



Weg van gas

Kansen voor de nieuwe concepten
LageTemperatuurAardwarmte en
Mijnwater



CE Delft

Committed to the Environment

Weg van gas

Kansen voor de nieuwe concepten LageTemperatuurAardwarmte en Mijnwater

Dit rapport is geschreven door:

Benno Schepers (CE Delft), Thijs Scholten (CE Delft), Guus Willemsen (IF Technology), Marc Koenders (IF Technology),
Bas de Zwart (IF Technology)

Delft, CE Delft, mei 2018

Publicatienummer: 18.3K61.060

Aardgas / Gebruik / Huishoudens / Reductie / Innovatie / Duurzame energie / Aardwarmte / Restwarmte / Mijnbouw

Opdrachtgever: RVO en TKI Urban Energy

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Benno Schepers](#) (CE Delft)

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al ruim 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

IF Technology

Creating Energy

IF Technology levert een essentiële bijdrage aan de energietransitie. Daarbij gebruiken we onze kennis van bodemenergie, geothermie, energie uit oppervlaktewater en warmtepompen. Want u verdient een energievoorziening die duurzaam en rendabel functioneert.

Voorwoord

In Nederland wordt op dit moment bijna overal hard gewerkt aan het verduurzamen van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. Klimaatafspraken, duurzaamheidsambities en aardbevingen in Groningen zorgen voor een grote versnelling van de werkzaamheden om het aardgas uit de gebouwen van Nederland te krijgen. Er zijn diverse mogelijkheden beschikbaar om hier invulling aan te geven: warmtepompen, warmtenetten, duurzame gassen en biomassa. Veel van deze mogelijkheden worden al vele jaren ontwikkeld en toegepast, zij het op kleine schaal. Daarnaast zijn er echter ook nieuwe mogelijkheden. Innovaties die in Nederland ontwikkeld worden en die in potentie een grote bijdrage kunnen leveren aan de warmtetransitie. In deze studie is gekeken naar twee van deze innovaties, die beide een variant zijn van warmtenetten op lage temperatuur: lagetemperatuur-aardwarmte (LTA) en het Mijnwater-concept (MW).

De kennis over deze twee innovaties is nog beperkt en RVO en TKI Urban Energy hebben CE Delft en IF Technology opdracht gegeven om inzicht te geven in de eigenschappen en mogelijkheden van deze lagetemperatuuropties in Nederland. Beide opties worden op dit moment ieder op één locatie door één partij uitgevoerd en de vraag ligt voor of deze ook elders in Nederland ontwikkeld kunnen worden. Welke belemmeringen er zijn. En welke kansen er zijn.

Deze rapportage is de eerste rapportage in Nederland die beide concepten los van elkaar en in samenhang beschouwd. Het onderzoek heeft ertoe geleid dat er voor het eerst een potentieel-schatting is gemaakt van de (aanzienlijke) mogelijkheden die beide opties los te bieden hebben. En de meerwaarde die voortkomt uit de synergie tussen beide concepten.

Om het onderzoek mogelijk te maken is samengewerkt met de partijen die nu met beide technieken bezig zijn: Visser & Smit Hanab (LTA) en Mijnwater B.V. (Mijnwater). Zonder de medewerking en bijdragen van Kees van der Zalm (Visser & Smit Hanab) en Louis Hiddes en Herman Eijdemans (Mijnwater B.V.) zou de uitvoering van het project niet goed mogelijk zijn geweest. Mede namens beide opdrachtgevers worden deze partijen bedankt voor nuttige inbreng.

CE Delft
IF Technology

Inhoud

	Voorwoord	2
	Samenvatting	5
1	Inleiding	15
	1.1 Aanleiding	15
	1.2 Onderzoeksaanpak	16
	1.3 Leeswijzer	16
2	Lagetemperatuuraardwarmte	17
	2.1 Kernpunten	17
	2.2 Beschrijving van het concept	17
	2.3 Technische aspecten	20
	2.4 Energieprestaties	26
	2.5 Potentieel LTA	29
	2.6 Financiële aspecten	34
	2.7 Globale businesscase	43
	2.8 Kansen en beperkingen	48
3	Mijnwater – Smart Thermal Grid	51
	3.1 Kernpunten	51
	3.2 Beschrijving van het concept	51
	3.3 Technische aspecten	54
	3.4 Energieprestaties	57
	3.5 Potentieel Mijnwater	59
	3.6 Financiële aspecten	67
	3.7 Globale businesscase	72
	3.8 Kansen en beperkingen	75
4	Synthese	80
	4.1 Totaaloverzicht en situatieschets	81
	4.2 Uitwerking fasering	82
	4.3 Potentieel Mijnwater-concept met lagetemperatuuraardwarmte	87
	4.4 Innovatiekansen	90
	4.5 Beleidskansen	95
5	Analyse, conclusies en aanbevelingen	99
	5.1 Analyse	99
	5.2 Conclusies	100
	5.3 Aanbevelingen	104
6	Referenties	106

A	Specificaties Mijwater Heerlen	108
	A.1 Geothermische buffers	108
B	Potentieelkaarten LTA	109
	B.1 Formatie van Oosterhout	109
	B.2 Rijnland	110
	B.3 Formatie van Maassluis	111
	B.4 Formatie van Breda	112
	B.5 Brussels Zand	113
	B.6 Delfzand	114
C	Kostenraming LTA-doublet	115
D	Alternatieve warmteconcepten	116
	D.1 Inleiding	116
	D.2 Collectieve warmtenetten o.b.v. (fossiele) restwarmte	116
	D.3 All electric met individuele warmtepompen	121
	D.4 Diepe geothermie (> 1.250 meter diepte)	123

Samenvatting

In opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en de TKI Urban Energy hebben CE Delft en IF Technology een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden in Nederland van twee nieuwe verwarmingsconcepten. Het gaat hierbij om lagetemperatuuraardwarmte (LTA) en het concept van een *smart thermal grid* met ondergrondse buffering, zoals dat door Mijwater B.V. is uitgewerkt in Heerlen.

Beide concepten zijn collectieve varianten van lagetemperatuurwarmtenetten (LT-warmtenetten). In het geval van LTA wordt geothermie gebruikt welke wordt gewonnen tussen 250-1.250 meter diepte. Het Mijwater-concept is een lagetemperatuuruitwisselingssysteem waarbij uitwisseling van warmte en koude plaatsvindt tussen LT-aanbod (waaronder LTA) en vraag. Buffering wordt hierbij ingezet voor systeemoptimalisatie.

Highlights

Het onderzoek beschrijft twee concepten van collectieve warmtetechnieken waarover op dit moment nog maar weinig bekend is in Nederland. Uit het onderzoek komen de volgende centrale punten naar voren:

- Lagetemperatuuraardwarmte (LTA) kan op heel veel plekken in Nederland, ook op plekken waar reguliere geothermie (nog) geen optie is.
- Het Mijwater-concept kan op heel veel plekken in Nederland, waarbij de buffering zowel bovengronds als ondergronds gerealiseerd kan worden.
- Het combineren van LTA en Mijwater biedt synergievoordelen: een goede LT-warmtebron in combinatie met minimale verspilling bovengronds door de efficiënte uitwisseling van warmte en koude.
- Beide concepten kunnen op een kleinschaliger niveau worden geïmplementeerd dan gangbaar is bij hogetemperatuurwarmtenetten (HT-netten).
- De technische concepten kunnen verder worden uitgewerkt en geïmplementeerd, waarbij het wenselijk is ook beleidsmatige ondersteuning te faciliteren, omdat er belemmeringen in wet- en regelgeving zijn en de financieringsmogelijkheden nu nog beperken.
- Een groeimodel voor beide concepten lijkt aanwezig te zijn, waarbij wordt gestart met of LTA of Mijwater, waarna doorgroei mogelijk is, zowel zelfstandig als gezamenlijk.

Conclusies en observaties

Het onderzoek heeft geresulteerd in een aantal conclusies en observaties. Deze zijn als volgt:

Algemene conclusies

- De beschikbare kennis van de concepten Mijwater en LTA is zeer geconcentreerd bij een beperkt aantal actoren in Nederland. Dit rapport is de eerste (openbare) analyse van deze concepten, als losstaande mogelijkheden en als gecombineerde mogelijkheid als technische mogelijkheden voor de warmtetransitie in Nederland.
- Voor beide technieken is de ervaringsbasis zeer smal: ieder concept heeft op dit moment een (zeer) beperkt aantal toepassingslocaties.
- Beide concepten bieden goede kansen voor de bijdrage aan de warmtetransitie in NL.
- Mijwater en LTA zijn concrete voorbeelden van lagetemperatuurwarmtenetten.
De uitgewerkte varianten (LT-levering en 70/40-netten) kunnen in potentie de volgende stap zijn in het verduurzamen van de huidige HT-warmtenetten en de gehele warmtevoorziening van de Nederlandse stedelijke omgeving.

Conclusies LTA

In Nederland wordt tot op heden zo goed als geen gebruik gemaakt van de LTA en ook in de gesprekken over de verduurzaming van de warmtevoorziening van Nederland krijgt zij geen aandacht. Uit de analyses in deze rapportage blijkt dat dit onterecht is, want LTA kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de warmtetransitie. Het kan op veel locaties worden toegepast, de technische toepassingsmogelijkheden zijn goed. En ook financieel kunnen interessante proposities worden opgesteld. Deze laatste worden alleen maar beter, naarmate het gebruik van aardgas in Nederland sterker ontmoedigd wordt. LTA kent diverse varianten, waarvan het *horizontal directional drilling* op dit moment in Nederland wordt uitgewerkt en toegepast. In de komende periode komen hiervan de eerste resultaten beschikbaar.

Het technische potentieel voor LTA in Nederland is 229 PJ per jaar en kan daarmee 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving in Nederland voorzien. Binnen stedelijk gebied (waar de grootste kans is dat warmtenetten tot stand komen) kan zelfs meer dan 70% van de warmtevraag gedekt worden met behulp van LTA.

Conclusies Mijnwater-concept

Waar Mijnwater ooit begon als het eerste LTA-project voor de gebouwde omgeving, is het inmiddels het beste te beschrijven als een smart thermal grid voorzien van grootschalige buffering. Wat ooit de LTA-bronnen waren, zijn inmiddels de buffers geworden. De kern van het concept is verschoven van onder naar boven de grond. Het is nu primair een lagetemperatuuruitwisselingssysteem met buffering (LATUS). Doordat de ondergrond niet meer als bron, maar als buffer wordt gezien, is het ook mogelijk om te kijken naar de mogelijkheden van het concept buiten de Parkstadregio. In de voorgaande analyse is daarbij gebleken dat het concept een zéér groot aandeel van de warmtevraag van de gebouwde omgeving kan voorzien: voor circa 2,0-3,6 mln woningen kan Mijnwater een optie zijn. Dit kan nog groter worden, wanneer ook nieuwe, duurzame LT-warmteproductie wordt toegevoegd, zoals zonthermie en/of warmte uit oppervlaktewater. Ook de mogelijkheid om LTA te koppelen aan Mijnwater biedt een vergroting van het potentieel. Het aantal gebouwen dat door deze combinatie kan worden voorzien, bedraagt circa 3,5-4,5 mln woningen.

Het technische potentieel voor Mijnwater in Nederland is 85,7-159,5 PJ warmtelevering en 2,4-4,3 PJ koudelevering van de huidige vraag.

Projectaanpak

Er zijn op dit moment weinig tot geen onderzoeken gedaan naar de mogelijkheden van beide warmte-technieken. Dit betekent dat voor het onderzoek gebruik is gemaakt van de praktijkkennis die is en wordt opgedaan door een tweetal partijen in Nederland. Voor LTA is dit Visser & Smit Hanab die in de afgelopen periode de LTA-variant van *horizontal directional drilling* heeft uitgewerkt en toepast in Zevenbergen. Het Mijnwater-concept is de afgelopen jaren ontwikkeld en toegepast door Mijnwater B.V. in Heerlen. Beide concepten zijn nog volop in ontwikkeling. Aan de hand van interviews met de betrokken partijen en het inbrengen van kennis van aanverwante warmtetechnieken, is voor beide concepten een uitvoerige analyse gemaakt van diverse aspecten: techniek, financiën, potentieel. Tevens is gekeken wat de mogelijkheden zijn wanneer beide concepten gecombineerd worden in één oplossing voor de warmte- en koudevoorziening van de gebouwde omgeving en glastuinbouw.

Lagetemperatuuraardwarmte (LTA)

Lagetemperatuuraardwarmte (LTA) is het onttrekken van aardwarmte uit ondiepe formaties. De temperatuur van deze aardwarmte zit in de bandbreedte van 20-55°C. In de praktijk is de diepte van LTA tussen die van WKO en reguliere geothermie. De exacte dieptebegrenzing voor LTA ligt niet vast, maar is ingegeven door maximale bereikbare dieptes die haalbaar zijn met gebruikelijke grondwaterboortechnieken of vereenvoudigde olie-/gasboortechnieken (dit is circa 1.500 meter). Als bovengrens wordt over het algemeen een diepte van 250 meter aangehouden, omdat ondiepere lagen veelal worden benut voor WKO-toepassingen en andere belangen, zoals drinkwaterwinning. Desondanks wordt LTA op dieptes ondieper dan 250 meter niet uitgesloten, er dient alleen rekening te worden gehouden met andere (omgevings)belangen.

LTA kan in combinatie met een warmtenet op twee manieren worden toegepast in de gebouwde omgeving en glastuinbouw: directe warmtelevering en warmtelevering met collectieve warmtepomp. In het eerste geval wordt de warmte direct geleverd aan de afnemers, waarbij deze geschikt moeten zijn voor lagetemperatuurverwarming (bijvoorbeeld goed geïsoleerde woningen voorzien van vloerverwarming). Voor tapwater moet in huidige regelgeving de temperatuur 55°C zijn. Hiervoor is in het pand een boosterwarmtepomp of andere oplossing nodig. Ook als de ruimteverwarming een hogere temperatuur vraagt, kan een warmtepomp op gebouw- of woningniveau worden toegepast. In dat geval wordt de warmte uit de ondergrond eerst opgewaardeerd met een warmtepomp tot circa 50-70°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. De geothermische putten van LTA kunnen zowel op de traditionele, verticale manier worden geboord als op een horizontale manier. Deze laatste variant wordt op dit moment toegepast door Visser & Smit Hanab. Hierbij wordt een horizontale filter aangebracht in de ondergrond. Dit heeft diverse voordelen ten opzichte van de verticale putten, zoals een grotere capaciteit bij dunne formaties en beperkte bovengrondse impact tijdens de boorwerkzaamheden, omdat de warme en koude put vanuit één locatie geboord kunnen worden.

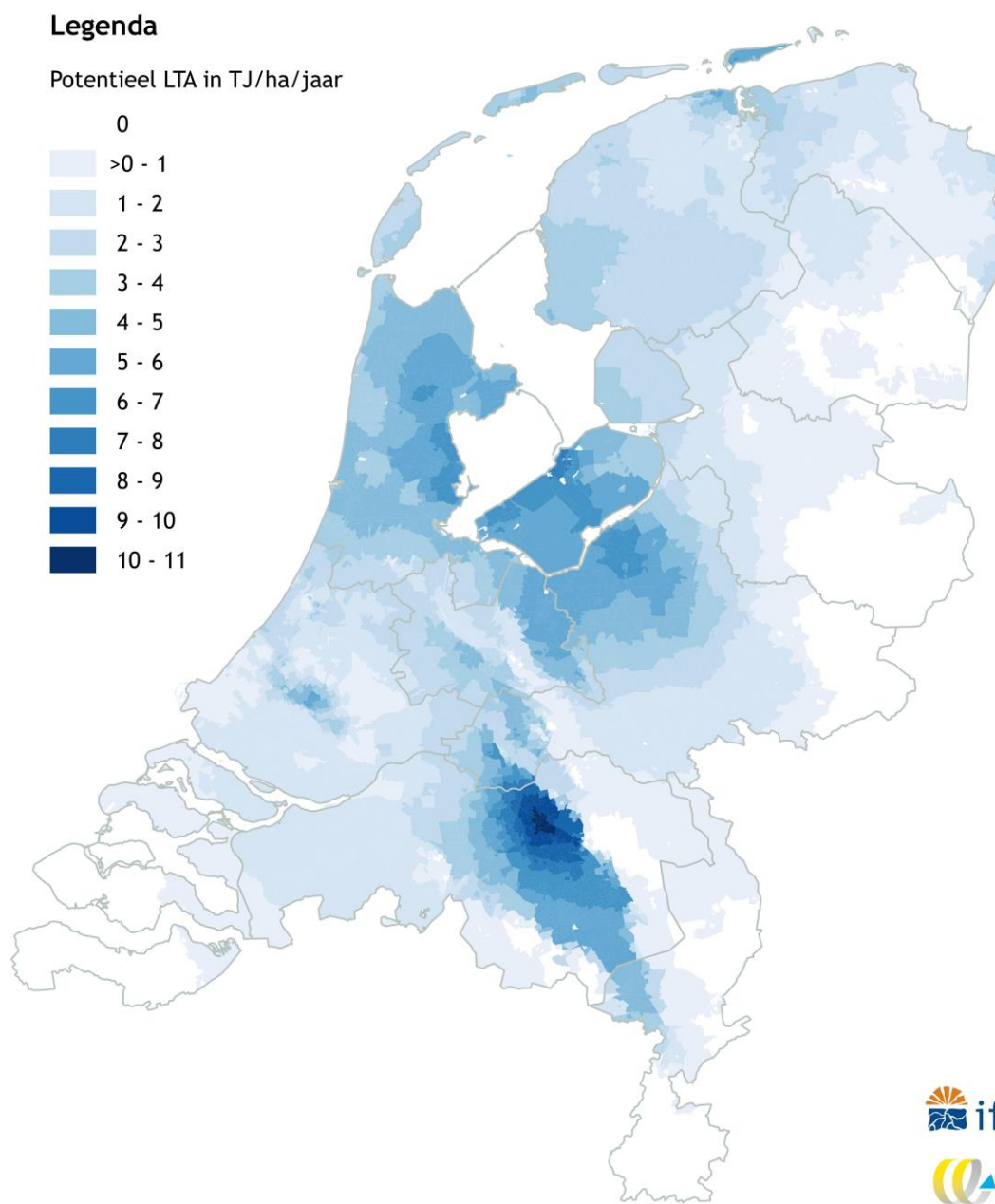
De bodemgeschiktheid voor LTA varieert over Nederland. De beschikbare ondergrondse formaties zijn niet overal gelijk en op sommige locaties ongeschikt. Desalniettemin lijkt LTA voor het grootste deel van Nederland een technisch haalbare mogelijkheid. Als globaal een koppeling wordt gemaakt van de bovengrondse warmtevraag en de ondergrondse mogelijkheden om hier invulling aan te geven, dan lijkt LTA een technisch potentieel te hebben van 229 PJ per jaar. Dit is 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving en de glastuinbouwgebieden in Nederland. Binnen stedelijk gebied (waar de grootste kans is dat warmtenetten tot stand komen) kan zelfs meer dan 70% van de warmtevraag gedekt worden met behulp van LTA.

De wet- en regelgevingen zijn niet direct belemmerend voor de doorontwikkeling en grootschalige toepassing van LTA. Wel zijn er indirecte belemmeringen en is er een aandachtspunt voor de grens tussen de Waterwet en de Mijnbouwwet op 500 meter diepte. LTA biedt innovatiekansen voor Nederland. Het gaat daarbij onder andere om ontwikkelingen in de warmtepompen, de opwek, de buffering en de warmte-infrastructuur.

Voor de toepassing van LTA in de bestaande woningbouw is een rendabele exploitatie haalbaar met een aansluitbijdrage tussen de 2.000 en 4.000 euro per woning. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat in de businesscase veel onzekerheden zitten, waardoor een robuust beeld op dit moment niet mogelijk is.

Figuur 1 - Landelijke bodempotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte

Bodempotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte



Mijnwater (smart thermal grid)

De huidige toepassing van het Mijnwater-concept laat zich het best omschrijven als een *smart thermal grid met geothermische buffering*. Ofwel een lagetemperatuuruitwisselingssysteem met buffering van warmte én koude. In het concept worden aanbod en vraag van warmte en koude op een slimme en efficiënte wijze aan elkaar gekoppeld door een LT-warmtenet. Het concept is vraaggestuurd.

De buffering wordt ingezet voor systeemoptimalisatie en nuttige inzet van het aanbod over de tijd heen. Het concept kent een gelaagde opbouw: eerst vindt uitwisseling tussen gebouwen in een cluster plaats; vervolgens uitwisseling tussen clusters; en tot slot met de buffers. Dit wordt mogelijk gemaakt door de slimme aansturing van warmte- en koude-infrastructuur: het smart thermal grid. Het lage-temperatuurniveau van de centrale infrastructuur geeft dit concept de mogelijkheid om een groot aantal aanbieders van warmte (vragers naar koude) aan te sluiten. Met name ook partijen die niet interessant zijn voor HT-warmtenetten. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om thermische energie uit datacenters, koel- en vrieshuizen of schaatsbanen.

De toepassingsmogelijkheden van het concept in de gebouwde omgeving zijn groot. Doordat op individueel of op clusterniveau de temperatuur bepaald kan worden, kan een grote diversiteit aan afnemers worden aangesloten. Zo kunnen in het geval van woningbouw zowel een matig als een zeer goed geïsoleerde woning naast elkaar worden aangesloten op dezelfde infrastructuur. Op gebouwniveau wordt verder individueel invulling gegeven aan de warmtevraag van deze woningen. Voor een optimale werking van het concept is het wenselijk dat er veel thermische stromen (warmte én koude) uitgewisseld kunnen worden, maar dit is niet per se noodzakelijk. Ook in situaties met hoofdzakelijk een warmtevraag biedt het concept goede mogelijkheden. Het Mijnwater-concept lijkt sterk op het gebieds-WKO-concept (DATES) dat wordt toegepast bij een aantal gebieden waar veel grotere gebouwen staan met zowel koude- en warmtevraag. Voorbeelden hiervan zijn te vinden bij de TU Eindhoven, Uithof Utrecht, Overhoeks Amsterdam, etc. Ook hier wordt een smart thermal grid gekoppeld aan een geothermische buffer.

