenet langs gevel als "regenpijp"

Omschrijving

Aansluiting van bestaande woningen op het warmtenet kan op praktische bezwaren stuiten omdat niet alle meterkasten groot genoeg om de voorzieningen erin weg te werken. De kosten om vervolgens toch een aansluiting te realiseren kunnen in dat geval behoorlijk oplopen. Maar een warmtenet kan bij grondgebonden woningen ook op zolder worden aangesloten, blijkt uit onderzoek van adviesbureau Royal Haskoning/DHV, in opdracht van het Warmtenetwerk.

Het is gebruikelijk dat in woningen die worden gekoppeld aan een warmtenet de aansluiting plaatsvindt door een sleuf naar de voordeur te graven om vervolgens in de meterkast de aansluiting met het afgiftesysteem te realiseren. Dat is bij bestaande bouw een kostbaar en ingrijpend proces. Daarom besloten leden van het Warmtenetwerk, waaronder Eneco, Ennatuurlijk, Stadsverwarming

Purmerend en HVC, te onderzoeken of de aansluiting ook via de voorgevel of de zolder zou kunnen lopen.

Het onderzoek is uitgevoerd voor rijtjeswoningen, vrijstaande huizen of flatgebouwen. Volgens RoyalHaskoning/ DHV zijn er grofweg drie varianten mogelijk: een warmteleiding trekken via de dakgoot, via de voorgevel als een soort regenpijp of binnenshuis op zolder achter het knieschot. De leiding loopt in alle gevallen langs de gevels of via de zolder van het rijtje huizen, in plaats van onder de straat.

Elk van de oplossingen heeft voor- en nadelen. Het voordeel van de dakgootvariant en de knieschotvariant is dat er weinig stijgpunten zijn, wat volgens de onderzoekers een flinke kostenbesparing betekent. Het nadeel is dat er weinig rekening gehouden kan worden met woningen die niet mee willen doen. Daar is de regenpijp-variant in het voordeel. Die is dan wel weer het meest zichtbaar op de voorgevel, terwijl bij de knieschotvariant de leidingen moeilijk toegankelijk zijn voor onderhoud.

Na het haalbaarheidsonderzoek is er ook een marktonderzoek geweest onder tien woningcorporaties. Die partijen legden grote nadruk op de overlast voor bewoners en de brandveiligheid. Dat was in het nadeel van de variant met de leiding op zolder, die via de tussenwand van de verschillende huizen zou lopen, en binnenshuis moet worden aangelegd.

Status

Het onderzoek is te vinden op de website van Stichting Warmtenetwerk: <https://warmtenetwerk.nl/nieuws/item/lucht/>. Deze aansluiting van bestaande woningen via regenpijp is ook toegepast in de wijk Overwhere-Zuid in Purmerend.

Toepasbaarheid

Deze manier van woning aansluiten is toepasbaar bij grondgebonden woningen met een zolder. De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden om een afweging te maken in de manier van aansluiten van bestaande woningen. Gemeenten kunnen deze informatie gebruiken in het overleg met warmtebedrijven over hoe de woningen worden aangesloten.

3 Aquathermie

Aquathermie is de verzamelterm voor duurzaam verwarmen en koelen met water. Het gaat om warmte en koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). Er zijn al meer dan 80 gerealiseerde projecten met aquathermie bekend. En op 100 locaties in Nederland worden de mogelijkheden om aquathermie toe te passen onderzocht. (<https://www.aquathermie.nl>).

Het Netwerk Aquathermie heeft een projectenoverzicht gemaakt van de reeds gerealiseerde projecten:

<https://www.aquathermie.nl/praktijk/aquathermie+projectenkaart/default.aspx>.

Op dit moment zijn 171 aquathermie projecten geïnventariseerd (van verkenning tot gerealiseerd). De overgrote meerderheid van de projecten (75%) zijn TEO projecten. Van de overige projecten betreft 22% TEA en 3% TED. De oudste projecten draaien al meer dan 30 jaar. In de afgelopen 15 jaar worden enkele projecten per jaar gerealiseerd. Aquathermie wordt voornamelijk gebruikt voor het verwarmen van gebouwen, koelen komt nog weinig voor. Terwijl aquathermie kansen biedt om duurzaam te verwarmen en te koelen. Van de 80 projecten zijn er veel projecten die slechts 1 woonhuis of 1 utiliteitsgebouw van warmte voorzien, 27 projecten leveren warmte aan een paar honderd woningen. Door de schaalgrootte is aquathermie alleen geschikt voor een buurt of wijk tot maximaal een paar honderd woningen. In een grotere wijk zullen dan meerdere bronnen gerealiseerd moeten worden.

Bij TEO wordt warmte met behulp van een warmtewisselaar onttrokken aan het oppervlaktewater. De temperatuur van het oppervlaktewater is afhankelijk van het seizoen (in de zomer ligt de temperatuur beduidend hoger dan in de winter) en varieert hiermee typisch tussen de 5 en 20 °C. Gebruikelijk is om de gewonnen thermische energie uit het oppervlaktewater op te slaan in een warmteopslagsysteem (WO-systeem) tijdens de zomer, om zodoende in de winterperiode de opgeslagen warmte door middel van een warmtepomp aan de eindverbruikers te leveren.

TEO kan gecombineerd met een warmtenet op 2 manieren in de gebouwde omgeving worden toegepast. In het eerste geval wordt de warmte uit het oppervlaktewater geleverd aan de afnemers die ieder over een individuele warmtepomp beschikken, waarbij de woningen geschikt moeten zijn voor lage temperatuurverwarming. Er is dan een aparte tapwatervoorziening nodig. In het tweede geval, als de ruimteverwarming een hogere temperatuur vraagt, kan een col230 collectieve warmtepomp (>500 kWth) worden toegepast. Hier wordt de opgeslagen warmte uit de ondergrond opgewaardeerd met een warmtepomp tot circa 50-75 °C, waarna deze warmte wordt geleverd aan de afnemers. Hierbij is een matige tot goede isolatie van gebouwen gewenst en is geen of beperkte aanpassing in het afgiftesysteem nodig (https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-conceptadvies-sde-plus-plus-2022-energie_uit_water-4383.pdf).

In dit hoofdstuk presenteren we innovaties op het gebied van aquathermie uit het WarmingUP programma.

3.1 Potentieelkaart aquathermie

Omschrijving

De aquathermieviewer, die de potentie van aquathermie in Nederland inzichtelijk maakt, heeft een update gekregen. Naast een quickscan van de potentie van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED), biedt deze update ook een extra verdiepingsslag met betrekking tot de haalbaarheid van aquathermie in een gebied.

De aquathermieviewer is uitgebreid om meer inzicht te bieden in de haalbaarheid en robuustheid van aquathermie als warmtebron en om beter aan te sluiten bij het transitieproces naar Aardgasvrij. Daartoe zijn interactieve kaarten toegevoegd, die de effecten laten zien van keuzes over de intensiteit van de warmtewinning, de natuurlijke variatie, mogelijke ecologische risico's, beschikbare opslagcapaciteit en financiële haalbaarheid van een warmtenet. Nieuw is dat gebruikers nu ook de potentie van TED kunnen bekijken via de viewer. Specifiek voor TEO is een extra functionaliteit 'de gebiedsanalyse' toegevoegd. De gebruiker kan in de webviewer potentiescenario's doorrekenen door te variëren met factoren en waarbij rekening wordt gehouden met uitputting van de bron. (zie <https://www.warmingup.info/actueel/62/update-webviewer-aquathermiepotentie>)

Status

De aquathermieviewer is klaar voor gebruik: www.aquathermieviewer.nl

Voorbeeld waar de viewer is gebruikt: Casus Holland Rijnland.

In de Regionale Energie Strategie (RES) van Holland Rijnland¹ wordt aquathermie als één van de potentiële warmtebronnen overwogen. Uit de potentieberekeningen blijkt dat voor ca. driekwart van de geselecteerde buurten de volledige warmtevraag geleverd zou kunnen worden door aquathermie uit watergangen die binnen een straal van 1 km liggen. Als die afstand wordt vergroot tot watergangen binnen een straal van 5 km, dan is er in potentie meer warmte beschikbaar dan de (geselecteerde) wijken nodig hebben.

In het tweede deel van deze studie is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij warmteonttrekking uit de Oude Rijn berekend. Uit scenario 1 blijkt dat als 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn zou komen, dat de daling van de watertemperatuur op een aantal plekken meer dan 10°C is en daarmee potentieel een (te) grote impact heeft op de ecologie. Schalen we de warmtevraag per buurt af naar 50% dan worden de temperatuurdalingen kleiner, maar zijn er op enkele plekken nog steeds dalingen van ca. 5°C te zien. Schalen we de warmtevraag nog verder af naar 25%, dan zien we dat over de hele linie de temperatuurdaling binnen de 3°C blijft. Hoewel er geen harde grens bestaat voor de maximaal toelaatbare temperatuurdaling is in deze studie uitgegaan van 3°C. In totaal kunnen dan ca. 12.000 woningen verwarmd worden, verspreid langs de Oude Rijn. Dit is een technisch potentieel. In bijlage 8.1 van het Holland Rijnland rapport is een overzicht gegeven van lopende en gerealiseerde aquathermie-initiatieven in Holland Rijnland.

¹ De gemeenten die samen Holland Rijnland vormen zijn Alphen aan den Rijn, Hillegom, Kaag en Braassem, Katwijk, Leiden, Leiderdorp, Lisse, Nieuwkoop, Noordwijk, Oegstgeest, Teylingen, Voorschoten en Zoeterwoude.

(zie https://www.warmingup.info/documenten/van-der-brugge-et-al-2022-rapport-casus-hollandrijnland_warmingup_t3p3a.pdf)

Toepasbaarheid

De aquathermieviewer is voor iedereen toepasbaar. Met de interactieve kaarten die de aquathermieviewer biedt kunnen gemeenten, energiestrategen, ontwikkelaars en waterbeheerders aquathermie een plek geven in het beleidsproces, projectontwikkeling en vergunningverlening.