Oorspronkelijk is het Mijnwater-concept ontwikkeld als LTA, maar de specifieke capaciteit van het water in de mijnen onder Heerlen bleek onvoldoende te zijn voor langjarige exploitatie. Dit leidde ertoe dat het concept is doorontwikkeld. Inmiddels wordt het Mijnwater enkel gebruikt als warmte- en koudebuffer voor het bovengrondse smart thermal grid.

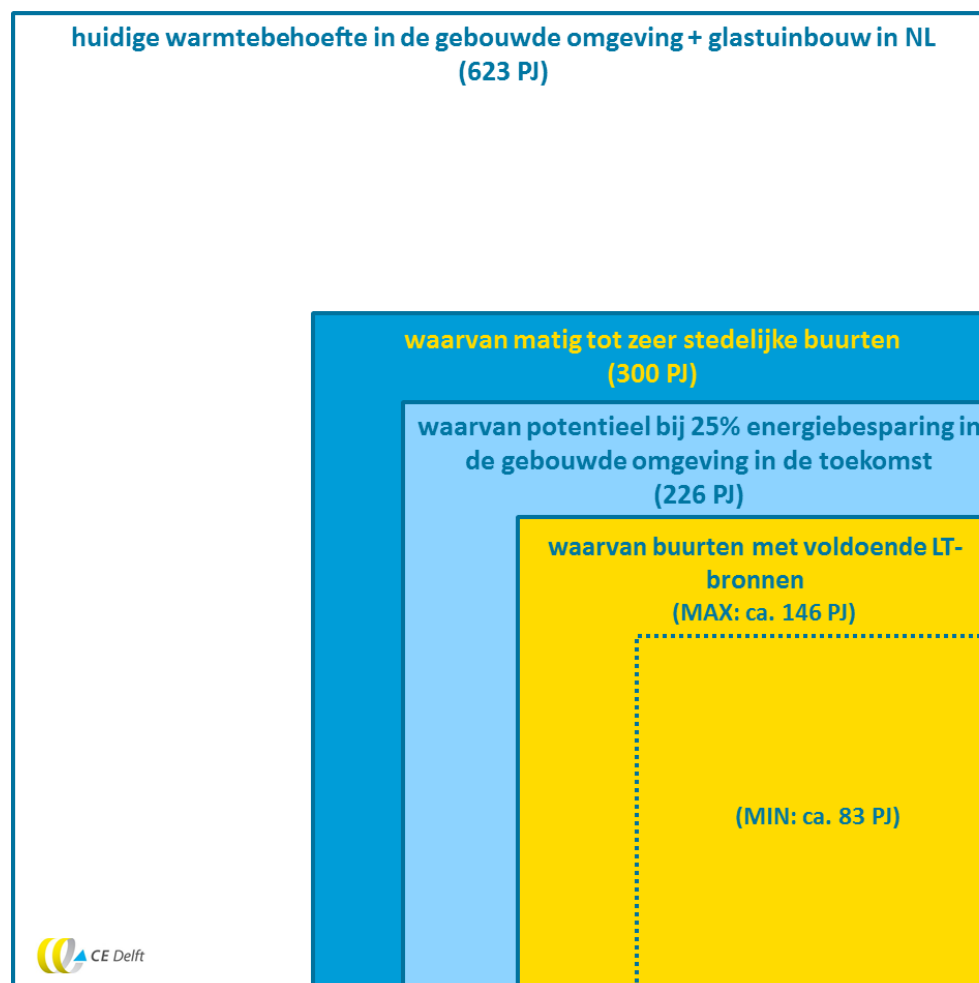
Voor de analyse van het technische potentieel van het concept is gekeken naar de locaties in Nederland waar uitwisseling tussen verschillende warmte- en koudevragers en -aanbieders aanwezig is. Doordat het concept gebruik maakt van een warmte-infrastructuur is voor het toepassingsgebied primair gekeken naar stedelijk gebied. Dit levert een technisch potentieel van het concept van circa 160 PJ per jaar van de huidige warmtevraag en 4 PJ van de huidige koudevraag (exclusief besparing). Kijkend over heel Nederland komen tussen de 2,0 tot 3,6 mln woningen in aanmerking voor het Mijnwater-concept.

Naast LT-bronnen en onderlinge uitwisseling is de opslag van warmte en koude ook een essentieel onderdeel van een Mijnwater-concept. Hiervoor is een aantal opties, zoals een bodembuffervat of de opslag van energie in een aquifer, een watervoerende bodemlaag (open WKO). De laatste is vooralsnog de goedkoopste optie.

Naast de slimme, technische aansturing van de thermische stromen, kent ook het verdienmodel van Mijnwater een slimme, innovatieve invulling. Dit geldt echter alleen voor de grootverbruikers. Voor de aangesloten kleinverbruikers geldt de Warmtewet, waarbij het principe van de 'maximumprijs' van toepassing is. Dit laatste betekent een belemmering voor het slim aansturen van vraag en aanbod, waarbij alle aangesloten partijen *prosumers* zijn: zowel producent als consument; omdat de Warmtewet niet voorziet in een dergelijke situatie.

Op dit moment is voor individuele grootverbruikers in Heerlen een sluitende businesscase te maken voor het aansluiten op Mijnwater. Om uitrol naar de bestaande woningbouw te maken, is een schaalsprong noodzakelijk. Hiermee kunnen de kosten van de centrale infrastructuur (de backbone) over meer aansluitingen verdeeld worden. In het geval van nieuwe toepassingslocaties buiten Heerlen, kan eerst kleinschaliger begonnen worden in clusters, waarbij het schakelen van clusters middels een backbone, op een later tijdstip plaatsvindt.

Figuur 2 - Illustratie van de gehanteerde aanpak, weergegeven voor de warmtevraag in de toekomstige situatie



Synthese

Naast de individuele toepassingsmogelijkheden van LTA en Mijwater, zijn er ook grote voordelen te behalen uit het samenvoegen van de concepten. Voor Mijwater betekent het toevoegen van LTA dat er een extra, grote bron van lagetemperatuurwarmte beschikbaar is. Voor LTA betekent het toevoegen van Mijwater dat de vraag naar warmte uit de ondergrond afneemt doordat eerst bovengronds wordt uitgewisseld en de LTA-bron ook gebruikt kan worden als opslag, waarmee de levensduur van de LTA-bron aanzienlijk kan worden verlengd.

In het tweede geval betekent het niet per se dat het potentieel van LTA groter wordt, maar dat de leveringszekerheid op lange termijn beter wordt. In het eerste geval wordt het potentieel van het Mijwater-concept wel groter. Door toevoeging van LTA wordt het aantal gebieden waar het Mijwater-concept optimalere uitwisseling mogelijk kan maken aanzienlijk groter. Het technisch potentieel van de gecombineerde toepassing is circa 227 PJ per jaar voor warmte en 6 PJ per jaar voor koude (huidige vraag). Hiermee kunnen 3,5 tot 4,5 mln woningen van Nederland van warmte worden voorzien. Dit is meer dan 50% van alle woningen.

Daarnaast is het mogelijk om andere duurzame warmtebronnen in te passen zoals zonthermische systemen of warmte uit oppervlaktewater, eventueel in combinatie met LTA. De potentiële mogelijkheden hiervan zijn niet geanalyseerd in dit onderzoek.

Figuur 3 - Kaart van Nederland met buurten die potentieel bieden voor een Mijnwater-concept i.c.m. LTA, huidige situatie



Legenda

Buurten met potentieel voor Mijnwaterconcept i.c.m. LTA, volgend uit:

 ondergrensanalyse

 bovengrensanalyse (aanvullend op ondergrensanalyse)



LTA en Mijnwater als onderdeel van het palet aan mogelijkheden

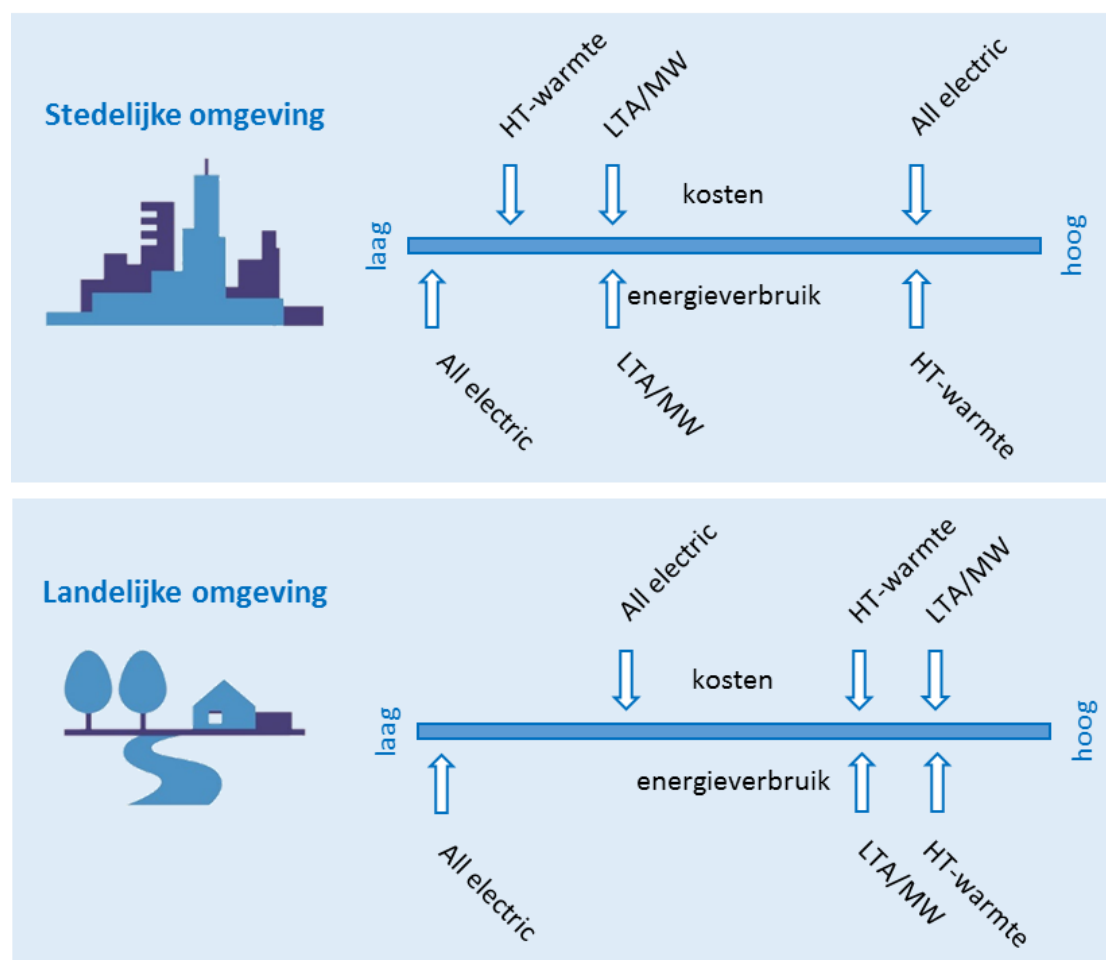
Naast LTA en Mijnwater zijn er diverse andere warmtetechnieken die bij kunnen dragen aan een klimaatneutrale of aardgasvrije warmtevoorziening. Alle beschikbare opties voor Nederland verschillen in hun mogelijkheden: toepassingsgebied, temperatuurniveau, omvang, beschikbaarheid, et cetera. Om een goede afweging te maken tussen de opties en om een beeld te kunnen krijgen

welke optie waar het beste tot zijn recht komt, is aanvullende analyse nodig. In een globale vergelijking kunnen echter wel de volgende conclusies worden getrokken:

- In vergelijking met traditionele HT-warmtenetten op restwarmte of diepe geothermie kan een LT-warmtenet (op basis van LTA en/of Mijwater) op veel meer locaties worden toegepast, omdat het aantal LT-thermische bronnen veel groter is en de verspreiding over het hele land. Energetisch is het verbruik van LT-netten lager dan bij HT-netten: lagere transportverliezen, beperkte schilverbeteringen bij de gebouwen zijn wenselijk, efficiënte omzetting voor ruimteverwarming en tapwater. Het kostenniveau van LT-netten ligt boven die van HT-warmtenetten. Dit komt doordat LT-netten zowel een warmtenet hebben (licht lagere kosten dan HT-warmtenet), maar daarnaast ook warmtepompen en beperkte woningaanpassingen.
- In vergelijking met all electric is het toepassingsgebied van LT-netten kleiner. All electric is een individuele warmtetechniek die geen gebruik maakt van een warmteinfrastructuur. Het is daardoor ook zeer goed van toepassing in dunbebouwde gebieden. Energetisch ontlopen beide technieken elkaar niet veel op systeemniveau. Het kostenniveau van LT-netten ligt onder dat van all electric. De kosten die in het geval van LT-netten nodig zijn voor de infrastructuur zijn per woning lager dan de kosten die in het geval van all electric worden veroorzaakt door de noodzakelijke gebouwaanpassingen.

In Figuur 4 worden de opties *indicatief* ten opzichte van elkaar gepositioneerd. De werkelijke positionering verschilt van buurt tot buurt.

Figuur 4 - Indicatieve positioneren aardgasvrije warmtetechnieken



Aanbevelingen

Uit het onderzoek komen diverse aanbevelingen naar voren:

Algemene aanbevelingen

- Breng LTA en Mijnwater onder de aandacht bij mogelijke gebruikers en intermediairs via diverse media en zorg dat het is opgenomen in de diverse publiek beschikbare databases. Opname in de Warmteatlas van RVO is hiervoor een mogelijk startpunt.
- Beide opties hebben een kip-ei-probleem: Wat ga je eerst doen? De woningen aansluiten en dan de bron of eerst de bron en dan de woningen? Hierop moet een aanpak worden ontwikkeld. De kleinschaligheid van beide concepten biedt voordelen hierbij.
- Stel een vergelijking op tussen de kosten van LT/HT-warmte-*infrastructuur*.
- Aanvullend onderzoek naar het geschikt maken voor LT-warmte van bestaande gebouwen (afgiftesystemen, schilverbetering, warmtapwateroplossingen, etc.). Dit aspect geldt voor alle duurzame warmtevoorzieningen en staat in principe los van LTA of Mijnwater-concept.
- Voor een 100% duurzame warmtevoorziening is het van groot belang dat de piekvraag naar warmte niet veel hoger is dan de gemiddelde vraag in de winter. Hiermee wordt onder andere het aandeel dat de piekvoorziening (meestal gas) heeft in de totale levering zo klein mogelijk gemaakt. En wordt zo veel mogelijk warmte uit de duurzame hoofdbron gehaald. Hoe dit op betaalbare wijze technisch gerealiseerd dient te worden zal verder onderzocht en gedemonstreerd moeten worden. Decentrale opslag en het afzien van nachtverlaging zijn mogelijke opties.

Aanbevelingen LTA

- Het potentieel voor LTA is nu berekend op basis van dikte en temperatuur van zandlagen. Voor de economie is ook de doorlatendheid van groot belang. Deze parameter dient nog beter gekarteerd te worden.
- Een nationale kartering voldoet niet voor het bepalen van het lokale potentieel. Het verdient (voor besluitvorming binnen gemeenten bijvoorbeeld) daarom aanbeveling om het LTA-potentieel (inclusief doorlatendheid) in een aantal gebieden op regionale/gemeentelijke schaal meer gedetailleerd in kaart te brengen. Prioriteit dient gegeven te worden aan gebieden waar wel veel warmtevraag is, maar weinig andere warmtebronnen zijn zoals diepe geothermie of restwarmte.
- Gezien de status van de techniekontwikkeling van LTA verdient het aanbeveling om meer demo-projecten te maken in verschillende ondergrond- en bovengrondsituaties.
- Er is veel LTA-potentieel tussen maaiveld en 500 m-mv. Voordeel van dit stuk van de ondergrond is dat goedkopere boortechnieken gebruikt kunnen worden, en dat kleinschalige projecten realiseerbaar zijn. Nadeel is dat in dit dieptebereik geen SDE+ verkregen kan worden. We bevelen daarom aan om het dieptebereik voor toepassing van de SDE+ uit te breiden naar geringere dieptes. Bij voorkeur tot maaiveld, maar als dat in verband met de bestaande WKO-markt niet uitvoerbaar is, dan vanaf circa 250 m diepte (daaronder wordt vrijwel geen WKO meer toegepast).

Aanbevelingen Mijnwater-concept:

- Voor een brede toepassing van Mijnwater is inzicht nodig in de mogelijkheden van de lage-temperatuurwarmtebronnen: aantal, locatie, volume, capaciteit, profiel, etc. Dit is op dit moment nog in zijn geheel niet beschikbaar in Nederland.
- Mijnwater kent een innovatief verdienmodel, maar kan dit door de Warmtewet alleen toepassen voor grootverbruikers. Aanpassingen aan de Warmtewet zouden het mogelijk kunnen maken om ook voor kleinverbruikers een innovatief verdienmodel toe te passen.

- Voor een grondige analyse van de mogelijke koppeling van de warmtevraag aan het LT-aanbod en de noodzaak van buffering, is het noodzakelijk dat goed inzicht wordt verkregen in de vraagprofielen van warmte- en koudevragers (woningen en utiliteitsbouw). Wanneer deze goed in beeld zijn, is het mogelijk om te kijken hoeveel bronnen en buffering nodig is voor een dekkende warmte- en koudevoorziening.
- Buiten het voorbeeld van Mijwater in Heerlen, is er in Nederland een zéér beperkt aantal andere demo's van buffering van hogere temperatuur in de diepere ondergrond. Het is wenselijk dat ook hiervoor meer kennis wordt ontwikkeld. Dit kan door te kijken naar het beperkte aantal bestaande systemen of door het opzetten van nieuwe demo's.
- Onderzoek de mogelijkheden van grootschalige zonthermische systemen en/of aquathermie systemen gekoppeld aan LTA en/of Mijwater. Enerzijds als warmtebron voor Mijwater en anderzijds als regeneratie van LTA.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Geothermie ontwikkelt zich op dit moment in Nederland snel als bron van duurzame warmte voor verwarming van kassen en gebouwen. De geothermieprojecten die nu gerealiseerd zijn, maken gebruik van reservoirs die ook voor olie- en gaswinning worden gebruikt, en bevinden zich op dieptes tussen de 1.500 en 3.500 m. Daarbij komt dat geothermie een iets andere vorm van duurzame warmte is dan 'bodemenergie' (in het buitenland ook wel 'oberflachennahe geothermie' of 'shallow geothermal' genoemd). In Nederland wordt de grens qua wetgeving en subsidies gelegd vanaf 500 m. Vrijwel alle 'bodemenergie'-projecten in Nederland bevinden zich echter ondieper dan 250 m, en alle geothermieprojecten dieper dan 1.250 m. Het gebied tussen 250-1.250 m wordt 'ondiepe geothermie' of genoemd. Ondiepe geothermie wordt op dit moment door een aantal partijen en in een aantal projecten in Nederland onderzocht. Het is echter nog onduidelijk hoe groot dit potentieel is in Nederland, en onder welke condities deze vorm van duurzame warmte kansrijk is.

Op dit moment worden in Nederland twee duurzame warmtetechnieken uitgewerkt die beide op een andere manier gebruik maken van de thermische mogelijkheden in de ondergrond. Door Visser & Smit Hanab wordt het Horizontal Directional Drilling (HDD) ontwikkeld als variant van ondiepe geothermie/lagetemperatuurwaardwarmte (LTA). Door Mijnwater B.V. wordt in Heerlen het Mijnwater-concept ontwikkeld en toegepast, waarbij de thermische capaciteiten van de oude mijnen worden ingezet voor een duurzaam warmtenet. Binnen dit project is een intelligent systeem (*smart thermal grid*) ontwikkeld waarmee gebouwen onderling warmte en koude uitwisselen. Dit concept heeft diverse prijzen in de wacht zijn gesleept. Hoewel Nederland maar een beperkt aantal mijnen heeft dat op soortgelijke wijze gebruikt zou kunnen worden, kan het Mijnwater-concept ook op andere locaties gebruikt worden of op andere manieren. Denk bijvoorbeeld aan gebruik van WKO ('bodemenergie') of andere grootschalige thermische opslag. De vraag is, net als bij LTA, wat het potentieel is van dit concept voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in Nederland, en onder welke condities dit kansrijk is.

Zowel LTA- als het Mijnwater-concept hebben temperatuurniveaus die afwijken van de huidige standaard bij de meeste gebouwen in Nederland. Om een indicatie te kunnen geven van het potentieel van beide concepten is het dus relevant om een beeld te krijgen van de mogelijke vraag naar die temperatuurniveaus. Zowel in de huidige situatie, als in een toekomstige situatie waarin aan de vraagzijde diverse maatregelen (onder andere besparingsmaatregelen) zijn getroffen.

Gegeven de nieuwe mogelijkheden die LTA (middels HDD) en het Mijnwater-concept bieden, is door RVO en de TKI Urban Energy dit onderzoek uitgezet. Het hoofddoel van dit onderzoek is een indicatie te geven van de mogelijkheden die beide opties hebben in Nederland. Hiermee moet in beeld worden gebracht welke rol zij kunnen spelen in de warmtetransitie van de Nederlandse gebouwde omgeving en glastuinbouw. Daarnaast zijn deze opties nog volop in ontwikkeling, en daarom is het wenselijk om een beeld te krijgen van het mogelijke verbeterpotentieel in de vorm van innovaties (techniek, organisatorisch, financieel, beleidsmatig). Het in kaart brengen van dit potentieel vormt een subdoel van dit onderzoek.