De nieuwe viewer gaat een stap verder dan alleen maar snel inzicht krijgen of aquathermie kansrijk is voor een specifieke locatie. De toevoegingen zijn nuttig voor gebruikers die actief zijn in de Regionale Energie Strategie en Transitievisie Warmte, of op een specifieke locatie aquathermie willen toepassen.

De viewer geeft alleen het technisch potentieel voor aquathermie in een regio, gemeenten en warmtebedrijven moeten zelf de financiële haalbaarheid van aquathermie in de lokale situatie onderzoeken en afzetten ten andere alternatieven..

3.2 Overzicht aquathermie configuraties met prestaties en kosten

Omschrijving

Als onderdeel van het WarmingUP onderzoeksprogramma zijn overzichten gemaakt van de verschillende configuraties van aquathermie: TEO, TED en TEA. Deze overzichten zijn gemaakt op basis van kennis en ervaringen van bestaande aquathermie-systemen door middel van factsheets. Daarnaast zijn er kostenkennallen gegeven voor de verschillende systeemcomponenten van aquathermie-systemen en zijn er beslismomen ontwikkeld die inzicht geven in de stappen die gemaakt moeten worden om tot een definitief ontwerp te komen.

Bij alle technieken van aquathermie wordt er warmte of koude gewonnen uit het water. Het water wordt langs een warmtewisselaar geleid waarna het weer wordt geloosd. De gangbare techniek, de grootste voordelen en grootste uitdagingen van TEO, TED en TEA toepassingen zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Al deze aquathermietechnieken kunnen worden toegepast als regeneratie voor Warmte-Koude opslag (WKO) of als rechtstreekse warmtelevering.

	Gangbare techniek	Voordelen	Uitdagingen
TEO	water wordt ingenomen uit oppervlaktewater, wordt gefilterd waarna het door de warmtewisselaar stroomt en wordt geloosd	- breed toepasbaar - grote potentie	vervuiling van het systeem door waterinname uit het oppervlaktewater
TED	water stroomt via een bypass in het drinkwaterleidingnet langs een warmtewisselaar	water is al voorgezuiverd, waardoor er weinig vervuiling optreedt	- afhankelijk van bestaande drinkwater infrastructuur - regelgeving drinkwaterkwaliteit (temperatuur) beperkt de maximale onttrekking
TEA	warmtewisselaar in of om de rioolbuis. Indien de warmtewisselaar om de rioolbuis zit functioneert het ook deels als bodemwarmtewisselaar	constante temperatuur afvalwater	afhankelijk van bestaande riolering of vernieuwing hiervan

Het onderzoek in WarmingUp heeft de volgende kostenkengetallen opgeleverd:

TEO: Voorbeeld IF Technology: TEO systeem (200 m³/h) van 189.900 euro met een WKO-systeem van 903.000 euro.

TED: 135.000 euro voor kleine installatie (45 kW), 360.000 euro voor grote installatie (1.500 kW) (*geschatte kosten*)

TEA: kosten per meter van een vrij verval interne wisselaar prefab systeem: 800-1400 euro (*range uit 3 voorbeelden*)

Status

Het overzicht van aquathermie configuraties is beschikbaar op de website van WarmingUP: <https://www.warmingup.info/documenten/aquathermie-configuraties.pdf>. Deze kostenkentalen zijn in de design toolkit warmtenetten opgenomen.

Aquathermie is ook opgenomen in de subsidiabele categorieën onder de SDE++ en zijn de vinden in het volgende overzicht: [Eindadvies basisbedragen SDE++ 2022 \(pbl.nl\)](https://www.pbl.nl/nl/onderzoek-en-advies/eindadvies-basisbedragen-sde-2022)

Verder is er een gedetailleerd rapport toegevoegd voor de kostenkentalen, die basisberekening en een gevoeligheidsanalyse geeft voor de cijfers. De conclusies hiervan kunnen relevant zijn voor besluitvorming rondom aquathermie beleid: <https://www.warmingup.info/documenten/gedetailleerde-kostenberekening-aquathermie.pdf>

Toepasbaarheid

In het overzicht van aquathermie configuraties worden in factsheets achter in het document bestaande projecten beschreven. Dit overzicht geeft wel een inzicht in het ontwerp en de kosten van aquathermie in bestaande projecten, maar geeft geen onderbouwing voor de haalbaarheid van aquathermie in de Leidse regio. Per project moet nog een engineering slag worden gemaakt om tot een onderbouwd ontwerp te komen.

3.3 Beleidskader aquathermie i.v.m. ecologische effecten

Omschrijving

Omdat aquathermie een nieuwe techniek is, ontbreekt het nog aan een beleidskader rond de toepassing daarvan. Onduidelijk is nog wat er in vergunningen moet worden afgesproken in verband met ecologische effecten.

In het WarmingUP programma heeft Deltares literatuuronderzoek gedaan effecten van koudelozingen op het ecologisch functioneren van oppervlaktewatersystemen. De focus van de literatuurstudie ligt op het achterhalen van kengetallen over de relatie tussen verandering in temperatuur en chemische parameters van en flora en fauna in het watersysteem

<https://www.aquathermie.nl/bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2017710>.

Momenteel is er nog weinig bekend over het effect van koudelozingen op het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren. Door de kennis te vergroten, kunnen ecologische randvoorwaarden beter in beeld gebracht worden en kan voorkomen worden dat kennisgebrek een showstopper voor TEO wordt. In WarmingUP is daarom een monitoringsplan geschreven. Dit monitoringsplan is bedoeld als ondersteunend document bij de vergunningverlening van TEO's: <https://www.warmingup.info/documenten/3b-monitoringsplan.pdf>

Status

In WarmingUP zien we dat waterbeheerders verschillend tegenover de toepassing van aquathermie in oppervlaktewater staan. Enerzijds willen ze graag een bijdrage leveren aan de energietransitie, anderzijds is er de verantwoordelijkheid voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Door de onzekerheid over de mogelijke effecten op het watersysteem zijn een deel van de waterbeheerders terughoudend met de vergunningverlening, een ander deel ziet hier juist kansen voor verbetering van de waterkwaliteit. WarmingUP leert ons dat er weinig bekend is over de ecologische effecten van aquathermie. Het is duidelijk dat aquathermie het oppervlaktewater (plaatselijk) afkoelt, maar de ecologische consequenties van afkoeling zijn niet bekend. Tegelijk kan de vraag gesteld worden hoe de afkoeling zich verhoudt tot opwarming door klimaatverandering of warmtelozingen door energiecentrales of tot de natuurlijke variatie van de watertemperatuur.

De vereisten rond vergunningen voor aquathermie staan beschreven in: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-47%20handreiking%20aquathermie.pdf>

Toepasbaarheid

Met deze innovatie kunnen waterbeheerders beter inschatten wanneer ze aan initiatiefnemers gedetailleerdere modelleringberekeningen moeten vragen ter ondersteuning van een vergunningsaanvraag of uitgebreidere monitoring moeten toepassen (of een uitgebreide monitoringsverplichting moeten opleggen aan initiatiefnemers). Het helpt initiatiefnemers ook om een beter beeld te krijgen hoeveel warmte er uit een waterlichaam te halen is binnen de vergunningseisen en wat daarbij kan helpen om de impact te verminderen.

3.4 Handreiking ontwerp TEO aquathermiesysteem

Omschrijving

Tot op heden zijn er significant meer TEO systemen ontworpen dan TEA en TED systemen. Als aquathermie wordt opgeschaald, dan zal de focus naar alle waarschijnlijkheid in eerste instantie komen te liggen op de ontwikkeling van TEO systemen. Uit ervaringen van bestaande TEO systemen, blijkt dat het functioneren van aquathermie systemen op de lange termijn in belangrijke mate wordt bepaald door keuzes in het ontwerp. Om ervaringen uit het verleden mee te nemen in toekomstige installaties, is deze ontwerphandreiking opgesteld. De handreiking geeft achtergrondinformatie over het ontwerp en gangbare technieken. Daarnaast zijn de ervaringen van de verschillende bestaande systemen gebundeld in deze ontwerphandreiking. Met behulp van deze ontwerphandreiking kunnen ontwikkelaars van aquathermiesystemen vooraf beter de aandachtspunten en risico's inschatten die komen kijken bij de ontwikkeling van een TEO aquathermiesysteem.

Deze ontwerphandreiking is geschreven voor ontwikkelaars om te komen tot een betrouwbaar en goed functionerend aquathermiesysteem voor de lange termijn. Uit ervaringen met bestaande projecten is gebleken dat er voldoende kennis moet zijn van de waterkwaliteit en de ecologie van het onttrekkende water om te komen tot een goed ontwerp. Vandaar dat deze handleiding ook ingaat op de effecten van de waterkwaliteit op het aquathermiesysteem. De effecten van de lozingen van het effluent op het oppervlaktewater worden niet verder uitgewerkt. Er worden wel enkele bronnen genoemd die daar verder op in gaan.

Status

Het is de verwachting dat de (praktijk)kennis over TEO systemen de komende jaren zal gaan groeien. Het is daarom ook raadzaam om deze handreiking periodiek te herzien, zodat de nieuwste kennis aan deze handreiking kan worden toegevoegd.

De handreiking is beschikbaar op de website van WarmingUP:

<https://www.warmingup.info/documenten/ontwerphandreiking-aquathermie-teo.pdf>

Toepasbaarheid

De handreiking is bedoeld voor ontwikkelaars van aquathermie systemen. Wanneer besloten is om ergens een TEO project te ontwikkelen, kan een ontwikkelaar deze kennis benutten bij het ontwerp van een aquathermiesysteem.