1.2 Onderzoeksaanpak

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd, waarbij de volgende fasen zijn doorlopen:

1. Beschrijven en verkennen

Beschrijving van de concepten van lagetemperatuuraardwarmte (LTA) en Mijnwater. Uitgevoerd aan de hand van een bureaustudie en interviews bij Visser & Smit Hanab en Mijnwater B.V. Daarnaast een beschrijving van alternatieve warmtetechnieken aan de hand van een bureaustudie.

2. Analyseren van kansen en beperkingen

Kwalitatieve en kwantitatieve analyse van de mogelijkheden van beide concepten. Voor LTA zijn bodempotentieelkaarten opgesteld, welke in relatie zijn gebracht met de bovengrondse warmtevraag. Voor Mijnwater zijn de bovengrondse uitwisselingsmogelijkheden geïnventariseerd en gekoppeld aan de mogelijkheden in de ondergrond of voor kunstmatige opslaglocaties. Daarnaast is van beide concepten uitgewerkt wat de financiële aspecten zijn door middel van globale businesscases en welke kansen en beperkingen er zijn vanuit beleid en regelgeving.

3. Synthese

Beide concepten kunnen los van elkaar, maar ook gezamenlijk ontwikkeld worden. In de synthese is gekeken wat de meerwaarde is van het combineren van de twee concepten.

Bij de uitwerking van dit onderzoek zijn zowel de opdrachtgevers als Mijnwater B.V. en Visser & Smit Hanab betrokken als input en klankbord voor de analyses en rapportage.

1.3 Leeswijzer

In deze rapportage worden eerst zowel lagetemperatuuraardwarmte als het Mijnwater-concept afzonderlijk uitgewerkt in Hoofdstukken 2 en 3. Hierbij worden alle aspecten uit de eerste twee fasen van de onderzoeksaanpak benoemd. In Hoofdstuk 4 volgt de synthese tussen beide concepten. Hoofdstuk 5 bevat een beschrijving van een drietal alternatieve warmteopties, die zowel concurrerend als aanvullend kunnen zijn op Mijnwater en lagetemperatuuraardwarmte.

2 Lagetemperatuuraardwarmte

In dit hoofdstuk wordt de technische toepassing van lagetemperatuuraardwarmte (LTA) nader uitgewerkt.

2.1 Kernpunten

LTA kenmerkt zich met de volgende eigenschappen:

- Aardwarmteonttrekking op ondiepe aardlagen tot een diepte van circa 1.500 meter;
- Onttrekkingstemperaturen tussen 15 en 40°C.
- Directe lagetemperatuurwarmtelevering of indirecte warmtelevering in combinatie met warmtepompen.
- Binnen de gebouwde omgeving is voornamelijk (bestaande) woningbouw een interessante afzetmarkt, omdat dit marktsegment zich kenmerkt door voornamelijk een warmtevraag. Daarnaast zijn overige grootschalige warmtevragers van lagetemperatuurwarmte (circa 40 tot 70°C) potentieel geschikte afnemers, zoals bijvoorbeeld de glastuinbouwsector.
- Ten opzichte van warmteproductie met aardgas, levert warmteproductie met LTA een besparing op in primair energieverbruik en reductie op in de emissie van CO₂. De te behalen energieprestatie is vooral afhankelijk van de inzet van de warmtepomp(en) en met name het temperatuurniveau van de warmteproductie. Met de huidige (geprognostiseerd voor 2017) emissiefactor voor elektriciteitsproductie ligt de CO₂-reductie van LTA in combinatie met warmtepompen rond de 50%, uitgaande van warmteopwekking met warmtepompen naar een temperatuurniveau van 50°C. De CO₂-reductie zal verder toenemen, naarmate het aandeel hernieuwbare elektriciteit in Nederland toeneemt.
- Het landelijk warmtepotentieel uit lagetemperatuuraardwarmte binnen stedelijke gebieden bedraagt 229 PJ per jaar. Dit is 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving in Nederland.
- De investeringskosten voor de putten zijn afhankelijk van de diepteligging en de haalbare capaciteit en liggen tussen de 1.200 en 2.000 €/kWt.
- Afhankelijk van de boordiepte varieert de kostprijs voor warmteproductie met LTA in combinatie met warmtepompen tussen 15 en 18 €/GJ (excl. subsidies of fiscale regelingen).
- Voor LTA kan gebruik worden gemaakt van de SDE+ regeling vanaf een diepte van 500 meter. De SDE+ regeling maakt toepassing van LTA financieel interessant.

2.2 Beschrijving van het concept

Met lagetemperatuuraardwarmte (LTA) wordt bedoeld het onttrekken van aardwarmte uit ondiepe formaties. In de praktijk wordt LTA qua diepte gepositioneerd tussen WKO en reguliere geothermie. De exacte dieptebegevening voor LTA ligt niet vast, maar is ingegeven door maximale bereikbare dieptes die haalbaar zijn met gebruikelijke grondwaterboortechieken of vereenvoudigde olie-/gasboortechieken. Als bovengrens wordt over het algemeen een diepte van 250 meter aangehouden, omdat ondiepere lagen veelal worden benut voor WKO-toepassingen en andere belangen, zoals drinkwaterwinning, etc.

Desondanks wordt LTA op dieptes ondieper dan 250 meter niet uitgesloten, er dient alleen rekening te worden gehouden met andere (omgevings)belangen.

Tabel 1 - Diepteligging bodemenergiesystemen en gebruikelijke toepassingen

Technologie	Dieptes (m)	Gebruikelijke toepassing
WKO	0-250	Opslag warmte en koude
Lagetemperatuuraardwarmte	250-1.500	Warmteonttrekking (i.c.m. warmtepomp)
Reguliere geothermie	1.500-3.500	Warmteonttrekking (direct use)
Ultra diepe geothermie	> 3.500	Stroomproductie/elektriciteitsopwekking

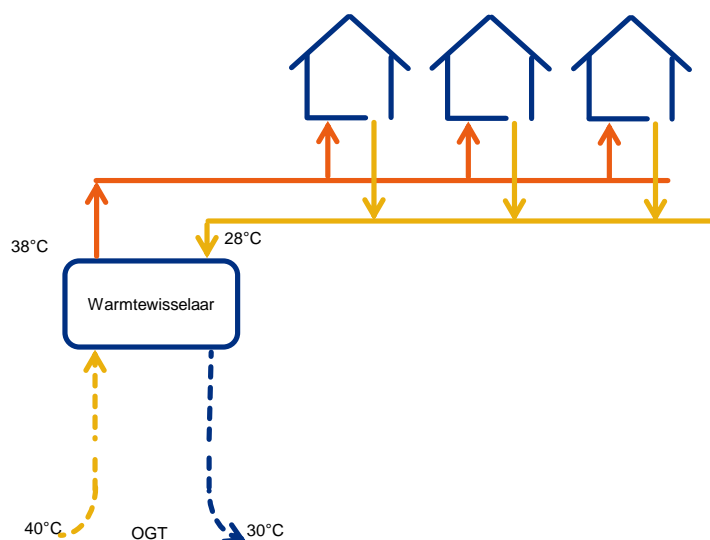
Bij LTA wordt aardwarmte onttrokken uit ondiepe formaties. Afhankelijk van de diepteligging van de formatie wordt water onttrokken met een temperatuur tussen de 15 en 45°C.

De warmte die aan de bodem wordt onttrokken kan, afhankelijk van de onttrekkingstemperatuur rechtstreeks, worden ingezet voor verwarmingsdoeleinden. In veel gevallen zal de onttrekkingstemperatuur te laag zijn voor rechtstreekse benutting. In die gevallen zal de laagwaardige warmte door middel van warmtepompen op een efficiënte wijze worden opgewaardeerd naar hoogwaardige warmte. Samengevat zijn de volgende toepassingen mogelijk:

- **Directe warmtelevering (Figuur 5)**

Indien warmte op voldoende hoge temperatuur (>30°C) kan worden onttrokken, kan deze warmte rechtstreeks ingezet worden voor verwarmingsdoeleinden. Om deze lagetemperatuurwarmte rechtstreek te kunnen inzetten dienen de gebouwen zeer goed geïsoleerd te zijn en voorzien te zijn van lagetemperatuurafgiftesystemen, zoals bijvoorbeeld betonkernactivering of vloerverwarming. Voor verwarming van warm tapwater zal aanvullende naverwarming noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld door middel van een warmtepompboiler.

Figuur 5 - Directe warmtelevering met LTA

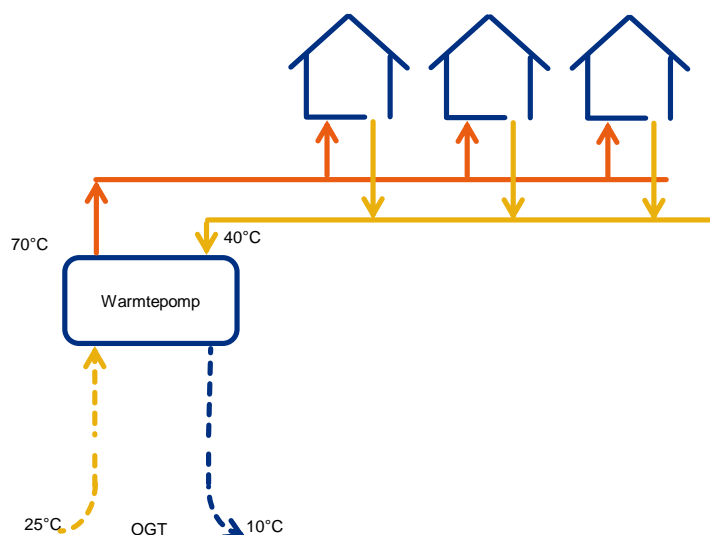


- **LTA met collectieve warmteopwekking (Figuur 6)**

De laagwaardige warmte uit de LTA wordt door middel van een centraal opgestelde warmtepomp opgewaardeerd naar de gewenste temperatuur. Eventueel kan naast de warmtepomp ook een collectieve piek-/backupvoorziening geplaatst worden. Via een geïsoleerd warmtedistributienet wordt de warmte geleverd aan de afnemers. Door middel van een afleverset wordt de warmte overgedragen aan de aangesloten afnemers.

Met traditionele warmtepompen is een temperatuur van maximaal 55°C haalbaar. Deze temperatuur is geschikt voor ruimteverwarming in combinatie met lagetemperatuurverwarming, zoals bijvoorbeeld vloerverwarming, verwarmingsbatterijen in luchtbehandelingskasten en ventilatieconvectoren. Dit sluit aan bij gebouwen die over een goede schilkwaliteit beschikken en voorzien zijn van lagetemperatuurverwarming. Warm tapwater zal decentraal op woningniveau worden naverwarmd, door bijvoorbeeld een elektrische boiler of een warmtepompboiler.

Figuur 6 - LTA met collectieve warmtepomp (hogetemperatuurwarmtepomp)



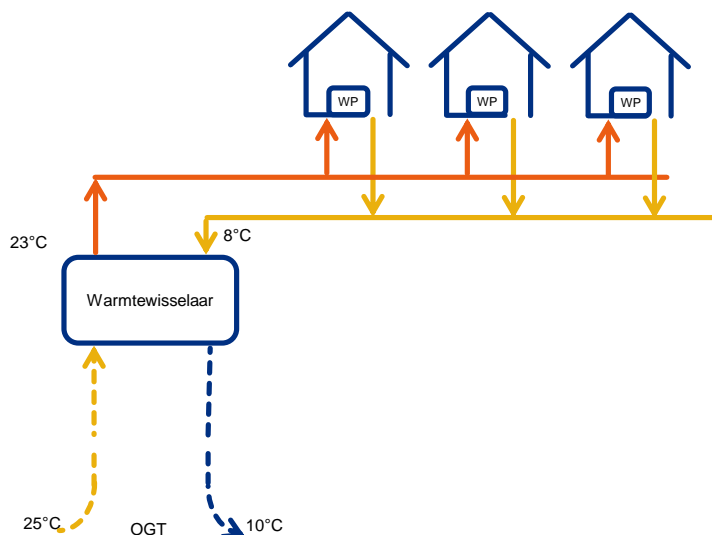
Met hogetemperatuurwarmtepompen zijn ook hogere temperaturen haalbaar, bijvoorbeeld 70°C. Dit sluit aan op dezelfde temperatuurniveaus als moderne stadswarmtenetten. Hiermee kan voorzien worden in zowel ruimteverwarming als tapwaterverwarming. Vanwege de relatief hoge temperatuur kan een brede groep gebouwen worden aangesloten. Oudere en minder goed geïsoleerde woningen kunnen vaak met relatief eenvoudige maatregelen (dubbel glas, beperkte na-isolatie, verbeterde kierdichtheid, etc.) geschikt worden gemaakt voor verwarming met een aanvoertemperatuur van 70°C. Door meer ingrijpende maatregelen, zoals uitgebreidere na-isolatie, HR++ glas, zeer goede kierdichtheid, etc. is het mogelijk om oudere woningen met 50°C te verwarmen. Door deze bouwkundige verbeteringen daalt het transmissieverlies van de woningen, waardoor bestaande afgiftesystemen (radiatoren) in staat zijn om voldoende vermogen af te geven voor verwarming van de woning. Waar nodig bestaat ook de mogelijkheid om bestaande radiatoren te vergroten (bijvoorbeeld van een dubbele convectoplaat naar een driedubbele) om daarmee voldoende vermogen te kunnen afgeven. Een alternatief is om naast de collectieve warmtepompen een collectieve gasgestookte of elektrisch verwarmde piekvoorziening te plaatsen, waarmee op basis van een stooklijn de temperatuur in het warmtenet tijdelijk verhoogd kan worden in die periodes dat 70°C ontoereikend is. Over het algemeen zijn dat een beperkt aantal uren per jaar, bij lage buitentemperaturen.

- **LTA met decentrale warmtepomp(en) (Figuur 7)**

De laagwaardige warmte uit de LTA wordt op lage temperatuur via een aanvoer/retour transportnet gedistribueerd naar de afnemers. Afhankelijk van de beschikbare temperatuur is het mogelijk dat het transportnet bestaat uit ongeïsoleerde kunststof leidingen. Het voordeel hiervan is dat het distributienet relatief goedkoop is en eenvoudig aan te leggen. De warmtepompen worden decentraal opgesteld. Dit kan op afnemerniveau (woning of bedrijfsruimte), op blokniveau (bijvoorbeeld appartementencomplex of een rij woningen). Toepassing van traditionele

warmtepompen stelt wel eisen aan de afgiftesystemen bij de afnemers, zoals lagetemperatuur-warmteafgifte en (elektrische) naverwarming voor bereiden van warm tapwater.

Figuur 7 - LTA met decentrale warmtepompen



Onderscheid ten opzichte van reguliere geothermie

Ten opzichte van reguliere geothermie zal de energiebesparing als gevolg van de inzet van de warmtepomp lager zijn dan bij directe benutting van reguliere aardwarmte, maar LTA heeft bepaalde voordelen:

- De investeringskosten zijn bij LTA lager, waardoor de investeringsdrempel aanzienlijk lager ligt.
- Boordieptes zijn bereikbaar met goedkopere en compactere boortechnieken.
- Vanwege de lagere temperatuur kunnen goedkopere materialen en componenten worden toegepast.
- Vanwege de beperktere uitkoeling van het water en de waterkwaliteit op de beoogde dieptes is er minder kans op neerslagreacties en scaling.
- Lagere vermogens en daardoor toepasbaar voor kleinere schaalgrootte.
- LTA kan worden toegepast naast andere vormen van bodemenergie, of op locaties waar andere vormen van bodemenergie technisch niet mogelijk zijn, waardoor het bodempotentieel optimaal wordt benut; meervoudig bodemgebruik.
- Combinaties met koudelevering zijn mogelijk in situaties waarbij warmtepompen worden toegepast die de beschikbare warmte uitkoelen naar voldoende lage retourtemperaturen (< 18°C). De koude kan vervolgens via korte- of langetermijnbuffering worden opgeslagen en benut voor koelingsdoeleinden.

2.3 Technische aspecten

2.3.1 Boortechniek en aandachtspunten

Bij lagetemperatuuraardwarmte wordt aardwarmte onttrokken aan de bodem uit ondiepe lagen tot circa 1.250 meter onder het maaiveld. Voor het winnen van aardwarmte op een diepte van meer dan 500 meter is de Mijnbouwwet van toepassing. Het opsporen en winnen van aardwarmte behoeft een vergunning van de minister van Economische Zaken (EZ). Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is de

hiervoor speciaal ingerichte uitvoerende instantie van EZ die de naleving van de mijnbouwregels controleert.

Aan boringen die worden uitgevoerd en ondieper zijn dan 500 meter is niet de Mijnbouwwet, maar de Waterwet van toepassing. Het bevoegd gezag hiervoor is de provincie. Wanneer boringen uitgevoerd worden dieper dan 500 meter dient voldaan te worden aan strikte (veiligheids)regels conform de Mijnbouwwet.

De strenge regels bij diepe boringen worden gesteld omdat de mogelijke gevaren toenemen met de boordiepte. Deze risico's hebben hoofdzakelijk te maken met de aanwezigheid van olie en gas in de bodem, in combinatie met hoge drukken. Om boringen dieper dan 500 meter te mogen uitvoeren zijn diverse veiligheidsvoorschriften vereist en worden hoge eisen gesteld aan het boormanagement en operatorschap. Het aantreffen van gas en olie als bijproductie bij diverse geothermieprojecten in Nederland heeft ertoe geleid dat de regelgeving en veiligheidsaspecten rondom geothermische boringen zijn aangescherpt en daardoor vrijwel overeenkomen met de procedures voor reguliere olie- en gasboringen.

Het voldoen aan alle procedures en veiligheidseisen voor reguliere olie- en gasboringen heeft een grote invloed op de boorkosten. In Nederland zijn er gebieden aan te wijzen waar olie en gas, tot een diepte van 1.000 meter, niet of nauwelijks in de ondergrond voorkomen. Voor die gebieden zijn de veiligheidsrisico's tijdens het boren beperkt.

De ontwikkeling naar goedkopere technieken voor laagtemperatuuraardwarmte zal derhalve ook afhangen van het goed inzichtelijk kunnen maken van de veiligheidsrisico's. Indien eenduidig wordt vastgesteld dat de aanwezigheid van gas of olie in de te doorboren bodemlagen uitgesloten is en de veiligheid gewaarborgd is, kan worden overwogen in hoeverre met een beperkte set van maatregelen kan worden gewerkt (bijvoorbeeld alleen met een diverter en geen BOP).

Afhankelijk van de gesignaleerde risico's, beschikbare mitigerende maatregelen en praktijkervaringen, bestaat op termijn wellicht de mogelijkheid om een mix te maken van olie-/gastechnieken, waterboortechnieken en HDD-technieken die geschikt is voor het werken in 'Laagtemperatuuraardwarmte' lagen en die qua investeringen beter past bij de kleinere schaalgrootte.

2.3.2 Ontwikkelingen en innovaties

Tot op heden is voor de toepassing van LTA vooral gekeken naar het toepassen van verticale boringen, middels de relatief goedkope waterboortehniek. Hierbij worden voor een LTA-doublet twee boringen gemaakt volgens het spoel- of zuigboorprincipe. De bronnen dienen op voldoende afstand van elkaar te worden gerealiseerd om vroegtijdige thermische doorbraak te voorkomen. Bronafstanden tussen 1.000 en 1.500 meter zijn hierbij gebruikelijk. Deze afstanden kunnen kleiner als een geringe temperatuurdaling na bijvoorbeeld vijftien jaar acceptabel is.

In Figuur 8 is een voorbeeld van een typische zuigboorinstallatie opgenomen. Het benodigde oppervlakte is beperkt tot een mobiele installatie en enkele bezinkbakken en gronddepot. Hierbij dient gedacht te worden aan circa 30 x 30 meter.

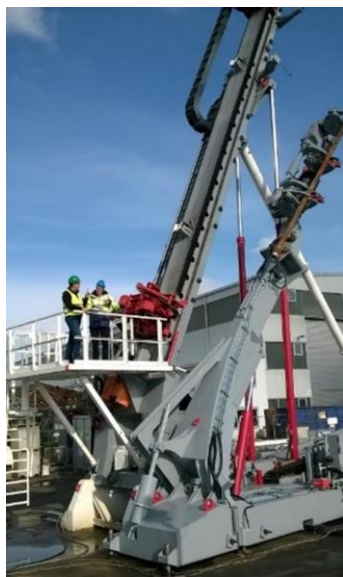
De maximaal bereikbare boordiepte middels de huidige zuigboortechnieken ligt rond de 1.000 meter onder maaiveld. Boorfirma's die op het gebied van zuigboring marktleider zijn in Nederland hebben op dit moment boormaterieel dat maximaal tussen de 500 tot 750 meter diepte kan boren. Om dieper te kunnen boren zullen boorbedrijven hun bestaande boormaterieel moeten ombouwen of investeren in zwaarder (nieuw) boormaterieel. De bereidheid tot aanpassen of vernieuwen van het boormaterieel hangt af van de marktvraag.

Belangrijk aandachtspunt is dat de huidige waterboorfirma's weinig ervaring hebben met de technische, organisatorische en juridische aspecten die gesteld worden in het kader van de Mijnbouwwet. Bij boringen dieper dan 500 meter ligt hier een technische uitdaging om de boormethodes en -technieken te laten voldoen aan de eisen die in het kader van de Mijnbouwwet worden gesteld. Dit geldt ook voor de organisatorische aspecten, zoals aanvullende veiligheidsmaatregelen, benodigde certificeringen, procedures en terreininrichting die gelden voor de diepe boringen.

Figuur 8 - Voorbeeld zuigboorinstallatie



Horizontal Directional Drilling

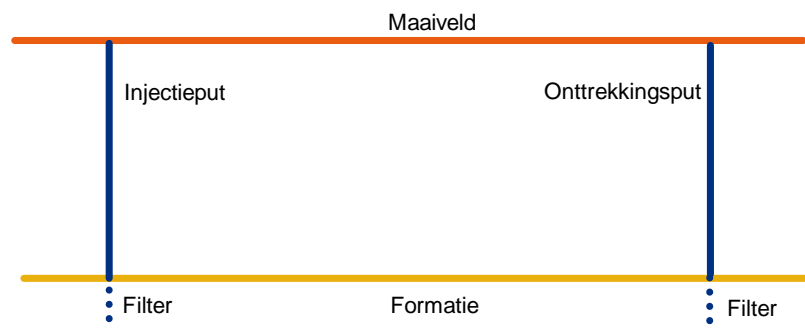


Een innovatie op het gebied van laagtemperatuuraardwarmte is het combineren van bestaande technologieën op het gebied van horizontaal gestuurde boringen (Horizontal Directional Drilling, HDD) en olie- en gasboortechniek. Hiermee kan met een relatief lichte en compacte booropstelling gestuurd geboord worden tot een maximale diepte van circa 1.250 meter.

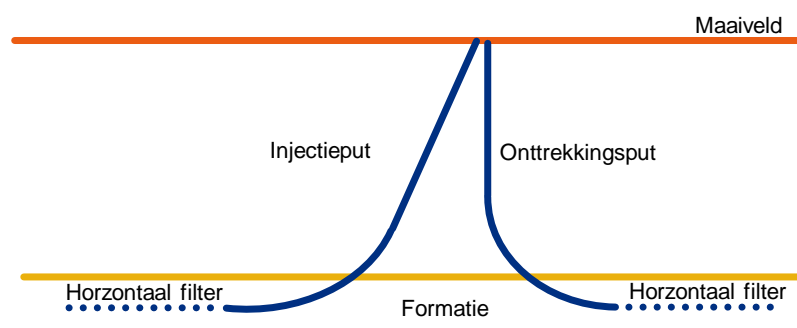
Visser & Smit Hanab is momenteel bezig met het ontwikkelen van deze techniek en realiseert één van de eerste demonstratieprojecten in Zevenbergen. Deze boortechniek wordt door Visser & Smit Hanab Geothermal Directional Drilling (GDD) genoemd.

Met deze boortechniek wordt net als bij de traditionele geothermieprojecten vanuit één boorlocatie gestuurd geboord naar de geschikte formatie. Dit in tegenstelling tot de traditionele waterboringen, waarbij gebruik wordt gemaakt van verticale putten. Bij het GDD-concept wordt ter hoogte van de formatie horizontaal geboord en worden horizontale filters geplaatst.

Figuur 9 - Traditionele verticale putten



Figuur 10 - LTA met horizontale filters



De voornaamste voordelen van LTA met horizontale filters zijn:

- door de horizontale filters kan een grotere capaciteit worden behaald uit dunne formaties en tegenvallende doorlatendheid kan gecompenseerd worden door een langer filtertraject te plaatsen;
- er wordt geboord vanuit één boorlocatie; dit beperkt het aantal zoekgebieden voor geschikte boorlocaties;
- door één boorlocatie, minder transport van materieel, kortere realisatietijd en de overlast tijdens het boren beperkt zich tot één locatie;
- geen separate transportleiding nodig tussen de onttrekkings- en injectieput;
- de boorlocatie vormt later het uitwisselingspunt van aardwarmte; dit punt kan dicht bij het afzetgebied gekozen worden.

2.3.3 Warmteopwekking, distributie en afgifte

De aardwarmte uit LTA is over het algemeen te laagwaardig voor directe verwarmingsdoeleinden in de gebouwde omgeving. Directe warmtelevering stelt hoge eisen aan de LTA (geschikte formatie op de juiste diepte, met de juiste temperatuur en capaciteit) en de gebouwen ((zeer) laagtemperatuur-afgiftesystemen in combinatie met een uitstekende thermische gebouwschil). In de meeste gevallen kan niet aan al deze randvoorwaarden worden voldaan, waardoor directe benutting van ondiepe aardwarmte in potentie zeer beperkt is.

Door warmtepomptechnologie kan de laagwaardige warmte uit de LTA worden verhoogd, waarmee de afhankelijkheid van de onttrekkingstemperatuur uit de LTA afneemt en het toepassingsgebied toeneemt.

Warmtepompen kunnen collectief of decentraal worden opgesteld.
Collectieve warmtepompen worden toegepast op gebiedsniveau (buurt, wijk).

Decentrale warmtepompen kunnen weer onderverdeeld worden op toepassing op woningniveau (individuele warmtepomp) of op gebouwniveau (blokverwarming). Zie Figuur 11 voor de beeldvorming.

De keuze voor collectieve of decentrale warmtepompen heeft invloed op verschillende aspecten. Hieronder wordt dit beknopt toegelicht.

Tabel 2 - Vergelijking van collectieve en decentrale warmtepompen

Aspect	Collectieve warmtepompen	Decentrale warmtepompen
Temperatuurniveau distributie	Middentemperatuurwarmte: Aanvoer: 70°C / Retour: 40°C Of lagetemperatuurwarmte: Aanvoer: 50°C / Retour: 40°C	Laagwaardige (bron)warmte Aanvoer: 15-40°C Retour: 8-15°C Op decentraal niveau (woning/blokniveau) opwaarderen met warmtepomp naar benodigde temperatuur (50-65°C).
Distributienetwerk	Geïsoleerde leidingen, gebruikelijk is staal met PUR mantel.	Niet of beperkt geïsoleerde kunststof leidingen.
Ruimtebeslag in woning	Bij middentemperatuurwarmte beperkt ruimtebeslag: Afleverset. Bij lagetemperatuurwarmte: relatief groot: Booster warmtepomp met boiler, t.b.v. warm tapwater.	Relatief groot: Warmtepomp met boiler.
Ruimtebeslag collectief	Energiecentrale met collectieve warmtepompen en eventuele piekvoorziening en buffercapaciteit.	Beperkt: alleen warmte-uitwisseling tussen LTA en distributienet.
Warm tapwater bereiding	Bij middentemperatuurwarmte direct via warmtewisselaar in afleverset. Bij lagetemperatuurwarmte naverwarming met booster warmtepomp.	Bij individuele combi-warmtepompen geïntegreerd in warmtepomp, eventueel in combinatie met elektrisch stoekelement. Bij warmtepompen op blokniveau, naverwarming met boosterwarmtepomp.
Onderhoud en beheer	Eenvoudiger vanwege groot aandeel centraal opgestelde techniek.	Complexer vanwege hoofdzakelijk decentraal opgestelde techniek.

Figuur 11 - Impressie collectieve, decentrale warmtepompen (woningniveau en blokniveau) en afleverset



2.3.4 Conceptuele systeemintegratie

Lagetempatuur aardwarmte is net als andere vormen van bodemenergie een kapitaalintensieve techniek. Voor een economisch rendabele toepassing zijn daarom de volgende conceptuele zaken van belang:

- **Zo veel mogelijk equivalente vollasturen**
De investeringskosten per kW van LTA zijn ten opzichte van conventionele technieken hoog, terwijl de exploitatiekosten lager zijn. Het is daarom vanuit financieel oogpunt interessant om met een relatief laag vermogen zo veel mogelijk uren per jaar warmte te leveren. Om dit te realiseren kan gedacht worden aan maatregelen zoals peak shaving door middel van buffering, beperkt toepassen van nachtverlaging, bivalente warmteopwekking, etc.
- **Zo veel mogelijk uitkoelen van de aardwarmte**
Door het zo veel mogelijk uitkoelen van de onttrokken aardwarmte wordt de beschikbare hoeveelheid energie per m³ onttrokken water optimaal gebruikt met een zo hoog mogelijke exergie. Hoewel bij toepassing van warmtepompen de totale SPF afneemt naarmate er verder wordt uitgekoeld, neemt het te leveren vermogen toe, vanwege het grotere temperatuurverschil. Door het grotere verwarmingsvermogen kan een grotere hoeveelheid warmte worden opgewekt. Zolang er voldoende afzetmogelijkheden zijn om deze warmte te kunnen leveren, neemt per saldo de kostprijs voor de geleverde warmte af, naarmate de aardwarmte verder wordt teruggekoeld. De SPF voor de warmteproductie neemt echter wel af. In de volgende paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

2.4 Energieprestaties

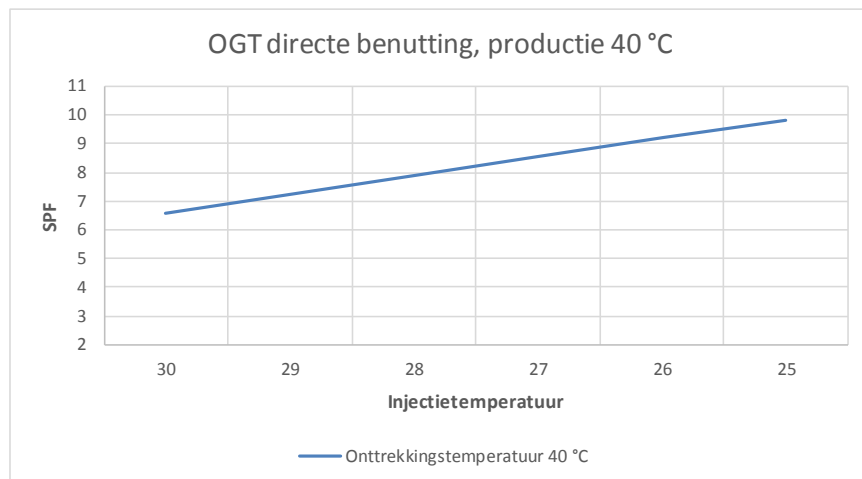
De energieprestatie van LTA kan uitgedrukt worden in de Seasonal Performance Factor (SPF). De SPF is de verhouding tussen de benodigde hoeveelheid elektrische energie en de hoeveelheid geproduceerde thermische energie.

De SPF van warmteproductie uit LTA is geen vast getal, maar is samengesteld uit hoofdzakelijk de SPF van de LTA en van de warmtepomp. Deze hangen af van factoren, zoals:

- onttrekkings- en injectietemperatuur;
- formatieweerstad en pompvermogen;
- bijdrage van de warmtepomp;
- condensor- en verdampervermogen warmtepomp.

Directe warmtelevering uit LTA, zonder gebruik van een warmtepomp levert de hoogste SPF op. Bij directe warmtelevering van 40°C ligt de SPF, afhankelijk van de retourtemperatuur tussen de 6 en 10. Zie Figuur 12.

Figuur 12 - SPF van LTA bij directe warmtelevering

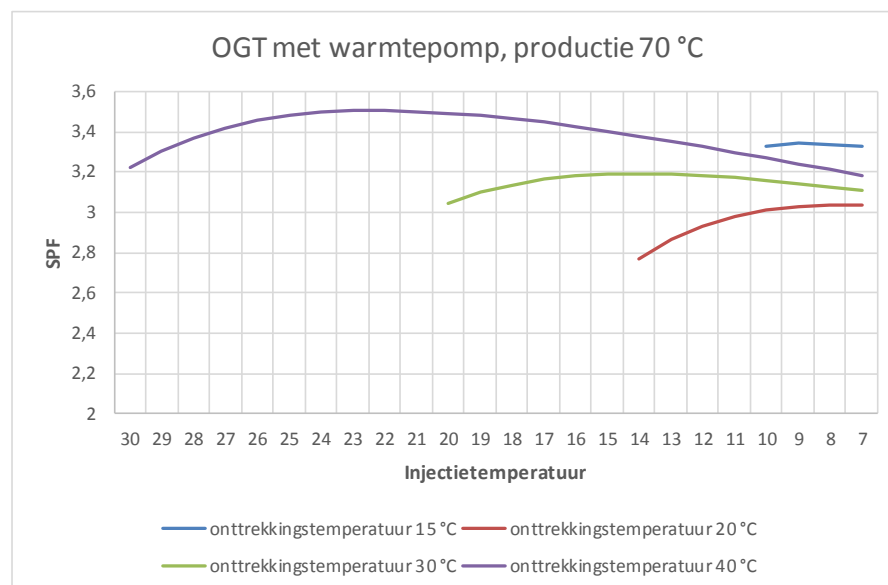


Het potentieel voor directe benutting van ondiepe aardwarmte is in de bestaande gebouwde omgeving vrij beperkt. Enerzijds stelt directe benutting hoge eisen aan de afgiftesystemen en thermische gebouwschil van de gebouwen en anderzijds stelt dit ook eisen aan de ondergrond. Om 40°C direct te benutten dient binnen het plangebied een geschikte formatie aanwezig te zijn vanuit warmte van 40°C kan worden onttrokken. De combinatie van geschikte gebouwen bovengronds en geschikte formaties ondergronds, maakt de toepassing van directe benutting van LTA voor de gebouwde omgeving in Nederland niet heel kansrijk.

Een temperatuur van 70°C is breed inzetbaar in de gebouwde omgeving. Zowel nieuwbouw als bestaande bouw kan over het algemeen zonder of met relatief eenvoudige bouwkundige aanpassingen worden verwarmd met een dergelijke aanvoertemperatuur. Een groot nadeel is echter dat de SPF bij een opwekkingstemperatuur van 70°C sterk omlaag gaat.

Een SPF voor productie van warmte met een temperatuur van 70°C varieert tussen de 2,8 en 3,5; zie Figuur 13. Dit betreft uitsluitend de productie van warmte (LTA-doublet en warmtepomp), exclusief de distributie en aflevering van warmte.

Figuur 13 - SPF LTA bij 70°C warmteproductie



Vanwege de relatieve lage SPF bij een aanvoertemperatuur van 70°C verdient het de aanbeveling om te onderzoeken in hoeverre gebouwen met lagere temperaturen verwarmd kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan het toepassen van een stooklijn, waarbij de aanvoertemperatuur, afhankelijk van de buitentemperatuur varieert. Verreweg het grootste deel van de bestaande gebouwde omgeving zal gemiddeld over het jaar genomen met lagere temperaturen verwarmd kunnen worden, bijvoorbeeld 50°C. Hogere aanvoertemperaturen zijn nodig tijdens koude periodes (strengere vorst) en voor snelle opwarming van gebouwen. Dit kan ondervangen worden door:

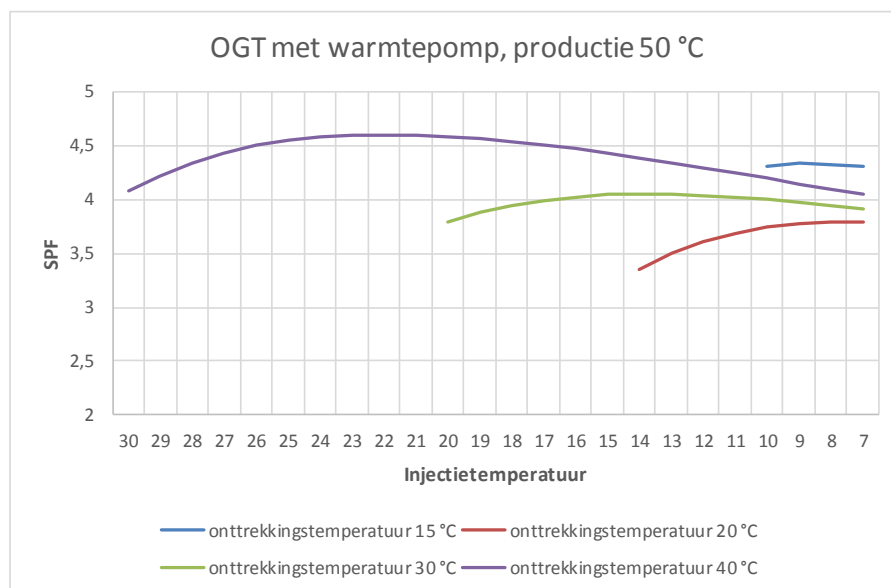
- het introduceren van een lokale piekvoorziening, waarmee kortstondig een hogere temperatuur geleverd kan worden; en
- gebouwen minder laten afkoelen (beperkte nachtverlaging).

Bij een lagere productietemperatuur, neemt de SPF voor warmteproductie toe. Dit komt hoofdzakelijk doordat de warmtepomp bij een lagere opwekkingstemperatuur een hoger rendement heeft. De gemiddelde SPF voor productie van warmte met een temperatuur van 50°C ligt tussen de 3,0 en 4,2.

Niet alleen de warmteproductietemperatuur, maar ook de brontemperatuur is van invloed op de SPF. Naarmate de brontemperatuur toeneemt (naargelang de diepte van de formatie), neemt de haalbare SPF van de warmtepomp toe, waardoor de overall SPF ook toeneemt. Dit effect is in bovenstaande figuren ook zichtbaar, maar wordt uitgedempt door het effect dat juist in de diepere formaties de formatieweerstand toeneemt, waardoor de SPF van de LTA-putten juist omlaag gaat. Vanwege de lage formatieweerstand in de ondiepe lagen (aquifers tot circa 250 m-mv) levert LTA met onttrekkingstemperaturen tot circa 15°C een relatief hoge overall SPF, ondanks de relatief lage SPF van de warmtepomp.

Ten opzichte van warmteproductie met aardgas, levert warmteproductie met LTA een reductie op in de emissie van CO₂. De te realiseren emissiereductie is enerzijds afhankelijk van de specifieke kenmerken van de LTA (onttrekkingstemperatuur, productietemperatuur, formatieweerstand, etc.) en anderzijds van de CO₂-emissiefactor voor elektriciteitsproductie.

Figuur 14 - SPF LTA bij 50°C warmteproductie met warmtepomp



In de toekomst zal door vergroting van het aandeel hernieuwbare energie voor landelijke elektriciteitsproductie de CO₂-emissiereductie voor LTA toenemen. Hieronder zijn de te verwachten CO₂-emissiereducties weergegeven op basis van de geprognostiseerde emissiefactoren voor elektriciteitsproductie (integrale methode) uit de Nationale Energieverkenning (NEV 2015).

De CO₂-reductie is afhankelijk van het energierendement van de warmteopwekking (SPF).

Tabel 3 - Haalbare CO₂-emissiereductie met LTA t.o.v. aardgas

Jaar	70°C met WP	50°C met WP	40°C Direct
2017	35-38 %	49-52 %	71-80 %
2020	47-50 %	58-61 %	76-84 %
2030	61-63 %	69-72 %	83-88%

De SPF voor warmteproductie met LTA is vergelijkbaar met de SPF van individuele bodemgekoppelde warmtepompen, waarmee de te bereiken CO₂-reductie ook vergelijkbaar is. Hoewel het potentiële energierendement voor alleen de warmtepomp bij LTA hoger ligt dan bij individuele bodemgekoppelde warmtepompen, vanwege de hogere verdampingstemperaturen in de warmtepomp, is het energieverbruik van de bronpompen bij LTA hoger dan bij individuele bodemgekoppelde warmtepompen, waardoor de overall besparing per saldo ordegrrootte vergelijkbaar is.

2.5 Potentieel LTA

Om het potentieel voor lagetemperatuuraardwarmte in Nederland te bepalen zijn de geschikte geologische reservoirs gekarteerd. Dit zijn de volgende zes reservoirs die zich tussen 250 m-mv en 1.250 m-mv bevinden:

- Formatie van Oosterhout;
- Rijnland Groep;
- Formatie van Maassluis;
- Formatie van Breda;
- Brussels Zand;
- Delfland.

Als bron voor de kaarten is het rapport 'Kansen voor lagetemperatuuraardwarmte voor de glastuinbouw' van KEMA, DLV glas en energie en IF Technology uit 2012 gebruikt (referentie: 74100973-CES/IPT 12-3178), en het rapport 'Potentieel geothermie Zuid-Holland' van IF Technology uit 2016 (referentie: 66141/SB/20161129).

In Bijlage B zijn de potentieelkaarten van de zes formaties weergegeven. Het potentieel op deze kaarten wordt uitgedrukt in TJ/hectare/jaar.

Het potentieel is bepaald door de verbreiding van het geologische reservoir op te delen in gebieden van 100 bij 100 meter. Per hectare wordt dan het potentieel als volgt berekend:

Potentieel per hectare = $((H \times (T_{res} - T_{ret}) \times C) \times Win)/T$ [MJ/hectare/jaar]

Waarin:

- H Dikte van het reservoir [m].
T_{res} Onttrekkingstemperatuur uit reservoir [°C].
T_{ret} Retourtemperatuur in reservoir [°C].
C Totale warmtecapaciteit reservoir [MJ/m³°C].
Win Fractie winbare warmte [-]. Deze is 30 à 50% van de aanwezige warmte.
T Periode waarover de winning plaatsvindt [jaar].

De fractie winbare warmte is gehanteerd omdat niet alle aanwezige warmte in de praktijk kan worden onttrokken. Dit heeft te maken met de vorm van de ondergrondse koudebellen, benodigde afstand tussen de systemen onderling. De factor is een theoretische benadering van de winbare warmte ten opzichte van de aanwezige warmte.

Voor de retourtemperatuur is 7°C aangenomen en voor de tijdsperiode 30 jaar. Een retourtemperatuur van 7°C leidt tot benutting van het maximale potentieel. Uit de financiële analyse blijkt ook dat het economisch optimum ligt bij het zo veel mogelijk uitkoelen van het geothermische water, ondank dat de COP/SPF van de warmtepomp omlaag gaat naarmate er meer wordt uitgekoeld. In Paragraaf 2.6.2 worden de verhoudingen tussen kostprijs en SPF inzichtelijk gemaakt. De andere parameterwaarden zijn afhankelijk van de kenmerken van het reservoir binnen de betreffende hectare.