4 Geothermie

Geothermie is duurzame warmte uit de diepe ondergrond (dieper dan 500 meter) waarmee je huizen, gebouwen en kassen kunt verwarmen. Diep in de ondergrond bevindt zich warm water in (poreuze) zand- en gesteentelagen. Geothermie, ofwel aardwarmte, wordt gewonnen uit heet water in deze lagen. In Nederland wordt aardwarmte doorgaans gewonnen op een diepte van tussen de 2 à 3 km, waarbij het water een temperatuur heeft van 70 – 90 °C. Heet water wordt van grote diepte opgepompt, afgekoeld en teruggepompt. Via een pijp gaat water omhoog en datzelfde water gaat via een tweede pijp weer omlaag. De pijpen worden samen een ‘doublet’ genoemd. Een doublet is een combinatie van een put voor het oppompen (productieput) en een put voor het terugvoeren van het aardwarmtewater (injectieput). Het opgepompte water blijft in een gesloten circuit, via warmtewisselaars wordt de warmte overgedragen op leidingwater dat wordt vervoerd met het warmtenet. Via een verdeelstation wordt het verwarmde leidingwater naar woningen en gebouwen vervoerd en wordt het afgekoelde water weer teruggevoerd naar de aardwarmte-installatie.

Geothermie Nederland geeft een overzicht van bestaande geothermieprojecten en nieuwe initiatieven in Nederland: <https://geothermie.nl/geothermie/locaties-in-nederland/>. Daarin staan 22 geothermieprojecten die in gebruik zijn, waarvan 19 projecten in de glastuinbouw. Er zijn 2 projecten in de gebouwde omgeving (Den Haag en Heerlen) en één project waarin het leveren van warmte aan glastuinbouw en woningen wordt gecombineerd (Westland). Verder zijn er nog 14 projecten in onderzoek en ontwikkeling, waarvan drie specifiek in de gebouwde omgeving (Leeuwarden, Delft en Leiden). Ook worden vaak combinaties van glastuinbouw en gebouwde omgeving onderzocht.

In dit hoofdstuk presenteren we innovaties op het gebied van geothermie uit het WarmingUP programma en uit NieuweWarmteNu!.

4.1 Thermo GIS Analyse geschiktheid ondergrond geothermie

Omschrijving

Thermo GIS is een publiek web-based geografisch informatiesysteem bij het ontwikkelen van winning van aardwarmte uit de Nederlandse ondergrond. ThermoGIS stelt kaarten beschikbaar van de diepte, dikte, permeabiliteit (doorlaatbaarheid) en temperatuur van potentiële aquifers (watervoerende lagen in de bodem) in Nederland. Het geothermisch potentieel wordt berekend met behulp van een geïntegreerde stochastische techno-economische rekenmodule. De belangrijkste uitkomsten zijn geothermische potentiëkaarten van Nederland die bekeken kunnen worden in de Mapviewer (Mapviewer informatie). In het Berekening tabblad kan de berekening opnieuw gedaan worden voor een specifieke locatie, met aanpassing van bepaalde essentiële parameters door de gebruiker.

Status

De ThermoGIS kaarten zijn publiekelijk beschikbaar <https://www.thermogis.nl/>
Een beschrijving van ThermoGIS staat ook op de WarmingUP website:
https://www.warmingup.info/documenten/thermogis_beschrijving-egc-2019.pdf

In WarmingUP lag de focus op de karakterisatie van de relatief onbekende, ondiepe (~500 tot 1000 m diepte) lagen: met name het Brussels Zand en de Breda Fm. Methodes en workflows zijn ontwikkeld specifiek voor de karakterisatie deze ondiepe, fijnzandige lagen waar weinig data beschikbaar is:
https://www.warmingup.info/documenten/report-mapping-brussels-sand_final_v3_18122020.pdf
https://www.warmingup.info/documenten/geeletal2022_brusselssand_egc-2022_submitted-v2.pdf

Toepasbaarheid

De huidige exploratie en realisatie van geothermische bronnen richt zich vooral op lagen die goed bekend zijn uit olie- en gasexploratie (ca 2-4 km). De inzet van geothermie kan uitgebreid worden met de ontwikkeling van ondiepere lagen (~0.5-2 km). De ondiepe lagen zijn relatief slecht bestudeerd in het verleden, omdat ze merendeels oninteressant zijn voor delfstoffen of drinkwater. De methodes die ontwikkeld zijn voor karakterisatie van Brussels Zand zijn ook relevant voor andere relatief ondiepe lagen met beperkte data beschikbaarheid.

Beperkingen:

In ThermoGIS worden alleen die aardlagen getoond waarbij een reële kans bestaat dat de natuurlijke eigenschappen van de aardlaag gunstig genoeg zijn om voldoende water te kunnen onttrekken. Het in kaart kunnen brengen van aardlagen is mede afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens en datadichtheid. Het is daarom mogelijk dat bepaalde lagen niet in ThermoGIS opgenomen zijn, bijvoorbeeld omdat er onvoldoende over bekend is. De kaarten in ThermoGIS zijn gekarteerd en gemodelleerd op *regionale* schaal. *Lokaal* kunnen de getoonde waarden daarom afwijken van de werkelijkheid.

In de Leidse regio worden de mogelijkheden van geothermie onderzocht door verschillende geothermie operators. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van ThermoGIS.

4.2 Bronontwerp geothermie**Omschrijving**

In aardwarmteprojecten wordt gebruikt gemaakt van een 'geothermisch doublet'. Een geothermisch doublet bestaat uit twee diepe geothermische putten: Een productieput en een injectieput. Tijdens de levensduur van een geothermisch doublet wordt op enkele kilometers diepte (uit de productieput) warm grondwater uit het gesteente (het 'reservoir') onttrokken, dat na koeling via de injectieput weer in het reservoir wordt geïnjecteerd.

Als een geschikte laag voor geothermie is gevonden en de lokale eigenschappen in meer detail gekarakteriseerd zijn, kan de productiestrategie (aantal putten, plaatsing van de putten) en het putontwerp gemaakt worden. Wat betreft het

ontwerp van de put (put traject, de afwerking van de put, pompen) en de plaatsing van de putten, wordt aan tal van verbeteringen gewerkt.

In WarmingUP betreft dit onder andere:

- Technieken en monitoring voor het verlengen van de levensduur van de ESP (Electrical Submersible Pump)
- Optimalisatie van de put trajecten en put plaatsing
- Voor de ondiepe lagen, die meestal bestaan uit ongeconsolideerde sedimenten, zijn speciaal daarop afgestemde puttechnieken nodig voor de realisatie.
- Voor de realisatie van bronnen in marginale reservoirs zijn ook slimme puttechnieken nodig, afgestemd op de specifieke heterogeniteit en onzekerheid van de reservoirs.
- Efficiënt monitoren van het gebied rond de put door gebruik te maken van pulse testen.

Projecten:

Het RESULT project onderzoekt hoe uit minder productieve reservoirs toch kosteneffectief geproduceerd kunnen worden onder andere via innovatieve putontwerpen. <https://www.result-geothermica.eu/>

Status

De optimalisatie van de put plaatsing is met succes gedemonstreerd in de Maasdijk regio. Hierin is de productie geoptimaliseerd van de gecombineerde geothermische reservoirs van de Delft en Alblasserdam formaties. Het RESULT project loopt van 2020-2023 en kan mogelijk nieuwe innovaties bieden aan het eind van het project.

Toepasbaarheid

De putoptimalisatie uit de Maasdijk regio kan een voorbeeld zijn voor de Leidse regio. Innovatieve putontwerpen uit het RESULT project kunnen de kosten verlagen van geothermie in de Leidse regio. Het project onderzoekt hoe put ontwerp optimaliseert voor minder productieve reservoirs en er is een kans dat de geothermische reservoirs in de ondergrond in Leiden minder goed zijn.

4.3 Geïnduceerde seismiciteit en milieueffecten

Omschrijving

Geothermie is sterk in ontwikkeling in Nederland. Net als iedere activiteit brengt ook deze ondergrondse activiteit risico's met zich mee. Eén van de mogelijke risico's is het ontstaan van door mensen veroorzaakte aardbevingen, oftewel geïnduceerde seismiciteit. Hierbij treden verschuivingen op langs bestaande, natuurlijke breuken. Het is niet wenselijk dat deze aardbevingen dusdanig groot zijn dat zij aan het aardoppervlak gevoeld worden en/of schade kunnen veroorzaken. Een randvoorwaarde voor een veilige en verantwoorde opschaling van geothermie in Nederland is dat dit risico op (voelbare) seismiciteit voldoende beheerst en gemitigeerd wordt.

Tijdens de onttrekking en her-injectie van water voor geothermische productie zullen er in het diepe gesteente druk- en temperatuurveranderingen optreden

Doordat er her-injectie van het water plaatsvindt, zullen de drukveranderingen in het grondwater op diepte over het algemeen beperkt blijven tot de directe omgeving van de geothermische putten. Daarmee zullen ook de effecten van de drukveranderingen kleinschalig zijn en beperkt blijven tot de directe omgeving van de putten. Langdurige her-injectie van het afgekoelde grondwater in de warme ondergrond leidt tot afkoeling van het gesteente. Hierdoor kan het gesteente 'inklinken' en kunnen er spanningsveranderingen in de ondergrond optreden. Met de duur van de herinjectie zal ook het gebied waarover het gesteente afkoelt groter worden.

In WarmingUP hebben TNO-experts onderzoek gedaan naar mechanismes die seismiciteit zouden kunnen veroorzaken bij aardwarmtewinning uit poreuze zandsteenlagen. Daarvoor zijn in deze studie meerdere modellen ontwikkeld waarmee bepaald kan worden hoe de condities in de ondergrond veranderen ten gevolge van productie van warm water en injectie van koud water in doorlatende zandstenen. De modellen beschrijven de verandering van druk en temperatuur in de ondergrond, de hieraan gerelateerde spanningsveranderingen en de mogelijkheid dat hierdoor een breuk in de invloedssfeer van het doublet gereactiveerd wordt. Afkoeling van het gesteente is de belangrijkste oorzaak van spanningsveranderingen die mogelijk kunnen leiden tot reactivatie van een bestaande breuk. Dat is anders dan bij gaswinning, waar de drukval een grotere rol speelt. De afgekoelde zone bevindt zich voornamelijk rondom de injectieput. Hoe verder deze injectieput van een bestaande breuk verwijderd is, hoe kleiner de mogelijkheid tot reactivatie van deze breuk. Hiermee wordt momenteel al rekening gehouden in het ontwerp van doubletten.