Als minimumwaarde in de legenda is 0,5 TJ/ha/jaar aangehouden. Beneden deze waarde is het warmtepotentieel te gering om economisch rendabel te winnen.

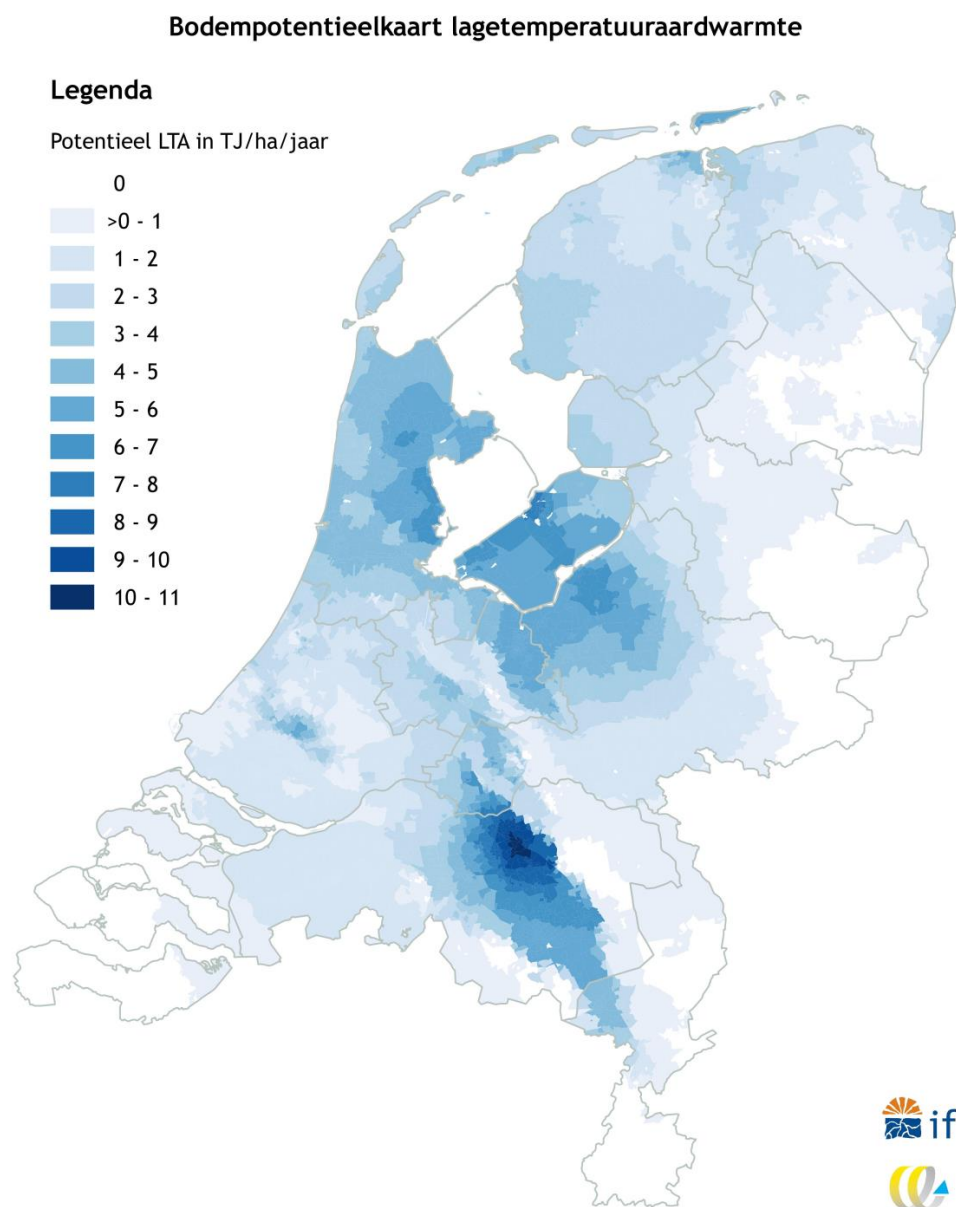
In Figuur 15 is het potentieel van de zes formaties samengevoegd tot één kaart. Het potentieel per formatie (uitgedrukt in TJ/ha/jaar) is hierbij opgeteld. Deze kaart is dus de **landelijke bodempotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte**. Het betreft de kaart zonder STED-eis.

Dit wil zeggen dat geen rekening is gehouden of er wel of geen verstedelijking aanwezig is. Alleen de bodemgeschiktheid is dus in kaart gebracht.

Het is mogelijk dat zich op een locatie meerdere geschikte geologische formaties bevinden. Het potentieel per formatie is op die locatie opgeteld.

Het totale landelijke bodempotentieel die uit deze kaart volgt bedraagt 6.931 PJ per jaar.

Figuur 15 - Landelijke bodempotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte



Vervolgens is op basis van de warmtevraag per CBS-buurt het potentieel berekend. Hiervoor zijn alle buurten van Nederland genomen met een stedelijkheid kleiner dan 4 (STED < 4). 'Weinig stedelijk' (STED = 4) en 'niet stedelijk' (STED = 5) zijn dus buiten beschouwing gelaten. Ook is de warmtevraag van de glastuinbouwgebieden betrokken bij de berekening.











Op basis hiervan kan een zogenaamde fractiekaart worden gemaakt. Daarin wordt aangegeven voor welk deel (in %) laagtemperatuuraardwarmte kan bijdragen aan de warmtevragen van de buurten-/glastuinbouwgebieden. Zie de fractiekaart laagtemperatuuraardwarmte op de volgende bladzijde (Figuur 16).

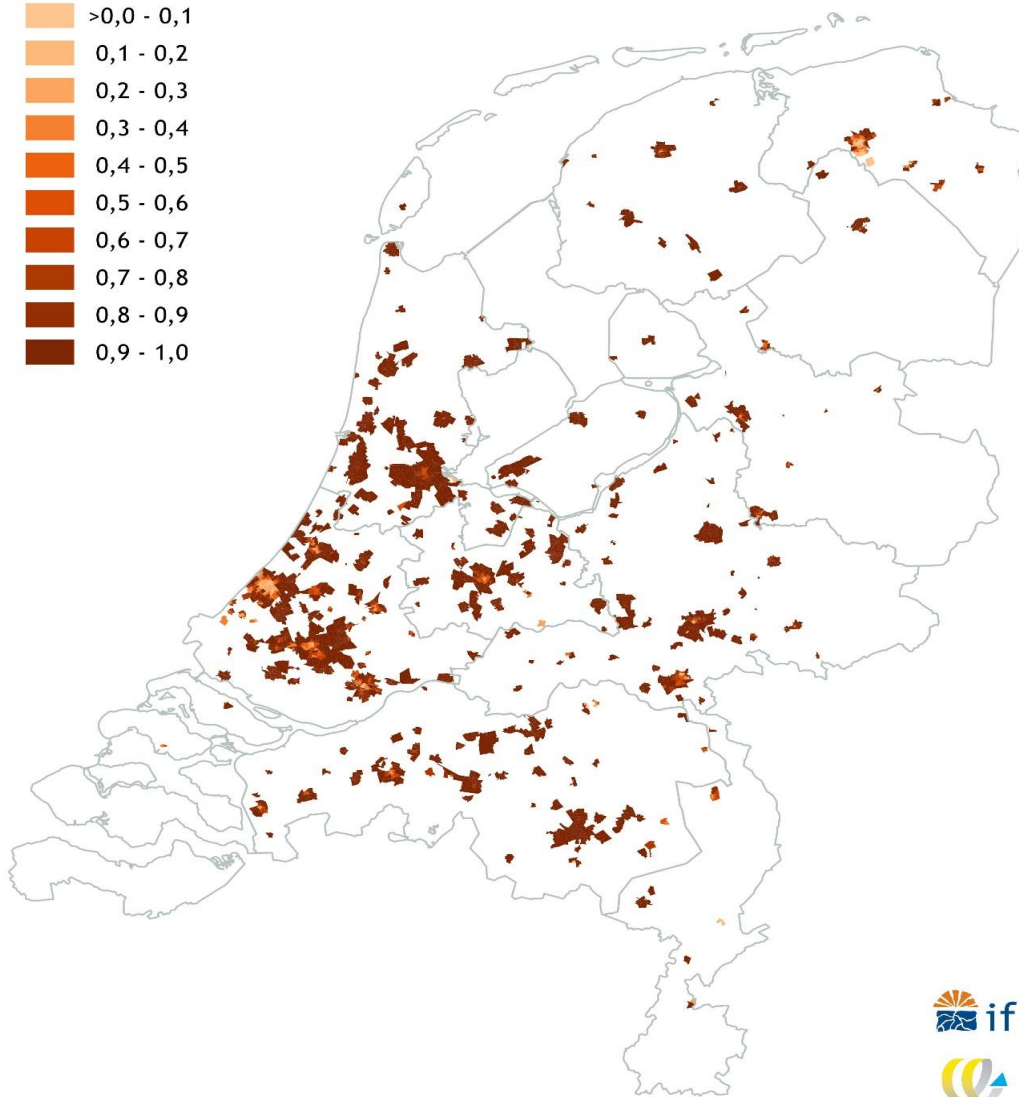
Figuur 16 - Fractiekaart potentieel laagtemperatuuraardwarmte

Fractiekaart potentieel laagtemperatuuraardwarmte

Legenda

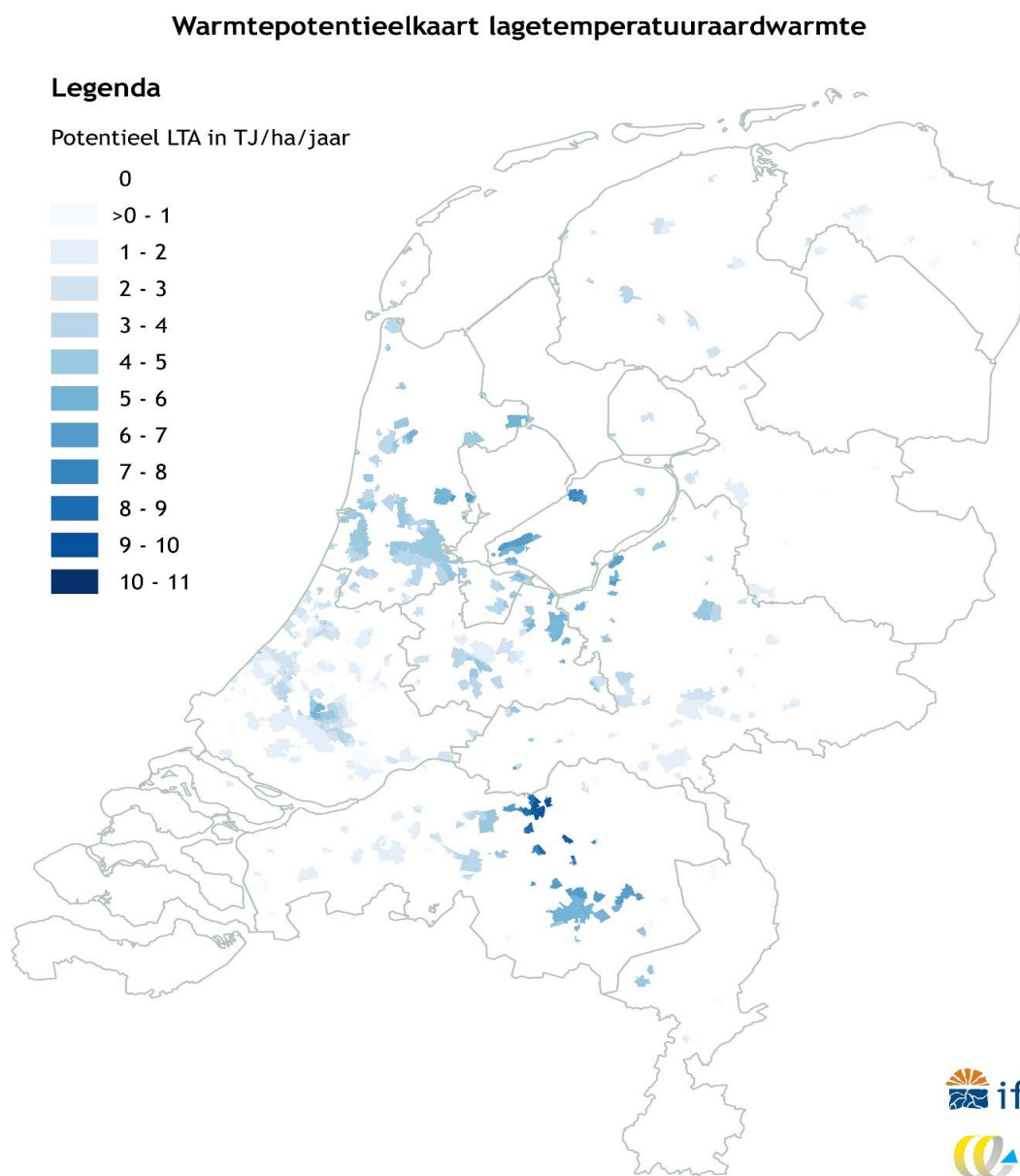
Mate waarin LTA kan voorzien in de warmtevraag (incl. glastuinbouw)

	>0,0 - 0,1
	0,1 - 0,2
	0,2 - 0,3
	0,3 - 0,4
	0,4 - 0,5
	0,5 - 0,6
	0,6 - 0,7
	0,7 - 0,8
	0,8 - 0,9
	0,9 - 1,0



Vervolgens wordt hieruit de **landelijke warmtepotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte** afgeleid (Figuur 17).

Figuur 17 - Landelijke warmtepotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte



Om het landelijk potentieel te bepalen is per buurt/glastuinbouwgebied bepaald hoeveel warmtevraag aanwezig is en hoeveel warmte in de ondergrond beschikbaar is. Er geldt dan:

- Is de warmtevraag van de buurt/glastuinbouwgebied groter dan het aanbod uit de bodem, dan wordt het aanbod uit de bodem als potentieel genomen.
- Is de warmtevraag van de buurt/glastuinbouwgebied kleiner dan het aanbod uit de bodem, dan wordt de warmtevraag als potentieel genomen.

Het landelijk potentieel lagetemperatuurwarmte die op basis hiervan wordt berekend bedraagt 229 PJ per jaar. Dit is 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving en de glastuinbouwgebieden in Nederland.

Duurzaamheid van het warmtepotentieel

De tijdsperiode van 30 jaar houdt in dat de onttrekkingstemperatuur uit de LTA 30 jaar constant zal zijn. Na 30 jaar warmteonttrekking wordt de onttrekkingstemperatuur beïnvloed door het geïnjecteerde afgekoelde water. Dit proces wordt thermische doorbraak genoemd. Als gevolg hiervan zal na 30 jaar de onttrekkingstemperatuur geleidelijk dalen, waardoor de warmtecapaciteit van het LTA-doublet ook in dezelfde orde zal afnemen. De temperatuurafname is een geleidelijk proces, wat langzaam (hoogstens enkele graden per jaar) begint en na verloopt van enkele jaren steeds sneller zal toenemen, als gevolg van steeds verdere afkoeling van de bodem in de omgeving van de onttrekkingssput. Gedurende die periode komt een moment dat de capaciteit uit de LTA niet meer toereikend zal zijn om het benodigde vermogen te kunnen leveren. In dat geval kan op voldoende afstand van de in de bodem gecreëerde koude bel een nieuwe onttrekkingssput worden geboord, waarmee de warmteonttrekking kan worden gecontinueerd. De gecreëerde koude bel in bodem zal als gevolg van de aanwezige geothermische geleiding langzaam weer opwarmen. Dit natuurlijke regeneratieproces vergt lange tijd en kan oplopen tot enkele honderden jaren.

Door LTA naast de functie van warmtebron ook in te zetten als warmtebuffer, kan jaarlijks aanvullend (rest)warmte in de bodem worden opgeslagen. Hiermee wordt thermische uitputting uitgesteld of zelfs geheel voorkomen (in geval van een energiebalans). Hiermee kan het LTA-concept goed worden gecombineerd binnen het Mijwater-concept.

2.6 Financiële aspecten

Een LTA-systeem in de gebouwde omgeving bestaat uit de volgende hoofdonderdelen:

- bronsysteem (LTA-putten t/m warmtewisselaars);
- collectieve of decentrale opwekking (warmtepompen, eventueel piekvoorziening);
- distributie naar de afnemers;
- aflevering bij de afnemers;
- overige voorzieningen (regeltechniek, bouwkundige voorzieningen, W/E-componenten).

Naast de onderdelen voor het LTA-systeem zijn er mogelijk ook nog aanpassingen nodig binnen de aangesloten gebouwen, zoals:

- verbetering isolatiewaarde van de gebouwen t.b.v. lagetemperatuurverwarming;
- aanpassen afgiftesystemen in de gebouwen.

De benodigde gebouwzijdige aanpassingen zijn sterk afhankelijk van het type gebouw (bouwjaar, kwaliteit gebouwschil, aanwezige afgiftesystemen) en het temperatuurniveau van de geproduceerde warmte.

2.6.1 Bronsysteem LTA

Binnen de bovengenoemde onderdelen is met name op het gebied van bronboringen voor LTA nog niet veel praktijkervaring beschikbaar. Er is veel ervaring met de gebruikelijke waterboortechiek (tot 250 m-mv) en er is relatief veel ervaring met diepe boringen (voornamelijk afkomstig uit de olie- en gaswereld). Het tussenliggende gebied van LTA is nog redelijk onontgonnen. Hierin zit dan ook de grootste onzekerheid ten aanzien van de investerings- en exploitatiekosten.

Investeringskosten

De investeringskosten voor de LTA-putten zijn sterk afhankelijk van de gekozen boortechiek en maatregelen die vanuit de huidige regelgeving getroffen moeten worden ten aanzien van het voldoen aan (veiligheids)eisen en procedures.

Voor horizontale putten is nog niet veel gedetailleerde kosteninformatie beschikbaar. Visser & Smit Hanab is momenteel bezig met het ontwikkelen van deze techniek, waarbij een eerste pilotproject wordt gerealiseerd in Zevenbergen. In overleg met Visser & Smit Hanab zijn ramingen gemaakt van de te verwachte investeringskosten voor een LTA-doublet, gebaseerd op GDD-technologie.

Hierbij is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten:

- onttrekkingsdebiet van 300 m³/h;
- retourtemperatuur van 8°C;
- lengte horizontaal filtertraject van 500 m per put;
- onderlinge afstand filters: 1.000 m ondergronds;

In Tabel 4 zijn de geraamde investeringskosten voor een LTA-systeem weergegeven.

In Bijlage C is een onderbouwing weergegeven van de investeringskosten per hoofdcomponent. Deze investeringskosten zijn tot stand gekomen met input van Visser & Smit Hanab. Opgemerkt dient te worden dat deze cijfers een gemiddeld beeld geven van de investeringskosten en afhankelijk van lokale omstandigheden en bodemeigenschappen kunnen afwijken.

De investeringskosten omvatten het ondergrondse gedeelte van een LTA-systeem, inclusief bronpompen, leidingwerk en appendages tot en met de warmtewisselaar. Kosten voor warmtepompen, buffers, distributienetwerk, gebouw en bestemmingsplan zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

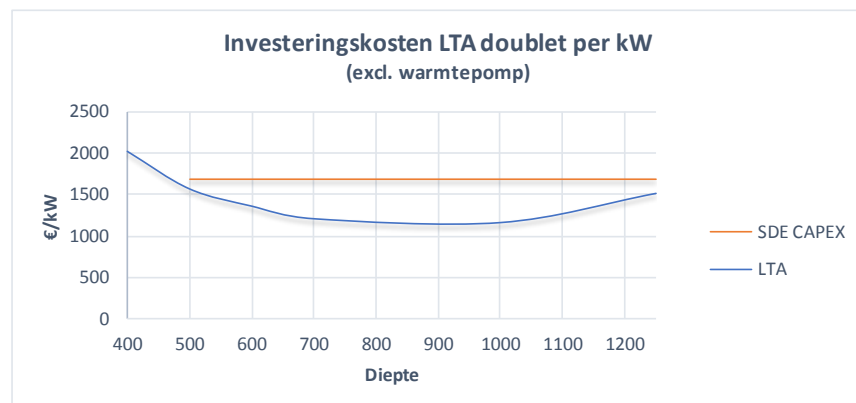
Voor de kostenraming is tevens geen rekening gehouden met kosten voor warmtepompen, buffers, distributienetwerk, gebouw voor technische ruimte en bestemmingsplan.

Tabel 4 - Investeringskosten voor LTA-systemen (excl. BTW, onnauwkeurigheid +/- 10%)

Diepte (m-mv)	Temperatuur (°C)	Vermogen (MW)	Investeringen (€)	€/kW
400	19	3,8	7.740.000	2.020
500	23	5,2	8.210.000	1.575
600	26	6,3	8.560.000	1.365
700	31	8,0	9.730.000	1.215
1.000	40	11,1	13.030.000	1.170
1.250	49	14,3	17.550.000	1.230

In Figuur 18 zijn de investeringskosten per kW afgezet tegen de diepte van de horizontale filtertrajecten.

Figuur 18 - Investeringskosten per kW afgezet naar diepte



Uit bovenstaande grafiek blijkt dat de investeringskosten voor laagtemperatuurwarmte met verticale putten, afhankelijk van de diepteligging en de haalbare capaciteit, tussen de 1.200 en 2.000 €/kWt bedragen. In de grafiek is tevens ter vergelijking het investeringsniveau weergegeven van geothermie volgens de SDE+ 2017-regeling.