Naast modelleringen worden binnen dit project kosteneffectieve technieken voor seismische en grondwater-monitoring ontworpen, waarbij onder meer wordt gekeken naar het gebruik van glasvezel. Deze monitoringsnetwerken kunnen worden ingezet om eventuele risico's op seismiciteit en verontreiniging van het grondwater te mitigeren. Ook kunnen monitoringsgegevens gebruikt worden om de modellen te valideren en ons begrip van de processen die op diepte spelen te vergroten.

Status

Het rapport 'Quantification of induced seismicity potential of geothermal operations – Analytical and numerical model approaches' is in april 2022 op de WarmingUP website gepubliceerd:

https://www.warmingup.info/documenten/warmingup4b1_report_r1_quantification_of_induced_seismicity_potential_of_geothermal_operations.pdf.

In het kader van dit onderzoek is er een aantal rekenmodellen ontwikkeld die helpen de seismische risico's bij aardwarmtewinning in te schatten en te minimaliseren. Naast het rapport zelf is er een uitgebreide Nederlandstalige samenvatting en duiding van de resultaten gepubliceerd:

<https://www.warmingup.info/documenten/duiding-bij-warmingup-rapport-buijze-et-al-quantification-of-induced-seismicity-potential-of-geothermal-operations.pdf>.

Toepasbaarheid

De geothermieoperator moet voor de winning van aardwarmte een vergunning aanvragen bij de SodM. (Staatstoezicht op de Mijnen) Voorafgaand aan de winningsvergunning voor geothermie is een evaluatie verplicht van het

seismiciteitsrisico. Uiteindelijk beoordeelt SodM deze evaluatie. Daarbij wordt een methodiek gevolgd, de zogenaamde Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA). Het rapport over het potentieel van induced seismicity van geothermische projecten is een belangrijk kennisbron voor het opzetten en verbeteren van zo'n methodiek. De SHRA methodiek wordt buiten WarmingUP door een SHRA-werkgroep in opdracht van EZK vastgelegd.

4.4 Productie optimalisatie geothermie

Omschrijving

In het programma van WarmingUP is gewerkt aan een afwegingskader en optimalisatie voor ontwikkeling van geothermische bronnen in context van slimme warmtenet ontwikkeling. Hierin staat de ontwikkeling en toepassing van algoritmes centraal om de planning van geothermische putten te optimaliseren.

Bij de werking van de geothermische systemen kunnen er storingen ontstaan door aanslag, corrosie en pompstoringen. Daarbij kan de ene oorzaak de ander versterken. Doel van dit onderzoek is dat operators door real time gegevens over de situatie in de geothermiebron proactief kunnen beslissen bepaalde onderhoud of vervanging te doen om storingen te voorkomen.

Productie optimalisatie houdt zich bezig met optimale performance over de levensduur van de geothermische bron (of van meerdere bronnen in samenhang). De definitie van optimaal heeft zowel betrekking op verlaging van kosten over de levensduur, maximale uitputting ondergrond, en duurzaamheid en veiligheid van bronnen. Verschillende onderwerpen zijn in dit kader geoptimaliseerd.

Status

De resultaten van de twee optimalisatieprojecten zijn vastgelegd in <https://www.warmingup.info/documenten/model-based-monitoring-of-geothermal-assets.pdf>

https://www.warmingup.info/documenten/andyrhodesmasterthesis_final.pdf

Toepasbaarheid

De resultaten van dit onderzoek laten zien hoe geothermie operators het bedrijven van een geothermie bron kunnen verbeteren.

4.5 Demonstratie Eavor Loop (gesloten geothermiesysteem)

Omschrijving

Eavor is een gesloten geothermiesysteem (diepe warmtewisselaar) op 2-3 km diepte. Als voordeel van een volledig gesloten systeem heeft Eavor geen fracking, geen BKG-emissies, geen aardbevingsrisico, geen watergebruik, geen geproduceerde pekels of vaste stoffen en geen verontreiniging van watervoerende lagen. Eavor circuleert in plaats daarvan een goedaardige werkvloeistof die volledig is geïsoleerd van de omgeving in een gesloten kringloop, net als een enorme ondergrondse radiator. (zie ook <https://www.eavor.com/>).

Status

Binnen het Groeifondsproject NieuweWarmteNu! wordt een demonstratie van Eavor in Tilburg gerealiseerd.

Toepasbaarheid

De Eavor Loop techniek kan op veel plekken toepasbaar zijn omdat het niet afhankelijk is van een poreus gesteente in de diepe ondergrond waar water doorheen geperst kan worden. Het is een gesloten systeem en is in principe niet afhankelijk van de lokale permeabiliteit. Verder zijn er geen injectie- of productiepompen nodig, is er geen corrosie, geen scaling en zijn de productiekosten laag. De techniek is daardoor gedeeltelijk complementair aan de conventionele geothermie, afhankelijk van de ondergrond condities. Het vereist wel een grotere initiële investering. In Canada draait een eerste proefproject nu sinds een jaar probleemloos. De Nederlandse markt is interessant voor Eavor door de subsidies die er verstrekt worden en door de goede kennis van de ondergrond.

Het is belangrijk dat de Eavor loop eerst onder Nederlandse condities getest wordt om te kijken wat de productiviteit is en wat de kosten en baten zijn. Dat staat gepland in NieuweWarmteNu!. De Leidse regio is al in gesprek met Eavor over mogelijkheden.

4.6 Composiet putverbuizing Geothermie

Omschrijving

Om corrosie en “scaling”(aanslag) problemen in geothermieputten te voorkomen wordt gewerkt aan het op industriële schaal beschikbaar maken van een hoogwaardig composietbuizensysteem met unieke slanke en robuuste schroefkoppelingen, specifiek ontwikkeld voor putconstructietoepassingen.

Status

Deze innovatie wordt toegepast in projecten gefinancierd in het groeifondsproject NieuweWarmteNu!

Toepasbaarheid

De keuze voor composiet putverbuizing is aan de geothermie operators. Bij het detail putontwerp is het van belang om te kijken naar de putverbuizing. Daarvoor kan een gespecialiseerd bedrijf ingehuurd voor worden en kan er een afweging gemaakt worden of composiet een optie is. Dat hangt af van een aantal fysieke eigenschappen van de ondergrond zoals de diepte, de water kwaliteit en het debiet.

4.7 Data gedreven optimalisatie aardwarmte systemen (‘digital twin’)

Omschrijving

Een digital twin is een softwarematige innovatie voor een geothermieput. Deze technologie zorgt voor een verbetering van operationele beslissingen en vermindert storingen en onderhoud. Door automatiseren, digitaliseren en toepassen van kunstmatige intelligentie (AI) kunnen kosten van aardwarmte

systemen over de gehele levenscyclus worden gereduceerd en kan operationele veiligheid en kwaliteit worden verbeterd.

Door de toepassing van een digital twin wordt de gemiddelde OPEX per geothermie project verlaagd met 30% (~480k euro per jaar) en de CO₂-emissies met 10% per project per jaar (bron: groeifondsvoorstel NieuweWarmteNu!).

Status

Deze innovatie wordt toegepast in projecten gefinancierd in het groeifondsproject NieuweWarmteNu!

Toepasbaarheid

De digital twin moet door de geothermie operators worden gebruikt.

5 Warmteopslag

In dit hoofdstuk presenteren we innovaties op het gebied van warmteopslag uit het WarmingUP programma, uit NieuweWarmteNu! en uit UpTempo van de TKI Urban Energy. De warmtevraag in een warmtenet in de gebouwde omgeving heeft de vorm van een “badkuip”: in de winter is er veel warmtevraag vanwege ruimteverwarming, in de zomer blijft alleen de tapwatervraag over. Bij de combinatie van duurzame warmtebronnen zoals geothermie met warmteopslag kan een geothermiebron meer draaiuren maken. In de zomer wordt warmte uit de geothermiebron opgeslagen en in de winter wordt warmte uit de opslag onttrokken. Doordat een geothermiebron meer draaiuren kan maken, kan deze meer warmte produceren en kunnen de investeringskosten over meer productie worden verdeeld en zijn de productiekosten per GJ warmte lager. Door de combinatie met opslag kan een duurzame warmtebron ook een groter deel van de warmtevraag voorzien ten gunste van andere bronnen die minder duurzaam zijn. Het gaat hierbij wel om seizoensopslag. Decentrale opslag van warmte op buurt of gebouwniveau biedt vooral mogelijkheden om de piekbelasting over de dag in het lokale distributienet te verminderen. Dimensionering van het systeem kan daardoor goedkoper en daarmee ook de aansluitkosten.

We bespreken in dit hoofdstuk drie verschillende schaalniveaus van opslagsystemen: grootschalige opslag op niveau van een groot warmtenet, opslag op buurniveau en kleinschalige opslag op gebouwniveau. Voor elk niveau geven we een omschrijving van de technieken die daar belangrijk zijn, en voorbeelden van innovaties die al beschikbaar zijn.

5.1 Hoge temperatuur warmteopslag in de bodem

Omschrijving

Hoge temperatuur opslag (HTO), ook wel High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES) biedt de mogelijkheid om duurzame warmte in de zomermaanden, tijdelijk op te slaan in de bodem in doorlatende zandlagen op een diepte van ~100-500 m.

De warmte kan vervolgens teruggewonnen worden in de winter als de warmtevraag hoog is. Hernieuwbare bronnen zoals geothermie hebben overtollige capaciteit in de zomer, en industriële restwarmte hoeft niet geloosd te worden. Deze bronnen kunnen hierdoor meer uren maken of kleiner gedimensioneerd worden en evenveel warmte produceren. Hierdoor is minder capaciteit aan duurzame warmtebronnen nodig om dezelfde hoeveelheid (aan GJ) warmte te leveren.

De HTO als technologie, geïntegreerd in warmtenetten, kan een belangrijke rol spelen in het verduurzamen van onze warmtevoorziening. De eigenschappen van de ondergrond bepalen in sterke mate of HTO op een bepaalde locatie mogelijk is. Het HTO systeem kan ontworpen worden op de vraag naar opslag in een specifieke warmtenet.

Status

De eerste commerciële HTO pilot is gerealiseerd door ECW in Middenmeer in het Geothermica HEATSTORE project (2017-2021). Dit systeem heeft een eerste laad- en ontladefase doorgemaakt. In Rotterdam Nesseland zijn in 2022 proefboringen uitgevoerd als onderdeel van het WarmingUP programma. Deze pilot wordt later dit jaar gerealiseerd: inpassing-hto-rotterdam-nesselande.pdf (warmingup.info). Op de campus van de TU Delft worden dit najaar proefboringen uitgevoerd en in Leeuwarden wordt naar verwachting in 2023 een pilot gestart.

Uitgebreid onderzoek naar de effecten van hoge temperatuur opslag in de ondergrond en optimalisatie van het operationele systeem vindt momenteel plaats. Numerieke modellen welke gebruikt worden voor het voorspellen van de temperatuur ontwikkeling in de ondergrond, het rendement van het systeem en de chemische effecten zullen gekalibreerd worden aan monitoring data. De resultaten van deze onderzoeken zullen gebruikt worden om nieuwe HTO systemen te verbeteren en goedkoper te maken. Bovendien zal het de vergunningverlening in de toekomst kunnen versnellen.

In het Groeifonds project NieuweWarmteNu! wordt verder gewerkt aan het verbeteren van de systemen om milieu- en financiële risico's te verminderen en hierdoor bij te dragen aan het opschalen van de technologie.

Toepasbaarheid

Het verdient aanbeveling ook in de Leidse regio de mogelijkheden van HTO te onderzoeken en te leren van ervaringen bij de pilots uit WarmingUP en NieuweWarmteNu!

5.2 Opslag op buurtniveau

Omschrijving

Met opslag op buurtniveau kan de piekbelasting over de dag in een warmtenet worden verlaagd, zodat het systeem kleiner gedimensioneerd zou kunnen worden. Verschillende partijen bieden oplossingen voor warmteopslag op buurtniveau aan, zoals Ecovat (GroeneWarmte), Energy Storage Crates, Hocosto, Cellcius. Deze oplossingen gaan uit van andere technische principes, Ecovat en Energy Storage Crates en Hocosto betreffen een waterbuffer, terwijl Cellcius uitgaat van thermochemische opslag en Polar Night Energy van een zandbatterij.

Ecovat (recent ondergebracht in GroeneWarmte) biedt een oplossing voor seizoensopslag van warmte en koude. Dit is toepasbaar op wijkniveau en is onderdeel van een warmtenet. Ecovat is een groot ondergronds vat met water dat als buffer dient. Het vat kan opgewarmd worden met duurzame warmte, zoals geothermie, restwarmte en zonnecollectoren.

<https://www.ecovat.eu/mogelijkheden/warmtenetten/>

Energy Storage Crates biedt modulair stapelbare kunststof elementen aan voor opslaan van warmte in de zomer voor gebruik in de winter. Het kan water ondergronds vasthouden waarin warmte wordt opgeslagen, naast het gebouw, onder gras of onder parkeerplaatsen of straten.

<https://escom.nu/producten/#opslag>

De seizoensopslag van **Hocosto** maakt gebruik van een ondergrondse waterbuffer en is variabel in afmeting en kan zo worden aangepast aan de warmte- of koudevraag. De buffer is inzetbaar tussen seizoenen of als piek- of dagbuffer. De modulair te bouwen spaceframe constructie zorgt voor stevigheid en meervoudig ruimtegebruik: boven op de buffer kan een parkeerplaats, grasveld of speeltuin aangelegd worden. Het opladen van de buffer kan door zonnecollectoren of door restwarmte.

<https://hocosto.com/product/>

De **Cellcius** warmtebatterij is een warmte opslag voor lage temperatuurniveaus (tot 150 °C) en is een gesloten systeem met water en het zoutcomposiet kaliumcarbonaat. Het systeem kan warmte of energie opslaan, bijvoorbeeld restwarmte van fabrieken met een lage temperatuur. Die opgeslagen warmte kan in losse modules zonder verlies worden vervoerd. Het systeem vereist bijvoorbeeld geen buizenstelsel waarin er onderweg warmte kan afkoelen. De batterij kan in theorie ook als afzonderlijke toepassing in een huis worden gebruikt, bijvoorbeeld om warmte van zonnepanelen op te slaan en vrij te geven op dagen zonder zon. Vermogens van 1 kW tot 10 MW voor residentiële en niet-residentiële locaties.

<https://cellcius.com/>

Het Finse bedrijf **Polar Night Energy** produceert zandbatterijen die overtollige groene stroom van zon en wind opslaan als warmte in een groot vat vol met schoon zand. De geïsoleerde tank is ongeveer 4 meter in diameter en 7 meter hoog en kan in totaal ongeveer 8 MWh aan energie opslaan. Overtollige stroom uit zon of wind verwarmt via een warmtewisselaar het zand in de tank. Dat kan tot hoge temperatuur: zo'n 500 graden. Het zand kan die warmte vervolgens maandenlang vasthouden met gering verlies. Een leidingsysteem transporteert de opgeslagen warmte naar gebouwen in de regio, zoals zwembaden en industriële bedrijven, die het gebruiken voor hun bedrijfsprocessen of voor ruimteverwarming.

<https://polarnightenergy.fi/sand-battery>

Status

Ecovat: projecten en leads waarbij Ecovat op dit moment betrokken is:

<https://www.ecovat.eu/mogelijkheden/warmtenetten/>

Energy Storage Crates: Het is onbekend of de oplossing al wordt toegepast in de praktijk.

Hocosto: Er lopen momenteel vier projecten:

1. Collectief warmtenet met seizoensbuffer (Nagele)
2. Lokaal warmtenet op camping
3. Hocosto in grondwaterbeschermingsgebied
4. Magazijn/werkplaats/kantoren: verwarming & koeling

<https://hocosto.com/projecten/>

Cellcius: De eerste pilots zijn van start gegaan op drie locaties in Europa, waarbij de warmtebatterijtechniek in woningen getest wordt. Eind 2022 zal de eerste industriële toepassing gereed zijn.

Polar Night Energy: de eerste commerciële zandbatterij is geïnstalleerd in Kankaanpää in west Finland. Het is aangesloten op een stadsverwarmingsnet en verwarmt residentiële en commerciële gebouwen zoals gezinswoningen en het gemeentelijk zwembad.

Toepasbaarheid

Met opslag op buurtniveau kan de piekbelasting over de dag in een warmtenet worden verlaagd, zodat het systeem kleiner gedimensioneerd zou kunnen worden. Het volume van de buffer kan bepaald worden per buurt door een kwantitatieve analyse met de design toolkit. Het benodigde buffervolume voor de geaggregeerde warmtevraag wordt nu voorzien vanuit een warmte overdracht station (WOS). Voor warmteopslag op buurt niveau dient dit buffer volume verdeelt te worden over de buurt buffers. Vervolgens kan de gemeente in gesprek gaan met partijen uit de gebouwde omgeving om met maatwerk te kijken wat de beste warmteopslag oplossing is per buurt.

5.3 Kleinschalige opslag op gebouwniveau

Omschrijving

Met opslag op gebouwniveau kan de piekbelasting over de dag in een warmtenet worden verlaagd, zodat het systeem kleiner gedimensioneerd zou kunnen worden. Dit wordt vooral in grote gebouwen toegepast. Verschillende partijen bieden oplossingen voor kleinschalige opslag op gebouwniveau aan, zoals Solareis en Hydrobag, Flamco. Daarbij maakt Hydrobag gebruik van een waterbuffer en Solareis van opslag in een ijsbuffer. Flamco kan zonnestroom opslaan in een thermochemische batterij.

Hydrobag is een flexibele, intelligente waterzak voor de opslag van warmte. De Hydrobag is gemaakt van synthetisch rubber dat productie in groottes tot 10 kubieke meter mogelijk maakt. Daardoor is de Hydrobag ook in beperkte ruimtes te plaatsen, bijvoorbeeld in de kruipruimte of achter het knieshot van de woning. De Hydrobag is leverbaar in combinatie met zonnecollectoren of een warmtepomp. Ook gebruik in combinatie met de traditionele HR-ketel kan de Hydrobag een verrassende besparing opleveren.

<https://hydrobag.nl/gasvrij-wonen/>

Solareis

Het SolarEis systeem werkt met een ijsbuffer en zon- of luchtabsorbers. In de winter zal het SolarEis systeem energie onttrekken aan een ijsbuffer, de temperatuur in de ijsbuffer zal daardoor dalen tot het vriespunt. Bij het bereiken van dit vriespunt van vloeibaar naar vast komt veel energie vrij, deze fase noemen we kristallisatie-warmte.

In de zomer zal het proces omgekeerd gaan werken. Zo zal het systeem warmte uit het gebouw halen en dit in het buffer stoppen die geladen is met koude. Koude zal aan het gebouw worden afgegeven en de warmte zal in de ijsbuffer worden opgeslagen voor de aankomende winterperiode.

<https://www.solareis.nl/>

FlexTherm Eco heeft een thermische batterij voor de opslag van warmte voor warm tapwater. Het is een thermisch laadstation en zet elektriciteit uit zonnepanelen direct om in warmte en slaat die op voor warmwatervoorziening. De oplossing levert 12,5 liter warm water per minuut (CW5), voldoende om minimaal 185 liter aan warm (douche)water te leveren. Er zijn drie typen oplossingen, met capaciteiten van 3.5, 7.0 en 10.5 kWh in een prijscategorie van ongeveer 3.000-4.500 euro.