De investeringen per kW vallen gunstiger uit t.o.v. traditionele geothermie, maar gezien de investeringen en de elektrakosten die nodig zijn voor de warmtepomp geeft dit aanleiding om de SDE-vergoeding te herzien voor LTA.

Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande investeringskosten gebaseerd zijn op de referenties van een voorbeeldproject. Dit af kan wijken als de geologische omstandigheden en/of uitgangspunten in de praktijk anders zijn.

Onderhoud en beheer

Naast de investeringskosten zijn tevens de kosten voor onderhoud en beheer geraamd, zie Tabel 5. In Bijlage C is een onderbouwing weergegeven van de kosten. Deze kosten zijn tot stand gekomen met input van Visser & Smit Hanab. Opgemerkt dient te worden dat deze cijfers een gemiddeld beeld geven en afhankelijk van lokale omstandigheden en bodemeigenschappen kunnen afwijken.

Tabel 5 - Onderhoud en beheerkosten voor LTA-doublet (excl. BTW, onnauwkeurigheid +/- 20%)

Diepte (m-mv)	Kosten onderhoud en beheer (€/jaar)
400	170.000
500	170.000
600	170.000
700	185.000
1.000	250.000
1.250	300.000

2.6.2 Kostprijs warmte

De kostprijs voor opgewekte warmte met LTA wordt uitgedrukt in €/GJ en is opgebouwd uit de volgende hoofdonderdelen:

- kapitaallasten van de investeringen;
- jaarlijkse kosten voor onderhoud en beheer;
- elektriciteitskosten.

In de berekende kostprijs is geen rekening gehouden met subsidies of fiscale regelingen.

Equivalentente vollasturen

Een bepalende factor voor de kostprijs van warmte is het aantal equivalente vollasturen waarop LTA kan worden ingezet. Hoe meer vollasturen, hoe meer warmteafzet en hoe lager de kostprijs per GJ.

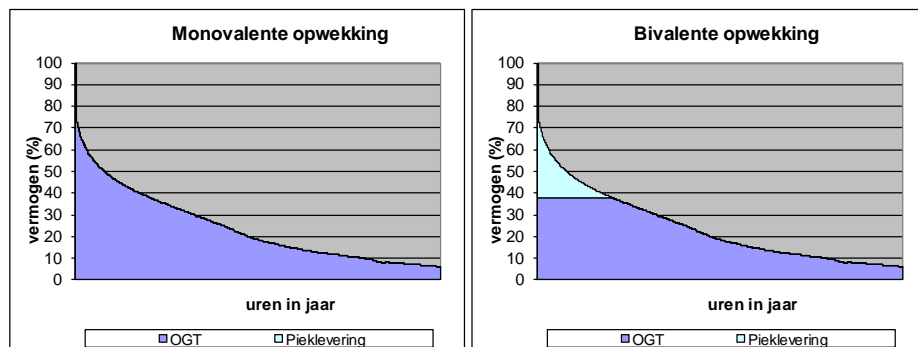
Indien LTA het volledige verwarmingsvermogen en daarmee de volledige warmtevraag zal dekken (monovalente opwekking), zal het aantal equivalente vollasturen beperkt zijn (circa 1.000-1.500 uur). Indien de piek warmtevraag gereduceerd kan worden (peak shaving), kan LTA meer equivalente vollasturen draaien.

Peak shaving kan worden gerealiseerd door:

1. Inzet van een aanvullende piekvoorziening (bivalent energieconcept). En/of
1. Toepassen van thermische buffering in gebouwen en lokale buffers in de clusters en gebouwen.

In Figuur 19 voorbeeld is de inzet van LTA weergegeven in een jaarbelastingduurkromme van een traditioneel stadswarmtenet in de gebouwde omgeving.

Figuur 19 - Voorbeeld van toepassing van LTA weergegeven in een jaarbelastingduurkromme van een traditioneel stadswarmtenet



Bij bivalente opwekking met LTA in de basislast, levert LTA circa 38% van het benodigd piekvermogen en levert daarmee circa 90% van de warmtevraag. De overige 10% van de warmtevraag wordt geleverd door een piekvoorziening. Het aantal equivalente vollasturen van de LTA bedraagt in dat geval circa 4.000 uur.

Directe warmtelevering of via warmtepomp

Warmte uit LTA kan direct zonder tussenkomst van een warmtepomp worden ingezet, mits de aangesloten gebouwen voorzien zijn van zeer lagetemperatuurwarmteafgiftesystemen (ZLTV), zoals bijvoorbeeld betonkernactivering.

Door middel van warmtepompen kan enerzijds de onttrokken aardwarmte verder worden uitgeoeld en anderzijds kan deze warmte verder in temperatuur worden opgewaardeerd.

Toepassing van warmtepompen leveren bij LTA vrijwel altijd een positief effect op de kostprijs van warmte. Dit komt doordat met een warmtepomp de aardwarmte verder wordt uitgeoeld en daarmee een grotere hoeveelheid warmte wordt geproduceerd. Per saldo en afgezien SDE-inkomsten leidt dit tot een lagere kostprijs van geproduceerde warmte, ondanks de extra investerings- en exploitatiekosten voor een warmtepomp. De SDE versterkt dit effect nog meer, zoals zichtbaar is gemaakt in Figuur 21.

Voorwaarde bij de kostprijsberekening is dat de geproduceerde warmte nuttig kan worden ingezet. Dit heeft een directe relatie met de afzet van warmte.

Hieronder is de berekende kostprijs weergegeven van geproduceerde warmte voor zowel directe warmtelevering als warmtelevering met een warmtepomp.

Dit betreft ter vergelijking enkel de kostprijs voor warmteproductie (bron en collectieve warmtepomp). Kosten voor distributie en aflevering zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. In Paragraaf 2.7 is een globale businesscase doorgerekend van ondiepe geothermie inclusief distributie en aflevering.

Voor het berekenen van de kostprijs voor warmte zijn de uitgangspunten in Tabel 6 gehanteerd

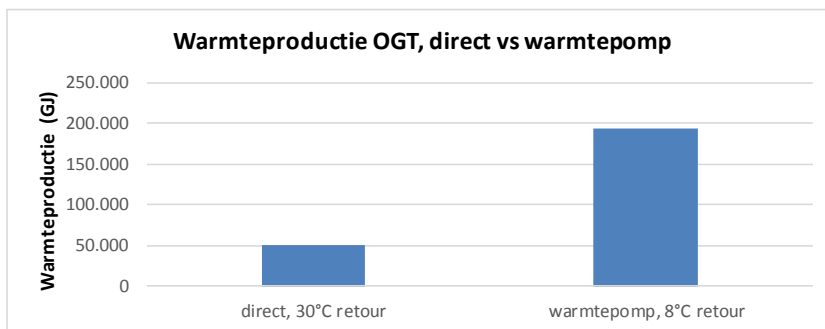
Tabel 6 - Uitgangspunten berekening kostprijs warmte LTA

Parameter	Waarde	Eenheid
Diepte LTA	1.000	m-mv
Onttrekkingstemperatuur/productietemperatuur	40	°C
Injectietemperatuur bij directe toepassing	30	°C
Injectietemperatuur bij toepassing warmtepomp	8	°C
Debiet	300	m ³ /h
Vollasturen	4.000	h
Gemiddeld elektriciteitsstarief	0,075	€/kWh
SPF warmtepomp	6,0	-
Rente	6%	%
Investeringskosten doublet	13.000.000	€
Investeringskosten centrale warmtepomp	3.300.000	€
Afschrijving LTA-putten	30	jaar
Afschrijving warmtepomp	15	jaar
Onderhoud en beheer doublet	250.000	€/jaar
Onderhoud en beheer warmtepomp	100.000	€/jaar

Bij directe warmtelevering op een temperatuurniveau van 40°C met een retourtemperatuur van 30°C wordt een thermisch vermogen geleverd van circa 3,5 MW. Bij 4.000 vollasturen wordt jaarlijks 50.000 GJ-warmte geproduceerd.

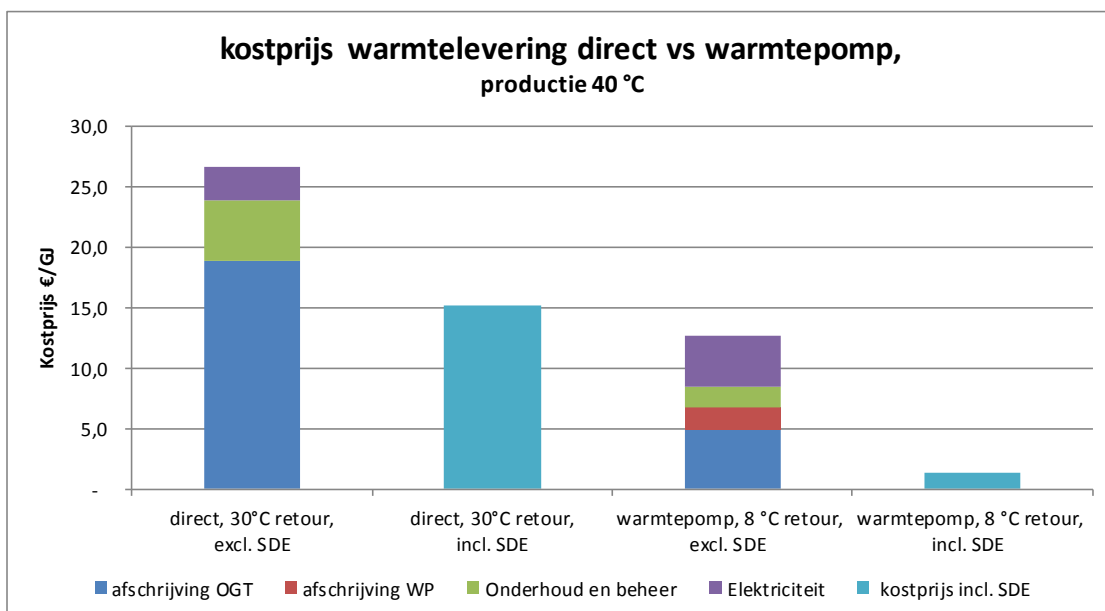
Door toepassing van een warmtepomp wordt de aardwarmte uitgeoeld tot 8°C, waardoor het bronvermogen toeneemt naar 11,1 MW. Door de warmtepomp wordt uiteindelijk 13,4 MW-warmte van 40°C geleverd. Bij gelijkblijvend aantal vollasturen wordt daarmee op jaarbasis 193.000 GJ-warmte geleverd. Dit resulteert in een warmteproductie die bijna vier maal hoger ligt dan bij directe warmtelevering, zie Figuur 20.

Figuur 20 - Warmteproductie, directe levering vs warmtepomp



De kostprijsvergelijking voor warmte voor zowel directe warmtelevering als warmteproductie met een warmtepomp is weergegeven in Figuur 21.

Figuur 21 - Kostprijs warmte, directe levering vs warmtepomp



In Figuur 21 is zichtbaar dat het elektriciteitsverbruik, vanwege de inzet van de warmtepomp, per saldo een groter aandeel heeft in de kostprijs voor warmte. Daarmee wordt de kostprijs ook gevoeliger voor variatie in de elektriciteitskosten.

Warmteproductie en afzet

Een kostprijs geoptimaliseerde LTA produceert veel warmte. Om deze warmte nuttig te kunnen inzetten is schaalgrootte nodig in de warmteafzet. Afhankelijk van de diepte, mate van uitkoeling, haalbare capaciteit en inzet van LTA varieert de benodigde schaalgrootte tussen de 1.000 en 2.500 woningequivalenten. Deze schaalgrootte ligt ordegrrootte factor 2 à 3 maal kleiner dan een regulier aardwarmteproject. De minimale schaalgrootte voor LTA is daarmee nog relatief groot. Dit komt voornamelijk doordat LTA met horizontale filters is geoptimaliseerd voor een relatief hoog onttrekkingsdebiet.

Een kleinere schaalgrootte is mogelijk door het realiseren van ondiepe geothermie met eenvoudige en relatief goedkope verticale bronnen tot een diepte tussen de 200 en 500 meter. De benodigde schaalgrootte ligt in dat geval tussen de 300 en 800 woningen. Zonder SDE-subsidie komt dit neer op een vergelijkbare kostprijs voor warmteproductie (tussen 12 en 15 €/GJ). Echter vanwege de dieptegrens tot 500 meter komt een dergelijk project niet in aanmerking op SDE-subsidie, waardoor dit vanuit financieel oogpunt een minder aantrekkelijke variant is.

Mate van uitkoeling door warmtepomp

De mate van uitkoeling door de warmtepomp heeft een grote invloed op de kostprijs van de geproduceerde warmte. Over het algemeen geldt dat naarmate de aardwarmte met een warmtepomp verder wordt uitgekoeld dit leidt tot een lagere kostprijs.

Hieronder zijn de resultaten weergegeven van de kostprijsberekening voor geproduceerde warmte bij verschillende temperatuurniveaus voor uitkoeling van de aardwarmte. De kostprijs is berekend voor centrale warmteproductie (bron en collectieve warmtepomp).

In de kostprijsberekening is geen rekening gehouden met subsidies of fiscale regelingen. Naast de invloed op de kostprijs is tevens de invloed op de SPF voor warmteopwekking berekend.

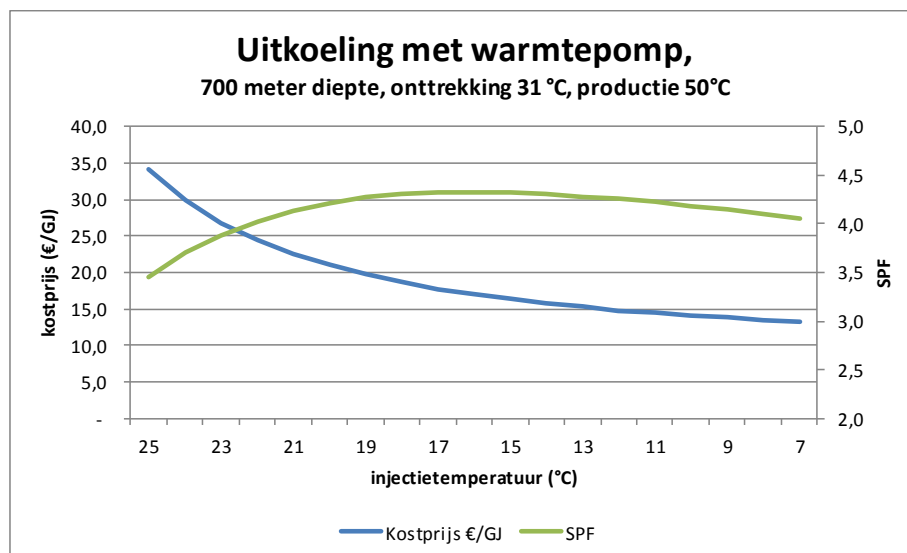
Voor de berekening zijn de uitgangspunten en aannames in Tabel 7 gehanteerd.

Tabel 7 - Uitgangspunten berekening kostprijs bij verschillende temperatuurniveaus voor uitkoeling

Parameter	Waarde	Eenheid
Diepte LTA	700	m-mv
Onttrekkingstemperatuur	31	°C
Productietemperatuur	50	°C
Debiet	300	m ³ /h
Vollasturen	4.000	h
Gemiddeld elektriciteitsstarief	0,075	€/kWh
Rente	6%	%
Investeringskosten bronsysteem	9.729.000	€
Investeringskosten warmtepomp	250	€/kW
Afschrijving LTA-putten	30	jaar
Afschrijving warmtepomp	15	jaar
Onderhoud en beheer LTA-doublet	185.000	€/jaar
Onderhoud en beheer warmtepomp	3% van investering WP	%

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Figuur 22.

Figuur 22 - Kostprijs en SPF in relatie tot uitkoeling aardwarmte



Figuur 22 bevestigt het beeld dat verdere uitkoeling leidt tot een lagere kostprijs. Dit komt doordat bij toenemende uitkoeling het productievermogen toeneemt en daarmee ook de warmteproductie. De toename in warmteproductie weegt vanuit financieel oogpunt op tegen de extra elektriciteitskosten als gevolg van de afname van de SPF van de warmtepomp.

Naarmate de aardwarmte verder wordt uitgeoeld neemt de SPF van de warmtepomp af. Dit effect wordt voor een deel gecompenseerd doordat de SPF van de LTA-putten toeneemt, vanwege het grotere temperatuurverschil. Netto neemt de overall SPF voor warmteopwekking wel beperkt af naarmate de aardwarmte verder wordt uitgeoeld. Bij warmteproductie van 50°C en een uitkoeling naar 7°C bedraagt de berekende totaal SPF voor warmteopwekking 4. Dit is vergelijkbaar met de energieprestatie van een individuele bodemgekoppelde warmtepomp en ligt hoger dan een individuele lucht/water warmtepomp (SPF circa 3,5).

Afhankelijk van de toepassing zal een optimum gevonden moeten worden tussen de te realiseren kostprijs en energieprestatie.

Kostprijs geproduceerde warmte in relatie tot diepte formatie

Afhankelijk van de aanwezigheid van geschikte formaties kan LTA worden toegepast op verschillende dieptes. De eigenschappen van de verschillende formaties, zoals dikte, diepte, doorlatendheid en temperatuur kunnen lokaal sterk variëren. Hierdoor is het niet mogelijk om een eenduidige kostprijs te berekenen van geproduceerde warmte uit LTA.

Om een indicatie te verkrijgen van de invloed van de diepteligging van de formatie op de kostprijs voor geproduceerde warmte zijn verschillende kostprijsberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn aannames gedaan ten aanzien van formatie eigenschappen op basis van de ondergrondse potentieel inschatting. In de kostprijsberekening is geen rekening gehouden met subsidies of fiscale regelingen.

Voor de berekeningen zijn de uitgangspunten in Tabel 8 gehanteerd:

Tabel 8 - Uitgangspunten berekening kostprijs warmte in relatie tot de formatiediepte

Parameter	Waarde	Eenheid
Productietemperatuur	50	°C
Vollasturen	4.000	h
Onttrekkingsdebiet LTA	300	m ³ /h
Retourtemperatuur LTA	8	°C
Gemiddeld elektriciteitsstarief	0,075	€/kWh
Rente	6%	
Afschrijving LTA-putten	30	jaar
Afschrijving warmtepomp	15	jaar

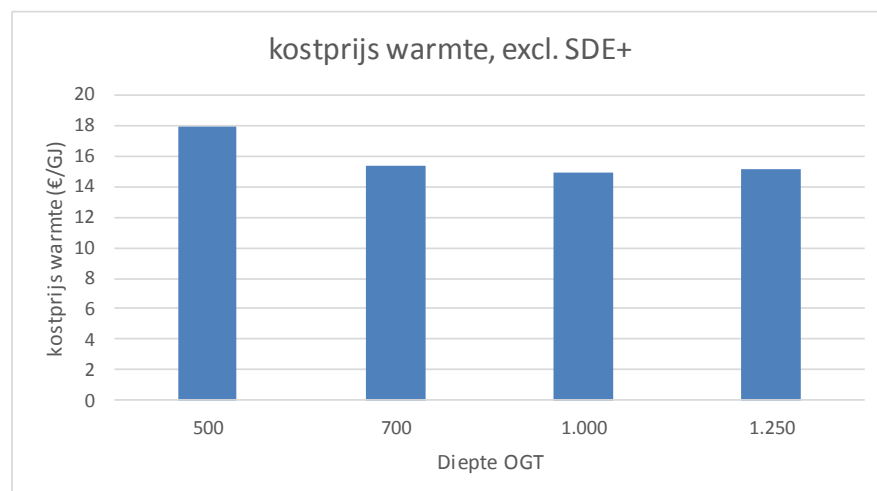
De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 - Resultaten kostprijsberekening warmte

Boordiepte (m)	500	700	1.000	1.250
Opvoerhoogte ESP (bar)	20	25	30	35
Tontrekking (°C)	23	31	40	49
COP WP (70% carnot)	4,8	4,8	4,8	4,8
COP LTA	17,2	21,1	24,5	26,9
Warmtepompvermogen (kW)	6.577	10.084	14.030	17.976
Warmteproductie (MWh)	26.306	40.336	56.120	71.904
Investeringskosten doublet (€)	8.209.000	9.729.000	13.027.000	18.059.000
Investeringskosten WP (€)	1.644.148	2.521.028	3.507.517	4.494.006
Investeringskosten totaal (€)	9.853.148	12.250.028	16.534.517	22.553.006
Kapitaallast (€/jaar)	765.661	966.373	1.307.541	1.774.682
Elektraverbruik LTA (kWh)	1.212.121	1.515.152	1.818.182	2.121.212
Elektraverbruik WP (kWh)	5.426.375	8.320.442	11.576.268	14.832.093
Energiekosten (€/jaar)	497.887	737.670	1.004.584	1.271.498
Onderhoud en beheer (€/jaar)	219.324	260.631	355.226	434.820
Kostprijs, zonder SDE (€/GJ)	18,0	15,3	15,0	15,1

Afhankelijk van de boordiepte varieert de kostprijs voor warmteproductie (50°C) met LTA in combinatie met warmtepompen tussen 15 en 18 €/GJ. Dit komt overeen met een kostprijs tussen 54 en 65 €/MWh.

Figuur 23 - Kostprijs warmte (50°C), inclusief warmtepomp, excl. SDE+



SDE+

De SDE+ stimuleert de productie van duurzame energie en richt zich op bedrijven en (non-profit) instellingen. De SDE+ is voor 2017 geopend op 7 maart jl. In de huidige SDE+ regeling is een budget van 6 miljard euro beschikbaar om projecten te ondersteunen.