[FlexTherm Eco warmte opslag | Flamco Group](#)

Status

Hydrobag: Er lopen momenteel vier projecten: een test opstelling in Emmer-Compascuum en projecten in Emmer-Compascuum, Ter-Apel en in Frankrijk.

Solareis: Er lopen momenteel vijf projecten in:

- Kantoorgebouw, productiehal en cleanroom
- Appartementencomplex
- Contact Opleidings-, Trainings- en Kenniscentrum
- Klimaatneutrale bedrijfsunits
- Wooncorporatie – appartementencomplex.

FlexTherm Eco verkoopt de producten al op de markt.

Toepasbaarheid

Met opslag op gebouwniveau kan de piekbelasting over de dag in een warmtenet worden verlaagd, zodat het systeem kleiner gedimensioneerd zou kunnen worden. Dit type opslag wordt vooral in grote gebouwen toegepast en niet in individuele woningen. Het volume van de buffer kan worden bepaald met een kwantitatieve analyse in de design toolkit. Vervolgens kan de gemeente in gesprek gaan met partijen uit de gebouwde omgeving om met maatwerk te kijken wat de beste warmteopslag oplossing is per gebouw. Het benodigde buffervolume voor de geaggregeerde voorraad van warmte wordt nu voorzien vanuit een warmte overdracht station (WOS). Voor warmteopslag op gebouw niveau dient dit buffer volume verdeelt te worden over de gebouw buffers

6 Vraagsturing

Vraagsturing in warmtenetten richt zich op het verlagen van de piekvraag en het verlagen van de retourtemperatuur in een warmtenet. Dat kan via regeltechniek door de warmteleverancier (centrale sturing) of door de gebruiker zelf daartoe aangezet door communicatie of variabele tarieven (decentrale sturing).

Een lagere piekvraag kan worden bereikt door loadshifting. De warmtevraag tijdens de piek wordt dan verschoven naar momenten buiten de piek, bijvoorbeeld doordat in een deel van de woningen en gebouwen op een koude winterochtend eerder begonnen wordt met verwarmen. Door een lagere piekvraag treden verschuivingen op in de bronnenmix en hoeven gasgestookte piekketels minder vaak te worden ingezet. Dat leidt tot CO₂-reductie en lagere kosten voor warmteproductie. Ook scheelt het investeringen wanneer piekketels aan vervanging toe zijn. Een lagere retourtemperatuur kan worden bereikt door het stadswarmtewater langzamer door de woning te laten stromen zodat deze tijd heeft zijn warmte af te geven. Dat kan via regeltechniek of door waterzijdig inregelen van radiatoren. Een lagere retourtemperatuur leidt tot lagere warmteverliezen en minder pompenergie of meer capaciteit in het netwerk voor extra aansluitingen.

Vraagsturing kan leiden tot lagere kosten en CO₂-reductie. Vraagsturing wordt nog weinig toegepast in warmtenetten, op enkele pilots na.

In dit hoofdstuk presenteren we innovaties op het gebied van vraagsturing in warmtenetten uit het WarmingUP programma en uit UpTempo van de TKI Urban Energy.

6.1 Vraagsturing in warmtenetten

Omschrijving

Door de piekvraag in een warmtenet te verlagen kunnen kosten en CO₂ worden bespaard. Door een lagere piekvraag is de inzet van gasgestookte piekketels minder nodig en kunnen duurzame warmtebronnen beter worden benut. De piekvraag verlagen kan via regeltechniek, waarbij de warmteleverancier in een deel van de woningen of gebouwen iets eerder begint met verwarmen tijdens de ochtendpiek. Ook het stimuleren van de toepassing van vloerverwarming helpt om de piekvraag in een warmtenet te verlagen, omdat bij vloerverwarming op een vrij constante temperatuur wordt gestookt.

Vraagsturing kan ook betrekking hebben op het verlagen van de retourtemperatuur. Vaak is het zo dat het stadswarmtewater te snel door woningen stroomt, waardoor het onvoldoende tijd krijgt om de warmte af te geven. Met regeltechniek kan de warmteleverancier zorgen dat het stadswarmtewater minder snel door woning stroomt. De gebruiker kan bijdragen aan een lagere retourtemperatuur door het waterzijdig inregelen van radiatoren. Een lagere retourtemperatuur vermindert de warmteverliezen in het warmtenet maar verbetert ook de efficiency van warmtebronnen zoals ketels door condensatie van rookgassen.

Status
<p>Vraagsturing wordt in warmtenetten nog niet of nauwelijks toegepast. Meer uitleg over vraagsturing in warmtenetten is te vinden op de WarmingUP website: https://www.warmingup.info/documenten/menkveld-et-al-2021-vraagsturing-in-warmtenetten_warmingup_t6mp1r5v5-1.pdf</p> <p>In het WarmingUP programma is onderzoek gedaan naar de bereidheid van huishoudens om mee te werken aan vraagsturing: https://www.warmingup.info/documenten/schreuders-m-et-al-2021-bereidheid-bewoners-om-mee-te-doen-aan-vraagsturing-warmte_warmingup-rapport-t6d.pdf</p> <p>In het WarmingUP programma worden ook de baten van vraagsturing voor een warmteleverancier onderzocht. De resultaten daarvan komen voor eind 2022 beschikbaar.</p> <p>Eneco heeft regeltechniek getest in een pilot en gaat dit onder de noemer "Slimme warmte" uitrollen in het Utrechtse warmtenet vanaf najaar 2022. https://www.eneco.nl/energieproducten/slimmewarmte-pilot/</p> <p>De gebruikers krijgen een slimme meter en een slimme thermostaat en een regeltechniek in hun afleverzet. Eneco wil alleen op zeer koude dagen sturen op de piekvraag, maar wel continu sturen op een lagere retourtemperatuur. In het WarmingUP programma wordt de motivatie van huishoudens om mee te doen met slimme warmte van Eneco onderzocht.</p>
Toepasbaarheid
<p>Er is nog weinig ervaring met vraagsturing in warmtenetten. Meer pilots zijn nodig. De gemeente kan bij de aanbesteding van een warmtenet met warmtebedrijven in gesprek gaan over vraagsturing. Vraagsturing kan immers leiden tot lagere kosten en CO₂-reductie.</p>

6.2 Storm Controller

Omschrijving
<p>De Storm Controller is regeltechniek die gebruikt kan worden voor vraagsturing in een warmtenet. De Storm Controller maakt gebruik van de thermische massa van grote utiliteitsgebouwen en verschuift de warmtelevering om de pieken in het warmtenet te verlagen. Het doel is om de rentabiliteit van warmtenetten te verbeteren door interactie met de elektriciteitsmarkt voor grote warmtepompen en WKK. De Storm Controller is een data gedreven zelflerend systeem en werkt autonoom zonder directe aansturing van de warmteleverancier.</p>
Status
<p>De Storm Controller is gebouwd door het Vlaamse VITO/EnergyVille in het Europese Horizon 2020 project "STORM – Self-organizing Thermal Operational Resource Management", een project in de jaren 2015-2019. De Storm Controller is getest in 2 demonstratieprojecten, een in Nederland (Mijnwater https://mijnwater.com/en/storm) en een in Zweden: https://www.storm-dhc.eu/en</p> <p>Ennatuurlijk voert een pilot uit met de STORM controller: https://stormcontroller.eu/en/ennatuurlijk-making-smart-use-district-heating-networks</p>

Toepasbaarheid

De Storm Controller wordt geleverd door VITO/EnergyVille:

<https://stormcontroller.eu/nl>

Er is nog weinig ervaring met vraagsturing in warmtenetten. Meer pilots zijn nodig. De gemeente kan bij de vergunningverlening of aanbesteding van een warmtenet met warmtebedrijven in gesprek gaan over vraagsturing. Vraagsturing kan immers leiden tot lagere kosten en CO₂-reductie.

7 Sociale innovatie

De overstap van het gebruik van aardgas om bestaande woningen en gebouwen te verwarmen naar de aansluiting op een warmtenet vraagt betrokkenheid van bewoners, woningcorporaties en gebouweigenaren. Daarom zijn niet alleen technische innovaties in warmtebronnen, warmteopslag en ontwerp en aanlegmethoden relevant, maar ook sociale innovaties in het betrekken van bewoners, manieren van participatie en het creëren van draagvlak.

Gemeenten spelen een regierol in de aardgasvrij maken van wijken. Daarnaast zijn er bewonerscollectieven die zelf een warmtenet in hun wijk willen ontwikkelen. Er is daarom behoefte aan nieuwe samenwerkingsvormen bij de ontwikkeling, aanleg en exploitatie van een warmtenet en nieuwe kennisproducten om beslissingen daarover te ondersteunen. Om de warmtetransitie te versnellen is het belangrijk van anderen te leren en ervaringen te delen.

In dit hoofdstuk presenteren we sociale innovaties uit het WarmingUP programma, uit NieuweWarmteNu! en uit UpTempo van de TKI Urban Energy.

7.1 Handelingsperspectieven betrekken bewoners bij overstap naar warmtenet

Omschrijving

Wat beweegt bewoners van aardgas over te stappen op een warmtenet in hun wijk of waarom verzetten ze zich daar juist tegen? Het antwoord daarop is van groot belang voor de aanpak door gemeenten, warmtebedrijven, woningcorporaties en bewonerscollectieven.

In het WarmingUP programma zijn handelingsperspectieven ontwikkeld om gemeenten, woningcorporaties en warmteleveranciers te helpen bij het betrekken van bewoners bij overstap naar een warmtenet:

https://www.warmingup.info/documenten/publieksvriendelijke-samenvatting_bewonersacceptatie.pdf.

Voortbouwend op eerder vragenlijstonderzoek (Van Aalderen et al, 2021) zijn de factoren geïdentificeerd die deze acceptatie van bewoners voorspellen. Deze voorspellende factoren bieden bouwstenen voor de ontwikkeling van handelingsperspectieven. Zo is er het advies om de noodzaak van het afscheid nemen van aardgas beter uit te leggen, de verdeling van kosten toe te lichten, de boodschap goed af te stemmen op de individuele situatie van bewoners en een vertrouwensband op te bouwen, te werken met bewoners die een straat of buurt vertegenwoordigen, onderscheid te maken tussen huurders en eigenaren, positieve ervaringen van bewoners die overgestapt zijn te delen en het gesprek breder te voeren dan alleen over kosten.