Ten aanzien van de toepassing van geothermie zijn de volgende categorieën opgenomen:

- geothermiewarmte met een diepte van minimaal 500 meter;
- geothermiewarmte met een diepte van minimaal 3.500 meter;
- geothermiewarmte met een diepte van minimaal 500 meter, waarbij voor één of beide putten van het doublet gebruik wordt gemaakt van bestaande olie- of gasputten;
- geothermiewarmte, waarbij uitbreiding van een productie-installatie plaatsvindt met tenminste één aanvullende put met een diepte van minimaal 500 meter.

De SDE-regeling vergoedt de onrendabele top: het verschil in kostprijs tussen de referentie en de geothermische installatie. Voor geothermie levert dit in 2017 een bijdrage op van circa 11,40 €/GJ geleverde warmte. Het is een subsidie die voor vijftien jaar wordt vastgelegd. De hoogte van het subsidiebedrag wordt ieder jaar gecorrigeerd aan de hand van de energieprijzen.

Voor LTA kan gebruik worden gemaakt van de SDE+ regeling vanaf een diepte van 500 meter. Voor LTA is de huidige 500 metergrens binnen de SDE-regeling een aandachtspunt. Het is denkbaar dat juist op ondiepere lagen geschikte formaties aanwezig zijn waaruit aardwarmte kan worden onttrokken. Daarnaast is de huidige SDE-regeling voornamelijk opgezet vanuit de referentiesituatie binnen de glastuinbouwsector. Het verdient de aanbeveling om zowel de 500 metergrens als de specifieke toepassing voor de gebouwde omgeving nader tegen het licht te houden.

2.7 Globale businesscase

De financiële haalbaarheid van LTA is moeilijk eenduidig vast te stellen. Dit hangt af van meerdere factoren, zoals energieprijzen, systeemconcept, bodemgeschiktheid, diepte, afzetgebied, vereiste temperatuurniveaus, etc.

Zeker in de bestaande bouw is de financiële haalbaarheid ook sterk afhankelijk van de kosten die in de woningen gemaakt moeten worden om de woningen gereed te maken voor koppeling aan een warmte-infrastructuur, alsmede de bouwkundige maatregelen om de woningen op een lager temperatuurniveau te verwarmen.

Om een heel globaal inzicht te geven in de financiële haalbaarheid van LTA is een vereenvoudigde businesscase doorgerekend. Het doel van deze businesscase is om op hoofdlijnen inzicht te geven in de energie- en geldstromen, alsmede een indicatie te verkrijgen van de economische haalbaarheid van LTA voor de gebouwde omgeving.

Opgemerkt dient te worden dat de financiële input voor de berekeningen is gebaseerd op basis van globale kentallen en inputparameters. De verwachte nauwkeurigheid bevindt zich binnen een bandbreedte van +/- 30%. Daarnaast is er geen rekening gehouden met locatiespecifieke eigenschappen, waardoor kosten in werkelijkheid hoger of lager kunnen uitvallen.

De focus voor de uitwerking van de businesscase ligt op de bestaande woningbouw.

Het energieconcept is als volgt gedefinieerd:

- LTA-doublet met een capaciteit van 300 m³/h, diepte 600 meter;
- primair distributienet, geïsoleerde kunststof leidingen, van LTA-bron naar warmtepompcentrales;
- decentrale warmtepompcentrales op gebouw/buurniveau;
- opwekking van lagetemperatuurwarmte, maximaal 55°C;
- secundair warmtenet vanaf warmtepompcentrales naar afleversets in de woningen;
- afleversets in de woningen, gecombineerd met boosterwarmtepompen voor bereiding van warm tapwater;
- aardgasvrij energieconcept: geen gasgestookte piekvoorziening.

De businesscase is als volgt opgezet:

1. Het afzetgebied (aantal aangesloten woningen) is bepaald door de aansluitvermogens van de woningen overeen te laten komen met de beschikbare capaciteit van een enkel LTA-doublet, rekening houdend met gelijktijdigheidsfactoren en eventuele aanvullende maatregelen voor peak shaving.
2. Op basis van het aantal aangesloten woningen en verbruikskentallen is de energievraag bepaald, rekening houdend met rendementen voor warmtepompen en distributieverliezen.
3. De investeringskosten voor de verschillende componenten van de energievoorziening (LTA-doublet, warmtepompen, piekvoorziening, distributienet, aansluitsets, etc.) zijn geraamd op basis van kengetallen.
4. De exploitatiekosten van de energievoorziening (inkoop elektriciteit, gas, onderhoud en beheer) zijn geraamd.
5. De jaarlijkse bijdragen uit de SDE-subsidie (indien van toepassing) zijn als inkomsten meegenomen in de berekening conform de SDE+ 2017 regeling voor geothermie.
6. De jaarlijkse vermeden vaste en variabele kosten (referentiekosten) zijn als inkomsten meegenomen in de berekeningen op basis van de maximale tarieven van de Warmtewet 2017 (NMDA).
7. Er is rekening gehouden met een eenmalige aansluitbijdrage die gelijk is gesteld aan een reguliere aansluitbijdrage voor stadswarmte.
8. Tot slot is berekend welk financieel rendement (IRR) behaald kan worden met de exploitatie van de gasloze energievoorziening.

Tabel 10 - Uitgangspunten businesscase

Woningen		
Gemiddelde warmtevraag woning t.b.v. ruimteverwarming	30	GJ
Gemiddelde warmtevraag woning t.b.v. tapwater	7,5	GJ
Aansluitvermogen gemiddelde woning	8	kW _t
Gelijktijdigheid bij collectieve warmteopwekking	60 %	
LTA-doublet		
Diepte LTA-doublet	600	m
Maximaal debiet LTA-doublet	300	m ³ /h
Onttrekkingstemperatuur	27	°C
Infiltratietemperatuur	8	°C
Pompvermogen LTA-doublet	333	kW _e
Distributie		
Transportverlies primair distributienet	20%	
Transportverlies secundair warmtenet	8%	
Warmtepompen		
COP collectieve warmtepomp	4,5	
COP booster warmtepomp	4,5	
Financiële uitgangspunten		
Elektriciteitsstarief, incl. transportkosten	75	€/MWhe
Eenmalige aansluitbijdrage	4.500	€/woning
Jaarlijkse indexering variabele gas/warmteprijs	5%	
Jaarlijkse indexering overige kosten en opbrengsten	2%	

Op basis van de bovenstaande uitgangspunten volgen de volgende resultaten:

- met het beschikbare vermogen uit een enkel LTA-doublet en rekening houdend met gelijktijdigheid kunnen 1.770 woningen worden aangesloten;
- rekening houdend met omzettingsrendementen van de warmtepompen en warmteverliezen in de distributienetten wordt jaarlijks circa 67.000 GJ lagetemperatuuraardwarmte onttrokken ten behoeve van warmtelevering aan de woningen;
- het LTA-doublet wordt ingezet met ruim 2.800 equivalente vollasturen per jaar.

Voor de hoofdonderdelen zijn de volgende investeringskosten aangehouden:

Tabel 11 - Investeringskosten

Onderdeel		Investering
LTA-doublet	€	8.559.000
Collectieve warmtepompen	€	4.250.000
Individuele booster warmtepompen	€	5.568.000
Afleversets	€	2.125.000
Distributie (primair en secundair)	€	7.084.000
Ontwerp en advieskosten	€	1.148.000
Onvoorzien	€	2.883.000
Subtotaal investeringskosten	€	31.617.000
Opbrengsten ISDE-subsidie booster warmtepompen	€	-/ 2.125.000
Investeringskosten	€	29.492.000
Aansluitbijdragen	€	-/ 7.970.000

De totale stichtingskosten voor het LTA-systeem, inclusief distributie en warmtepompen t/m de afleversets in de woningen zijn geraamd op een bedrag van ruim € 18.000 per woning, zonder aansluitbijdragen, subsidies en fiscale regelingen (ISDE en EIA).

De geraamde jaarlijkse exploitatiekosten zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 - Jaarlijkse exploitatiekosten

Onderdeel		Kosten
Elektriciteitskosten LTA-doublet	€	70.000
Elektriciteitskosten distributie	€	14.000
Elektriciteitskosten collectieve warmtepompen	€	320.000
Elektriciteitskosten booster warmtepompen	€	61.000
Onderhoud en beheer LTA-doublet	€	170.000
Onderhoud en beheer collectieve warmtepompcentrales	€	128.000
Onderhoud en beheer afleversets en boosterwarmtepompen	€	96.000
Onderhoud en beheer distributie	€	35.000
Administratie en projectmanagement	€	89.000
Totale jaarlijkse exploitatiekosten	€	983.000

In de doorrekening van businesscase is rekening gehouden met de volgende subsidies en fiscale regelingen:

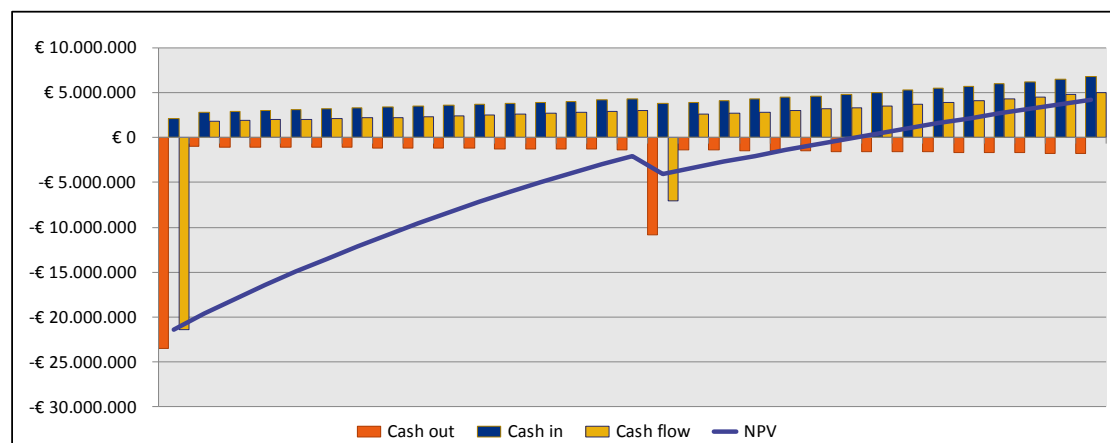
- inkomsten uit de SDE+ regeling op basis van de huidige regeling en 2.820 vollasturen per jaar;
- ISDE-subsidie op de booster warmtepompen (€ 1.200 per warmtepomp);
- EIA op de collectieve warmtepompen (13,5% op maximaal 200 €/kW).

De jaarlijkse inkomsten zijn gebaseerd op het NMDA-principe en zijn als volgt meegenomen:

Tabel 13 - Jaarlijkse inkomsten warmtelevering

Onderdeel		Kosten
Vastrecht warmte (incl. inkomsten afleverset en meetkosten)	€	787.000
Variabele inkomsten voor warmtelevering (18,75 €/GJ)	€	1.245.000
Inkomsten uit SDE+ subsidie	€	764.000
Totale jaarlijkse exploitatiekosten	€	2.796.000

Figuur 24 - Overzicht cashflow en NPV



Uit de NCW-berekening volgt een IRR van 9,8%. Daarmee is een hoger rendement haalbaar dan de gestelde 8%.

Opmerkingen:

- *Kosten voor bouwkundige aanpassingen in de gebouwen die nodig zijn voor het inbrengen van de warmte-infrastructuur zijn niet meegenomen in de businesscase. Deze kosten zijn afhankelijk van de specifieke situatie en benodigde aanpassingen en kunnen niet generiek worden geraamd.*
- *Deze kosten voor eventueel benodigde aanpassingen aan afgiftesystemen in de woningen en aanvullende isolerende maatregelen voor toepassen van lagetemperatuurwarmte zijn niet meegenomen in de businesscase.*
- *Het aanbrengen van warmte-infrastructuur in een bestaande woonwijk kan zeer complex zijn. In de businesscase is gerekend met een aanname van € 4.000 per woning voor de warmte-infrastructuur (primair en secundair). Deze kosten kunnen in werkelijkheid hoger of lager uitvallen, afhankelijk van de lokale omstandigheden.*
- *De businesscase biedt ruimte tot verdere verbetering door het toevoegen van een goedkope piekvoorziening (momenteel is dat een gasgestookte piekkel), of toepassen van aanvullende maatregelen voor peak shaving, zoals bijvoorbeeld thermische buffering in combinatie met intelligente vraagsturing. Dit vereist nader onderzoek.*
- *Bij stijgende gasprijzen zal vanwege de koppeling van de gasprijs aan de warmteprijs, middels het NMDA-principe, de financiële rentabiliteit toenemen. In de businesscase is rekening gehouden met een jaarlijkse prijsstijging van 5%. Dit ligt 3% hoger dan de aangehouden inflatiecorrectie. Dit is een redelijke aanname, aangezien de langjarige historische prijsontwikkeling van aardgas voor consumenten op basis van CBS-gegevens over de periode 1996 t/m 2017 een gemiddelde jaarlijkse verhoging laat zien van 5,1%. Waarschijnlijk is deze aanname nog conservatief, gezien de afspraken uit het regeerakkoord 2017-2021 om de energiebelasting op aardgas jaarlijks te verhogen. Hiertegenover staat echter de discussie om op termijn de warmteprijs los te koppelen van de aardgasprijs, omdat het NMDA-principe op termijn niet meer houdbaar is. Daarom is de prijsontwikkeling van aardgas en daarmee het warmtetarief redelijk conservatief aangehouden.*

2.8 Kansen en beperkingen

2.8.1 Geschikte sectoren

Het LTA-concept kan worden toegepast in nieuwbouw en bestaande bouw waarbij hoofdzakelijk een warmtevraag aanwezig is. Binnen de gebouwde omgeving is voornamelijk de woningbouw een interessante afzetmarkt. Daarnaast zijn overige grootschalige warmtevragers van relatief lage-temperatuurwarmte (< 70°C) potentieel geschikte afnemers, zoals bijvoorbeeld de glastuinbouwsector.

Indien er naast een warmtevraag ook een significante koudevraag aanwezig is, bijvoorbeeld in de utiliteit, zijn alternatieve concepten, zoals WKO of het Mijwater-concept geschikter, omdat bij die concepten warmte en koude onlosmakelijk met elkaar verboden zijn.

2.8.2 SWOT-analyse

Om inzicht te verkrijgen van de positie die LTA kan innemen binnen de energietransitie is een SWOT-analyse opgesteld. Hierin wordt ingegaan op de sterkten en zwakten van de technologie. Dit zijn voornamelijk interne factoren die van belang zijn voor de toepassing van de technologie. Tevens wordt ingegaan op de kansen en met betrekking tot de marktpositie van de technologie. Dit zijn vooral externe factoren waarop slechts beperkt invloed kan worden uitgevoerd. De resultaten van de SWOT-analyse zijn als volgt weergegeven:

Sterkten	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Goed toepasbaar bij LTV - Groot potentieel - Op veel locaties toepasbaar - Geen concurrentie met ander bodemgebruik - Kleinschaliger dan geothermie & industriële restwarmte - Eenvoudig te ontwikkelen ondieper dan 500 meter - Beschikbare technieken voor mitigeren onzekerheid geologie (GDD) - Minder ruimte nodig voor boortoren, eenvoudiger toe te passen in een stad - Risico's minder dan bij gewone geothermie (boordiepte, aanwezigheid gas, watersamenstelling, etc.) - Koppeling mogelijk met lokale duurzame elektriciteit (EMG) - In combinatie met warmtepompen zijn hoge temperaturen haalbaar daardoor aansluiting bij groot deel bestaande bouw - Geen NIMBY 	<ul style="list-style-type: none"> - Grote schaalgrootte nodig (groter dan 'all electric' bijvoorbeeld, tussen de 1.000 en 2.500 woningequivalenten indien dieper dan 500 meter) - Onzekerheid over geologie (weinig bekend tussen 250-1.250 meter) - Beperkte uitvoeringscapaciteit (kennis- en uitvoerings-bedrijven) - Warmtepomp nodig, daardoor lager EOR - Minder geschikt voor utiliteit vanwege koudevraag - Veiligheidsrisico a.g.v. grotere diepte leidt tot hogere kosten - Gebrek aan regie/ondergrondse ruimtelijke ordening - Weinig praktijkervaring met warmte-/waterwinning van deze dieptes - Nog niet gedemonstreerd dieper dan 250 meter - Niet op gebouwniveau voor meeste gebouwen - Uitputting geothermie reservoir
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - 'Van gas af' beweging, Parijs klimaatakkoord, Energieagenda, etc. creëren een markt voor warmte zonder aardgas - Oude gasnetten worden in de toekomst niet meer vervangen - Exportkansen kennis en expertise - Grote behoefte aan lokale bronnen van duurzame warmte - SDE+ voor geothermie en RNES-aardwarmte maakt businesscase > 500 m aantrekkelijk - BENG-normen maken LTA interessant indien gebiedsgerichte maatregel - Daling kosten warmtepompen en toenemende rendementen door techniekontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> - Concurrentie van individuele oplossingen (WP L/W, B/W) - Organisatorisch complex (veel betrokken partijen) - Mogelijke stijging elektriciteitsprijs (i.v.m. warmtepomp) - Grotere schaalgrootte bij e-zuinigere nieuwbouwwoningen - Geen SDE+ tot 500 meter - Publieke opinie collectief net - Twee vergunningsregimes (Waterwet/Mijnbouwwet) op het grensvlak - Warmtewet kan knellend zijn (storing, vast/variabel)

2.8.3 Invloed financieel instrumentarium en wet- en regelgeving

Het bestaande financieel instrumentarium heeft een belangrijke sturende werking op de al dan niet succesvolle marktontwikkeling van LTA en het Mijwater-concept.

SDE+ voor aardwarmte en 500 m-grens

Voor geothermie dieper dan 500 m-mv is op dit moment de SDE+ van toepassing. Hiermee worden de lagen tussen 0 en 500 m-mv ten onrechte achtergesteld qua toepassing voor duurzame warmtevoorziening. Onlangs heeft BodemenergieNL samen met IF de volgende input geleverd aan ECN om mee te nemen in het advies aan EZ betreffende de SDE+ 2018:

- *De dieptegrens van 500 m-mv (meter diep onder het maaiveld) is onwenselijk. Deze dient zo ver als praktisch mogelijk is omhoog gebracht te worden, bij voorkeur tot maaiveld.*
- *Warmtewinning en -opslag is cruciaal bij het verduurzamen van gebouwen en warmtenetten en het utiliseren van restwarmte en duurzame bronnen van warmte. Er zijn in NL veel lagen aanwezig boven de 500 m die geschikt zijn voor de (opslag en terug) winning van warmte.*
- *Conventionele bodemenergie-opslagsystemen leveren warmte en koelcapaciteit en kunnen op dit moment in grote capaciteittoepassingen zonder SDE+ omdat de levering van koude aan utiliteitsbouw financieel aantrekkelijk is. In de kleinere utiliteit en in de woningbouw is echter relatief weinig koudevraag of zelfs alleen maar warmtevraag zonder koudevraag, waardoor bodemenergie financieel niet rendabel is als NMDA-tarieven worden gehanteerd. Daarom is behoefte aan financiële ondersteuning zodat ook woningen en kleinere utiliteit kostenefficiënt kunnen worden verduurzaamd.*
- *De omvang van de ruimte voor het boren is voor geringere diepte veel kleiner, en daarmee is deze vorm van geothermie eerder toepasbaar in de (bestaande) gebouwde omgeving.*
- *De kostprijs van de geleverde warmte uit lagen boven de 500 m-mv ligt ongeveer in dezelfde orde van grootte als de kostprijs van warmte van grotere diepte, ondanks de lagere temperatuur, omdat de putten goedkoper kunnen zijn en de grondwaterflow hoog, terwijl de risico's laag zijn.*
- *De schaalgrootte van de benodigde warmteopslag kan per project variëren. Het toegankelijk maken van ondiepe lagen vereenvoudigt de marktintroductie sterk, m.n. in de gebouwde omgeving.*
- *Warmtepompen voor individuele woningen worden nu via de ISDE gestimuleerd. Projecten van iets grotere omvang met levering van duurzame warmte uit lagen < 500 m-mv diep, vallen nu tussen wal en schip: geen ISDE en geen SDE+, evenals gestapelde woningbouw, terwijl dat juist de grootste groep van gebouwen is en daarmee de grootste besparingspotentie omvat (Agterberg, 2016).*
- *Potentiële nadelen, en de mitigatie:*
 - *Ondergrondse interactie van warmtewinning projecten met bodemenergie: Dit kan op provinciaal/gemeentelijk niveau afgestemd worden; er lijken technisch gezien geen redenen om de grens niet naar het maaiveld te verleggen. Er is al regelgeving voor interacties tussen bodemenergiesystemen onderling. Daar kunnen warmteopslag/-winningsprojecten in meegenomen worden*
 - *Het juridisch kader: boven de 500 m-mv zijn de Waterwet, Wet milieubeheer en Wabo van toepassing i.p.v. de Mijnbouwwet die voor mijnbouwactiviteiten van toepassing is. De Waterwet laat een thermische onbalans toe, zolang het om afkoeling van de ondergrond (netto warmtewinning) gaat. Dus juridisch lijkt er op voorhand geen showstopper te zijn.*
- *Potentieel: de temperatuur is lager dus het winbaar potentieel per m aquifer-dikte is minder dan van geothermie op grotere diepte. Op lange termijn is het winbare warmtepotentieel daardoor relatief beperkt, maar voor het opstarten van lokale duurzame warmteprojecten kan het een belangrijke rol spelen. Ook kan het systeem worden ingezet als een warmteopslag, als meer restwarmte en/of zonnewarmte en/of warmte uit oppervlaktewater beschikbaar komt.*

Een fasering van de investeringen met de groei van het warmtenet is zeer gewenst en kan op deze manier ingevuld worden.