Status

De handelingsperspectieven die zijn ontwikkeld in WarmingUP worden getest en aangescherpt in 3 praktijkcases: in de cases Kerschoten (Apeldoorn), Bospolder-Tussendijken (Rotterdam) en Helbergen (Zutphen).

Toepasbaarheid

Om de warmtetransitie te versnellen is een goed ingericht proces voor bewonersparticipatie cruciaal. De informatie uit WarmingUP biedt concrete handelingsperspectieven voor het betrekken van bewoners en voor het creëren van draagvlak voor dit thema binnen de gemeente.

7.2 Buurtwarmte helpt bewonersinitiatieven en gemeenten**Omschrijving**

Buurtwarmte helpt bewonersinitiatieven én hun gemeenten om op een professionele manier te zoeken naar alternatieven voor aardgas. Zij ondersteunen lokale initiatieven die huizen willen verduurzamen, een buurtenergieplan willen maken, of een warmtesysteem willen ontwikkelen, exploiteren en beheren.

Buurtwarmte ziet in een coöperatieve aanpak van onderop de beste basis voor een duurzame, lokale warmtevoorziening voor iedereen. We zijn daarmee geen traditionele marktpartij maar een nieuwe speler die op een andere, coöperatieve wijze werkt en maatschappelijke waarde toevoegt. Samen neem je de regie over je eigen warmtevoorziening en maak je keuzes op basis van jullie gezamenlijke belangen.

Buurtwarmte vormt een netwerk van initiatieven en coöperaties. Daar wordt gezamenlijk kennis opgebouwd over de rol van burgers in de warmtetransitie. Zij organiseren trainingen en buurtwerkplaatsen voor inhoudelijke verdieping op specifieke onderwerpen. De beste voorbeelden en aanpakken krijgen een plek in hun bibliotheek en programma's.

Status

Buurtwarmte is onderdeel van Energie Samen, de landelijke koepel voor duurzame energie-initiatieven van burgers. Buurtwarmte is georganiseerd als coöperatie: leden van Energie Samen kunnen meedenken en meepraten over Buurtwarmte via de ALV. Energie Samen is onderdeel van de internationale coöperatieve beweging, waarin burgers van onderaf de energietransitie in gang zetten en regie nemen over hun eigen warmtevoorziening.

Toepasbaarheid

Buurtwarmte heeft biedt gemeenten een manier om samen met bewoners te werken aan een buurtenergieplan:

https://energiesamen.nu/media/uploads/Buurtwarmte_Folder_AanbodGemeenten_1208_lossepag.pdf.

7.3 Innovatieve samenwerkingsvormen realisatie warmtenet

<p>Omschrijving</p> <p>Veel gemeenten en bewonerscollectieven vragen zich in de ontwikkelingsfase van een warmtenet af welke samenwerkingsvorm ze zullen kiezen: zelf doen, uitbesteden of samenwerken. In het WarmingUP programma wordt gewerkt aan een handreiking over verschillende samenwerkingsvormen. Die handreiking beschrijft veel voorkomende dilemma's bij samenwerkingen in de ontwikkelfase van een warmtenet, en mogelijkheden om daarmee om te gaan. Het gaat dan om dilemma's zoals bijvoorbeeld : Hoe ga je om met tegengestelde belangen (bespreek en expliciteer deze)? Begin je met kansrijke buurten of komen minder kansrijke buurten dan niet meer aan bod? Wie gaat erover (maak verwachtingen en rollen expliciet)? Een samenwerkingsproces als een slak (definieer een helder proces)?</p> <p>De toegevoegde waarde van handreiking is dat het juist ingaat op hoe men het samenwerkingsproces vorm kan geven. Op basis van casuïstiek zijn de stappen in het proces van samenwerking in de ontwikkelingsfase van een warmtenet getypeerd.</p> <p>Op basis van de interviews met de verschillende typen actoren en eerdere discussies binnen (en buiten) WarmingUP constateren de onderzoekers van TNO, Erasmus Universiteit Rotterdam en Saxion dat er een groot verschil bestaat in het beeld van de eigen rol, en welk perspectief anderen daarop hebben. Daarvoor ontwikkelen zij nu een instrument dat ingezet kan worden in de ontwikkelfase om de rollen veel scherper te krijgen. Om de handreiking te valideren wordt samengewerkt met praktijkcases om deze in de praktijk te testen.</p>
<p>Status</p> <p>Het tussen resultaat is beschikbaar via de WarmingUp website: https://www.warmingup.info/documenten/resultaten-tm-maart-2021--samenwerkingsvormen-in-lokale-warmtenetten.pdf De definitieve resultaten komen eind 2022 beschikbaar.</p>
<p>Toepasbaarheid</p> <p>De resultaten van dit project helpen gemeenten en bewonerscollectieven met een keuze voor een samenwerkingsvorm.</p>

7.4 Governance en organisatiemodellen

<p>Omschrijving</p> <p>In het groeifondsproject NieuweWarmteNu! worden verschillende innovaties uitgewerkt voor nieuwe governance en organisatiemodellen, zoals:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Governance waarin gehele warmteketen, van opwek naar distributie en warmtevraag is vertegenwoordigd en waarin inspraak eindklanten is georganiseerd (Warmte Samenwerking Westland). • Organisatiemodel en statuten indien warmtevoorziening in eigendom en beheer van het dorp komt (Warm Heeg) • Uitbreiding warmtenet naar glastuinbouwgebied Wilgenlei: De governance van het warmtesysteem is concreet; Agro Energy zal de warmte gaan
--

leveren en Eneco zal het net gaan aanleggen. In het gebied is een warmtecoöperatie opgericht. Agro energy en de warmtecoöperatie zijn in gesprek over het oprichten van een Joint Venture voor de exploitatie van het warmtenet.

Status

Deze sociale innovaties wordt toegepast in projecten gefinancierd in het groeifondsproject NieuweWarmteNu! Zowel de governance als de projectorganisatie zijn in Westland reeds ingeregeld en operationeel. Uniek en cruciaal in de governance structuur is dat vanaf het begin alle schakels van de warmteketen in het Westland betrokken zijn. Dimensionering van bronnen en warmtenetten vindt plaats in overleg met eindgebruikers (de glastuinbouwers). Door deze aanpak is zeker gesteld dat de eindgebruikers van het Warmtesysteem Westland ook gebruik zullen gaan maken van de aan te leggen infrastructuur. Dit is een zeer innovatieve aanpak: eindgebruikers zijn vanaf begin betrokken en hebben inspraak en invloed in de governance. Alle afspraken tussen partijen liggen vast in concrete overeenkomsten en governance afspraken. Verder moet worden opgemerkt dat het warmtebedrijf HVC nauw samenwerkt met het netbedrijf Capturam voor de aanleg en het beheer van de netten. Dit is een bijzondere situatie die in zekere zin vooruitloopt op de nieuwe Wet Collectieve Warmtevoorziening.

Toepasbaarheid

De ontwikkeling van bovengenoemde sociale innovaties vindt op locatie plaats binnen NieuweWarmteNu!. De Leidse regio zou in de komende jaren in contact met deze projecten kunnen leren van hun ervaringen.

7.5 Methoden en instrumenten voor participatie en draagvlak

Omschrijving

In het groeifondsproject NieuweWarmteNu! wordt in de projecten gekeken naar instrumentarium voor participatie en draagvlak

- Burgerparticipatie en eigenaarschap (diverse projecten)
- Communicatieprotocol geothermie naar bewoners (Open Warmtenet Delft). Bewonersinitiatief proces voor ontwikkeling warmte-oplossing (diverse projecten).
- Spoorboekje aquathermie in kleine dorpskernen met oppervlaktewater (Heeg).
- Financieel instrumentarium lage inkomens (Zandweerd).
- Handelsplatform voor inkoop en verkoop van duurzame warmte tussen partijen die aangesloten zijn op warmtesysteem (Warmte Samenwerking Westland).

Status

Deze sociale innovaties worden toegepast in projecten gefinancierd in het groeifondsproject NieuweWarmteNu!.

Toepasbaarheid

De ontwikkeling van bovengenoemde sociale innovaties vindt op locatie plaats binnen NieuweWarmteNu!. De Leidse regio zou in de komende jaren in contact met deze projecten kunnen leren van hun ervaringen.

7.6 Inpassing in de ondergrond en meekoppelkansen bij aanleg warmtenet

Omschrijving

In stedelijk gebied is de inpassing van collectieve warmtesystemen vanwege de al bestaande functies in de ondergrond een complexe opgave. Informatie over de ondergrond wordt echter nog niet meegenomen in de meeste Transitievisies Warmte. Het gebrek aan informatie over inpassing in de ondergrond kan leiden tot een vertekening van de onderliggende kostenberekeningen. Pas in de ontwerpfase worden deze ondergrondse aspecten duidelijk en dat kan leiden tot een andere kosteninschatting. In WarmingUP is door Deltares een inventarisatie gemaakt van bestaand instrumentarium dat beschikbaar is om al in vroege fase van de ontwikkeling van een warmtenet een indicatie te hebben van het gemak en de kosten voor inpassing in de ondergrond. Daarnaast is een ondergrondgeschiktheidskaart ontwikkeld. De ondergrondgeschiktheidskaart maakt gebruik van indicatoren per wijk zoals: open space ratio, wegdichtheid, wegbreedte, boomedichtheid, variatie ouderdom bebouwing, oppervlakte wegen per buurt en obstakels zoals parkeergarages, ondergronds afvalstelsel en openwater.

Uit reflectie met experts blijkt dat de ondergrond geschiktheidskaart verder verbeterd zou worden door:

- rekening te houden met het verschil in diameter tussen transport en distributieleidingen,
- bij obstakels ook rekening te houden met spoorlijnen, provinciale wegen, watergangen, dijken, damwanden, tunnels en duikers.
- Rekening te houden met type bestrating, benodigde bemaling, slappe bodem en bodemverontreiniging.

Daarnaast werkt Deltares samen met TNO en Saxion aan een handreiking inpassing in de ondergrond die ingaat op de meekoppelkansen van de aanleg van warmtenetten met vervanging van andere infrastructuur.

Uit interviews blijkt dat het benutten van meekoppelkansen bij de aanleg van een warmtenet en grote opgaven wenselijk is, maar bij incidenteel onderhoud geen meerwaarde heeft. Kansen worden er wel gezien bij vervanging of onderhoud aan riool- of waterleidingen, netverzwaring van het elektriciteitsnetwerk (bijv. voor Zon-PV of EV), waterhuishouding of vergroening voor klimaatadaptatie of herinrichting van openbare ruimte. Meekoppelkansen benutten is lastig, omdat aannemers gespecialiseerd zijn in verschillende infrastructuur, er per opgave wordt gestuurd op tijd en budget en samenwerking binnen gemeenten ontbreekt. Zonder samenwerking op strategisch niveau tussen partijen, zullen meekoppelkansen op operationeel niveau alleen incidenteel worden benut.

<p>Status</p> <p>Het onderzoek naar geschiktheid van de ondergrond is te vinden op de WarmingUP site: https://www.warmingup.info/documenten/van-der-brugge-et-al-2022-memo_methode-inpassing-ondergrond_warmingup-rapport-project-6c.pdf</p> <p>De handreiking inpassing in de ondergrond en meekoppelkansen is nog in ontwikkeling en komt beschikbaar voor eind 2022.</p>
<p>Toepasbaarheid</p> <p>Bij het benutten van meekoppelkansen is inzicht nodig in andere grote beleidsopgaven die spelen in de wijken waar een warmtenet wordt aangelegd. Daarna kunnen betrokken partijen onderzoeken of die opgaven gelijktijdig kunnen worden aangepakt.</p>

7.7 Keuze kavelgrootte en volgorde ontwikkeling warmtekavels

<p>Omschrijving</p> <p>In WarmingUP zijn de kennisvragen bij de opschaling van collectieve warmtesystemen geïnterpreteerd en vastgelegd in een kennisagenda. De kennisvragen hebben betrekking op verschillende opgaven: op de rollen en beleidsinstrumenten van gemeenten en andere partijen, onderbouw van warmte-opties per buurt/kavel, ontwikkeling van de warmtevraag (aantal aansluitingen, vollooprisico's en participatiebewoners), en inpassing in de ondergrond en de combinatie van opgaven.</p> <p>In WarmingUP wordt onderzoek gedaan naar verschillende strategieën voor opschaling van collectieve warmte. Dit varieert van reproductie van kleinschalige warmtesystemen per buurt naar soortgelijke situaties elders, warmtesystemen gefaseerd uitbreiden, het creëren van hubs en het koppelen van warmtenetten. Als case studie zijn voor Nijmegen verschillende warmtenet-ontwerpen gemaakt en doorgerekend met de designtoolkit. Daarin worden afzonderlijke warmtesystemen per buurt vergeleken met opschaling tot één systeem voor het hele gebied.</p>
<p>Status</p> <p>De kennisagenda is beschikbaar op de website van WarmingUP: https://www.warmingup.info/documenten/van-der-brugge-maring-2021-kennisagenda-governance-van-opshaling_warmingup_t6p6c2.pdf</p> <p>De casestudie voor Nijmegen is nog in ontwikkeling en zal voor eind 2022 worden afgerond.</p>
<p>Toepasbaarheid</p> <p>Uit de case studie kunnen mogelijk lessen worden getrokken over consequenties van de keuze tussen een warmtenet per buurt of opschaling naar 1 groot systeem. Uit de casestudie blijkt ook welke behoefte er is aan doorontwikkeling van de design toolkit om vragen rond opschalingroutes goed te kunnen onderzoeken.</p>

8 Waterstof

Naast innovaties in collectieve warmte wordt er in discussies in de Leidse regio gesproken over waterstof als alternatief voor aardgas. De Leidse regio heeft TNO gevraagd ook een beschrijving te geven van de status van de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving.

Omschrijving

CE Delft geeft in een [factsheet](#) over waterstof een duidelijke beschrijving van waterstof en de toepassingsmogelijkheden in de gebouwde omgeving. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_190307_Factsheet_Waterstof_voor_de_gebouwde_omgeving_Def.pdf

Ook het [Expertise Centrum Warmte](#) geeft informatie over waterstof.

Ook TNO heeft onderzoek gedaan naar [waterstof in de gebouwde omgeving](#).

Wat is waterstof?

Waterstof is een licht gas, waarvan de moleculen bestaan uit twee waterstofatomen. Omdat waterstof geen koolstof bevat (zoals aardgas of benzine) komt er bij de verbranding van waterstof geen CO₂ vrij. Waterstof is dan ook een CO₂-vrije energiedrager. Waterstof kan gebruikt worden voor de productie van warmte en elektriciteit, als transportbrandstof en als grondstof voor de chemische industrie.

Groene waterstof heeft de toekomst – mits in grote volumes

Waterstof kan niet uit de aardbodem worden gewonnen, dus moeten we het zelf maken. Het kan geproduceerd worden met elektriciteit (groene waterstof) of uit aardgas (grijze waterstof, of blauwe waterstof als de CO₂ wordt afgevangen). De waterstofmoleculen die geproduceerd worden via deze drie productieroutes zijn identiek, alleen de productiemethode verschilt. Grijze waterstof speelt geen rol in de toekomst, omdat de productie voor veel CO₂-uitstoot zorgt. Blauwe waterstof kan een tussenoplossing zijn totdat groene waterstof voorradig en betaalbaar is. Het kan de ontwikkeling van de benodigde infrastructuur en de vraag naar waterstof versnellen, maar ook de ontwikkeling van groene waterstof belemmeren. Er wordt nog steeds aardgas gebruikt en CO₂-opslag is nodig.

Voor een doorbraak van groene waterstof zijn grote hoeveelheden hernieuwbare elektriciteit en een sterke daling van de productiekosten nodig. Dit zal pas na 2035 gerealiseerd zijn. Groene waterstof kan een grote rol spelen in de energietransitie: Elektriciteitsoverschotten kunnen worden opgeslagen in de vorm van waterstof en worden gebruikt tijdens tekorten. Ook kunnen grote investeringen in het elektriciteitsnet worden vermeden door energie in de vorm van waterstof te transporteren via het gasnet.

Toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving

Bijmenging van waterstof in het aardgasnet tot 20% is mogelijk zonder aanpassingen aan het net of aan installaties. Pure waterstof kan gebruikt worden

in een waterstof-cv ketel. Hiervoor moet het gasnet omgebouwd worden en de gasmeter worden vervangen.

In collectieve warmtenetten zou waterstof in de (verdere) toekomst een rol kunnen spelen in verduurzaming van de warmtebronnen en aardgas kunnen vervangen die wordt gestookt in piekketels in het warmtenet. In opdracht van EBN heeft DNV GL een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de technische (on)mogelijkheden van de inzet van waterstof in warmtenetten:

<https://kennisbank.ebn.nl/haalbaarheid-waterstof-in-bijstookketels-voor-warmtenetten/>

Status

Op diverse plaatsen in de industrie en in raffinaderijen wordt (grijze) waterstof al vele jaren op grote schaal gebruikt. Hier is dus al veel ervaring mee, maar het toepassen van waterstof voor het verwarmen van gebouwen is nieuw.

Grootschalige inzet van waterstof in de gebouwde omgeving is vóór 2030 niet te verwachten. Groene waterstof is nog nauwelijks beschikbaar en er is nog weinig ervaring met het gebruik ervan voor het verwarmen van huizen en gebouwen. In de komende jaren gaat de aandacht daarom vooral uit naar een beperkt aantal pilot- en demoprojecten om kennis en ervaring op te doen over het maximaal veilig en efficiënt toepassen van waterstof in de bestaande gebouwde omgeving.

Het Expertise Centrum Warmte geeft een overzicht van pilotprojecten:

- In Rozenburg (Rotterdam) is in 2019 een proef gestart is met drie cv-ketels die speciaal zijn ontwikkeld voor toepassing met waterstof:
<https://www.rijnmond.nl/nieuws/173803/rozenburg-start-proef-met-warmte-uit-waterstof>
- In Hoogeveen zijn vergevorderde plannen om een wijk met waterstof van warmte te voorzien: <https://www.waterstofhoogeveen.nl/over-waterstof-hoogeveen>.
- In de Zuid-Hollandse gemeente Goeree Overflakkee wordt onderzocht of één van de dorpskernen in de gemeente kan overgaan op waterstof:
<https://stadaardgasvrij.nl/inspiratiehuis-nu-verwarmd-met-waterstof/>.

Naast technische haalbaarheid en beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde waterstof is betaalbaarheid een belangrijk aandachtspunt. Het ligt voor de hand dat waterstof in eerste instantie vooral toegepast wordt waar andere alternatieven ingewikkeld en kostbaar zijn. Dat kan in andere sectoren zijn, zoals de industrie of mobiliteit.

In het Europese energie- en klimaatbeleid wordt aangestuurd op de inzet van groen waterstof in de industrie. In het voorstel herziening van de Renewable Energy Directive heeft de Europese Commissie voorgesteld 50% van het waterstofgebruik in de industrie te vervangen door groen waterstof.

Toepasbaarheid

Ook voor de Leidse regio is het gebruik van waterstof als alternatief voor aardgas in de gebouwde omgeving vóór 2030 geen optie, omdat groene waterstof niet op voldoende schaal beschikbaar is. De groene waterstof die voor 2030 wel beschikbaar is, zal eerst worden gebruikt in de industrie als vervanging voor grijze waterstof in productieprocessen.