Feitelijk worden bovenstaande adviezen aan ECN nadrukkelijk onderschreven door de conclusies die uit onderhavig onderzoek getrokken mogen worden. Het potentieel van lagen tussen de 0 en 500 m-mv is aanzienlijk, de kostprijs van warmte daaruit kan mogelijk concurreren met 'gewone' geothermie en warmtewinning van geringere dieptes heeft veel voordelen, zoals kleinere schaalgrootte, lagere risico's en minder ruimtebeslag voor boren in stedelijk gebied.

ISDE voor collectieve warmtepompen

Naast de SDE+ is ook de ISDE van belang (zie ook het advies aan ECN boven). De ISDE stimuleert kleinschalige decentrale warmtepompen, ten nadele van grootschalige collectieve warmtepompen. LTA-projecten boven de 500 m en projecten volgens het Mijwater-concept, waarbij gebruik wordt gemaakt van grootschalige collectieve warmtepompen vallen nu buiten structurele subsidie-regelingen. Gezien het potentieel en de relatief lage kostprijs van warmte die deze systemen kunnen leveren is het wenselijk dat het gat tussen ISDE enerzijds en SDE+ anderzijds wordt gedicht.

Waterwet en Mijnbouwwet in relatie tot veiligheid

Tot een diepte van 500 meter zijn aardwarmteprojecten uitgezonderd van de Mijnbouwwet en vallen deze onder de Waterwet. Voor boringen dieper dan 500 meter is de Mijnbouwwet van toepassing. Geconstateerd wordt dat er grote verschillen zijn tussen deze regimes op het gebied van veiligheids-eisen en -procedures. Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken wat de verschillen zijn tussen de beide regimes in relatie tot mogelijke veiligheidsrisico's, met als doel om de wet- en regelgeving en beheersmaatregelen voor mogelijke veiligheidsrisico's beter op elkaar aan te laten sluiten.

3 Mijnwater – Smart Thermal Grid

In dit hoofdstuk wordt Mijnwater uitgewerkt. Sinds het eerste begin van het concept heeft er doorontwikkeling plaatsgevonden. De huidige versie laat zich het beste beschrijven als een *smart thermal grid* in combinatie met geothermische buffers. De focus in dit hoofdstuk ligt bij het uitwerken van de fysieke eigenschappen van het smart thermal grid, en de rol die buffering daarin op zich neemt (met name Mijnwater 2.0). De intelligentie van het systeem is op het moment van schrijven nog vol in ontwikkeling, waardoor een adequate beschrijving daarvan niet opportuun is in deze rapportage (met name Mijnwater 3.0).

3.1 Kernpunten

Het Mijnwater-concept kenmerkt zich door de volgende kernpunten:

- uitwisseling van warmte en koude door middel van een LT-warmtenet: aangesloten gebouwen kunnen zowel aanbieder als afnemer zijn: *prosumers*;
- vraagzijde-gestuurd;
- verschillende temperatuurregimes;
- combinatie met ondergrondse of kunstmatige buffering;
- nuttige toepassing van laagwaardige restwarmte en/of -koude uit de industrie;
- groot potentieel van mogelijke restwarmte- en restkoudebronnen;
- groot potentieel van invoegen hernieuwbare warmte- en koudebronnen.

3.2 Beschrijving van het concept

Het Mijnwater-concept is gebaseerd op het energienet dat Mijnwater B.V. in Heerlen heeft ontwikkeld. Om het concept te beschrijven gebruiken we veelvuldig Mijnwater B.V. als voorbeeld, maar het concept staat hier verder los van.

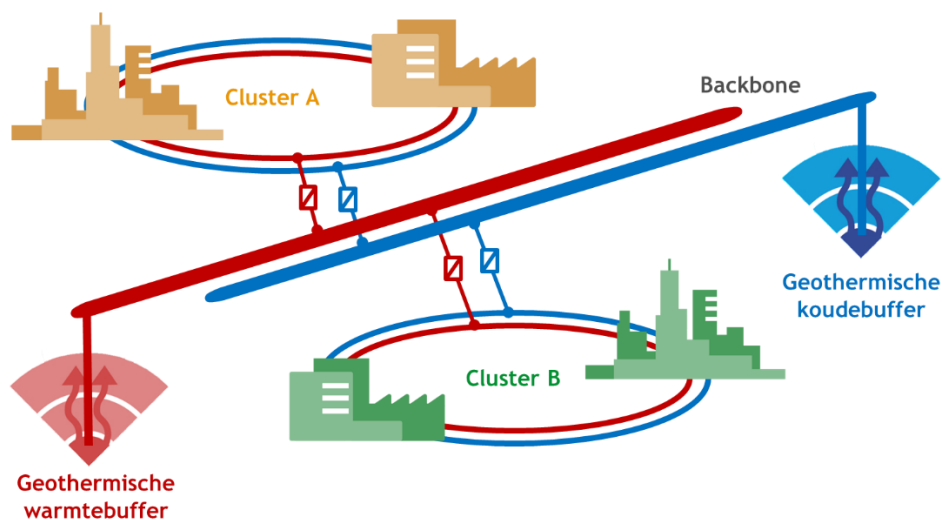
Mijnwater B.V. is in 2003 in Heerlen begonnen met het ontwikkelen en realiseren van een innovatief concept voor winning, uitwisseling en distributie van zowel duurzame warmte op een lage temperatuur (28-30°C), als duurzame koude op een hoge temperatuur (16-18°C) via een thermisch energienet. Dit thermische energienet bestaat uit meerdere niveaus en clusters, en vormt de basis voor warmte- en koudelevering op zeer diverse temperatuurniveaus. In de realisatie van het Mijnwater-concept in Heerlen wordt de voormalige Oranje-Nassaumijn gebruikt als geothermische buffer, hieraan ontleent het Mijnwater-concept haar naam. Voor het concept, zoals dat ook buiten Heerlen kan worden toegepast, kan ook met ander typen buffers worden volstaan. In Figuur 25 is schematisch de opzet van het energienet in het Mijnwater-concept weergegeven, in dit geval met geothermische buffers zoals dat ook in Heerlen is toegepast.

In het Mijnwater-concept wordt thermische energie op een lage temperatuur gedistribueerd. Deze energie kan als warmte en/of koude vervolgens bij de afnemer op drie verschillende manieren worden ingezet:

- Lage temperatuur (~30°C): de warmte uit de backbone/clusters wordt (min of meer) rechtstreeks ingezet voor de verwarming van de gebouwen. De gebouwen dienen hiervoor goed geïsoleerd te zijn. Dit zijn bijvoorbeeld nieuwbouwwoningen of tot een A-label of beter gerenoveerde bestaande woning, met een lagetemperatuurafgiftesysteem zoals vloerverwarming. In deze situatie dient er een aparte invulling worden gegeven voor de productie van warm tapwater. Daarnaast kan vanuit de Mijnwater-infrastructuur koeling worden geleverd.

- Middentemperatuur (~60°C): de warmte uit de backbone/clusters wordt door middel van een decentrale of individuele warmtepomp opgewaardeerd naar de gewenste temperatuur. Veel bestaande woningen die reeds energiebesparende maatregelen hebben getroffen (bijvoorbeeld een C- of B-label) kunnen met behulp van warmte van 60°C adequaat verwarmd worden met de huidige afgiftesystemen (radiatoren). Door het temperatuurniveau van de warmtepomp is deze ook in staat het warm tapwater te produceren. Daarnaast kan vanuit de Mijwater-infrastructuur koeling worden geleverd.
- Hoge temperatuur (~90°C): slecht of beperkt geïsoleerde gebouwen kunnen in hun *basislast* van warmte voorzien door een warmtepomp die op de middentemperatuur werkt. Om in voldoende warmte te voorzien worden de warmtepompen constant ingezet. In gevallen dat dit onvoldoende capaciteit of comfort biedt kan een aanvullende voorziening, bijvoorbeeld op basis van aardgas (conventionele CV-ketel) of eventueel een elektrische boiler oplossing bieden. In de situatie van een gasketel voor de productie van piekwarmte is een aansluiting op een gasnet dus nog steeds noodzakelijk. Gedurende een transitiefase bij de bestaande bouw kan met deze structuur worden begonnen en wanneer in verloop van tijd de woningen beter worden geïsoleerd, kan de stap naar middentemperatuur worden gezet. In sommige gebouwen is het mogelijk om door aanpassing van het ventilatiesysteem de luchtkwaliteit (en vochthuishouding) te verbeteren, waardoor er aanzienlijk minder warmte verloren gaat en een afgiftesysteem op een lagere temperatuur mogelijk is.

Figuur 25 - Vereenvoudigde schematische weergave van de opzet van het Mijwater netwerk zoals dat in Heerlen is gerealiseerd met geothermische buffers



Opmerking: Het daadwerkelijke Mijwater-energienet in Heerlen is complexer en bevat bovendien vier clusters in plaats van twee. Door middel van warmtewisselaars is het water uit de clusters gescheiden van het water in de backbone.

Ontwikkeling Mijwater

Mijwater 1.0

In de periode 2006-2008 zijn vijf putten geboord in de oude mijnen in Heerlen. Deze hadden tot doel om de warmte en koude te onttrekken voor levering aan afnemers. Deze opzet kende een aantal beperkingen welke de langetermijnontwikkeling van Mijwater belemmerde, waaronder: thermische

uitputting van de bronnen¹, beperkte capaciteit van de bronnen, geen uitwisseling tussen afnemers, aanbodgestuurde klantpropositie.

Mijnwater 2.0 – Smart Thermal Grid

Om de belemmering van 1.0 weg te nemen, werd 2.0 ontwikkeld. Hierin staat niet een aanbodgedreven, maar een vraaggedreven klantpropositie centraal. In de praktijk betekende dit dat Mijnwater niet meer ‘slechts’ energie (warmte en koude) leverde aan de afnemers, maar uitwisseling tussen afnemers mogelijk maakte. Hierbij werd het Mijnwater niet meer als bron gebruikt, maar als buffer. Om dit voor elkaar te krijgen zijn aansluitingen geografisch gegroepeerd in clusters, waarbij elke aansluiting zowel een afnemer als opwekker van thermische energie is. Deze clusters zijn verbonden met een backbone, welke op zijn beurt weer de geothermische buffers verbindt.

Mijnwater 3.0 – Smart Thermal Grid

Op dit moment wordt gewerkt aan de 3.0-versie van Mijnwater. Deze vervolgstap op 2.0 kenmerkt zich door het slimme aansturen van de thermische stromen in het netwerk op basis van tijd en buffering. Dit slimme thermische net moet zowel rekening houden met de energiebehoefte en timing van die behoefte van de verschillende afnemers, als het herkennen van vraagpatronen, gecombineerd met weersverwachtingen. Het toevoegen van de intelligentie aan 2.0 moet in 3.0 een aanzienlijke rendementsverbetering in het systeem geven.

Onderscheid ten opzichte van alternatieven

In vergelijking met een conventioneel warmtenet werkt het energienet in het Mijnwater-concept vanuit de vraagzijde: er wordt alleen warmte/koude verpompt als daar vraag naar is. Bovendien worden ook alle beschikbare reststromen aan energie nuttig gebruikt en wordt warmte en koude opgeslagen in buffers als er meer aanbod is dan vraag. Hierdoor wordt er veel efficiënter met energie omgegaan en is het energienet van een Mijnwater-concept geen klassiek bronnet; want aangesloten gebouwen leveren ook energie terug: het worden prosumenten in plaats van consumenten. Het Mijnwater-energienet is hierdoor anders, innovatiever ontworpen dan reguliere warmtenetten, maar wat betreft de hardware niet of nauwelijks technisch complexer; in het Mijnwater-concept kan gebruik worden gemaakt van bestaande technieken in nieuwe configuraties.

Daarnaast biedt een laagtemperatuurenergienet, zoals in het Mijnwater-concept, een véél grotere mogelijkheid voor het aansluiten van een grote spreiding van restwarmte- en restkoudebronnen. Bij een conventioneel warmtenet dient de restwarmte minimaal de hoge temperatuur te hebben (90-120°C), waardoor slechts een beperkt aantal bronnen geschikt is. Bij laagtemperatuur distributie is (in het geval van warmte) een minimale temperatuur van 28-30°C nodig. Hierdoor wordt een zeer groot potentieel van restwarmtebronnen ontsloten, zoals datacenters, koel- en vrieshuizen, kassen of schaatsbanen. Een bijkomend voordeel is dat de energieverliezen van transport van warmte aanzienlijk lager zijn dan bij de warmtenetten met hoge temperatuur. Daarnaast is het ook nog steeds mogelijk om op hogere temperaturen in te voeden; hiermee stijgt juist de capaciteit van het energienet.

Het Mijnwater-concept lijkt sterk op het gebieds-WKO-concept (DATES) dat wordt toegepast bij een aantal gebieden waar veel grotere gebouwen staan met zowel koude- en warmtevraag. Voorbeelden hiervan zijn te vinden bij de TU Eindhoven, Uithof Utrecht, Overhoeks Amsterdam, etc. Ook hier wordt een smart thermal grid gekoppeld aan een geothermische buffer.

¹ Concreet betekende dit, dat in de specifieke situatie van Heerlen, een langetermijntoepassing van LTA niet mogelijk was. Dit geldt echter niet voor de mogelijkheden zoals die zijn geanalyseerd in Hoofdstuk 2.

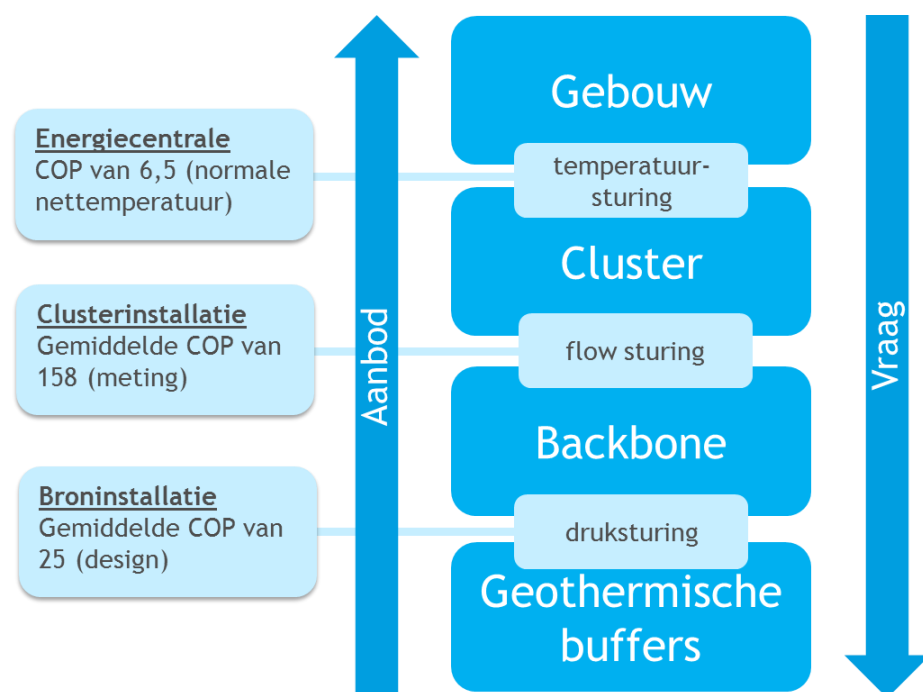
3.3 Technische aspecten

Mijnwater streeft naar optimaal gebruik van energie met zo min mogelijk exergieverlies, door:

- gebruik te maken van reststromen;
- zo min mogelijk conversiestappen in het proces;
- warmte/koude zo dicht mogelijk bij de bron gebruiken;
- slim en efficiënt ontworpen installaties;
- eigen beheer en inzet over de energiecentrales;
- vraaggestuurd opereren.

Alle installaties tussen de verschillende elementen van de Mijnwater-infrastructuur (gebouw, cluster en bronnen) zijn voorzien van geavanceerde procesbesturingssystemen die autonoom kunnen functioneren op basis van de vraag van de eindgebruiker. De infrastructuur, de automatisering en de bijbehorende systemen met hun COP zijn schematisch weergegeven in Figuur 26.

Figuur 26 - Vraagsturing en technische installaties in de Mijnwater-keten zoals toegepast in Heerlen



Bron: Naar Verhoeven et al., 2014; gegevens installaties uit (Verhoeven & Eijdens, 2016).

3.3.1 Warmtebron tot afleversysteem

Zoals in de vorige paragraaf is besproken zijn er zeer diverse soorten warmte- en koudebronnen mogelijk die kunnen invoeden op het energienet van een Mijnwater-concept. In het voorbeeld van Heerlen wordt onder meer gebruik gemaakt van:

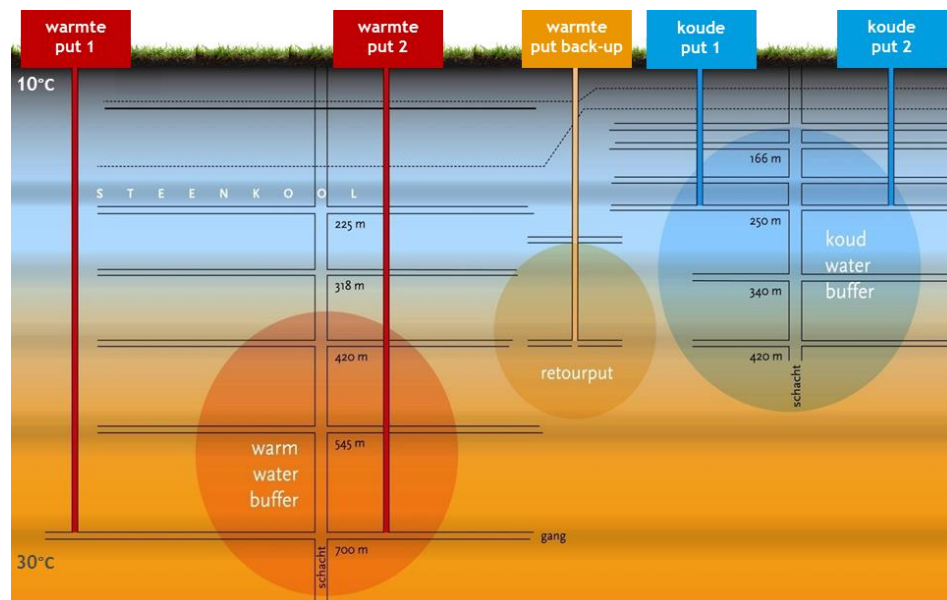
- warmte en koude uit geothermische warmtebuffers (deels gebufferde warmte en deels geothermisch gewonnen warmte en koude);
- restwarmte van een datacentrum, een supermarkt, kantoorgebouwen en een appartementencomplex door energie-uitwisseling;

De mijngangen in Heerlen zijn in de loop der tijd volgelopen met grondwater dat door de aarde is opgewarmd. Hoe dieper in de mijn, hoe warmer het water. Om dit warme water uit de mijn te

onttrekken werden er twee putten geboord van 700 m diep, hier heeft het water een temperatuur van ongeveer 28°C. Enkele kilometers verderop werden er ook twee putten geboord van 250 m diep, die dienden als koudwaterbron met een temperatuur van 16°C. Zo kan naast warmte ook koude worden geleverd en gebufferd om gebouwen te koelen. Figuur 27 geeft een schematische weergave van de situatie in de ondergrond van Heerlen.

In het nieuwste Mijwater-concept van Mijwater B.V. worden de mijnbronnen niet primair gebruikt als bron voor warmte en koude, maar als buffer voor opslag en hergebruik van (rest)warmte en koude. Tevens worden de putten in de toekomst bi-directioneel gemaakt (zowel onttrekken als injecteren van water) voor back-up en capaciteitsuitbreiding. De focus ligt op energie-uitwisseling en bufferen, in plaats van unilateraal energie onttrekken. Hiermee is ook het risico op uitputting van de geothermische Mijwaterbronnen voorkomen. Het zijn dus feitelijk geothermische buffers. De geothermische buffers zijn aangesloten op de backbone van het Mijwater-energienet.

Figuur 27 - Schematische weergave van de ondergrondse situatie van Mijwater



Opmerking: De retourput is in het nieuwe Mijwater-concept buiten gebruik (het heeft nu alleen back-upfunctie).

De backbone is via een warmtewisselaar fysiek gescheiden van de clusternetwerken, dit zijn gesloten netten die gebouwclusters voorzien van warmte/koude. Binnen een clusternetwerk worden reststromen warmte en koude tussen gebouwen uitgewisseld, zodat zo min mogelijk een beroep hoeft te worden gedaan op de backbone. De clusternetwerken zijn onderling gescheiden en kunnen op verschillende temperaturen en autonoom opereren. De verschillende clusters halen desgewenst warmte/koude uit de backbone via warmtewisselaars en kunnen via de backbone met elkaar energie uitwisselen.

In het Mijwater-concept wordt resterende warmte en koude zoveel mogelijk op haar eigen temperatuurniveau gebufferd, zodat er zo min mogelijk energie verloren gaat. Dit betekent dat op alle posities in het energienet met een ander temperatuurniveau wordt gebufferd:

- Backbone: Geothermische buffers.
- Clusternetten: Bijvoorbeeld een kunstmatige buffer (nog niet toegepast in Heerlen).
- Energiecentrales: Decentrale buffervaten binnen woningen en utiliteit, of oplossingen als betonkernactivering.

In Figuur 26 zijn de COP's van alle netwerkdelen van het Mijwater-energienet weergegeven, zoals dat van toepassing is in Heerlen.

3.3.2 Aflever- en afgiftesysteem

In het Mijwater-concept wordt bij afnemers een energiecentrale geplaatst, deze installaties vormen de koppeling tussen het energienet en het afgiftesysteem van het gebouw. De belangrijkste elementen van de energiecentrales zijn de warmtewisselaar (linksboven in Figuur 28) en de elektrische warmtepomp (linksonder in Figuur 28). Een elektrische warmtepomp zorgt ervoor dat de warmte/koude die door het energienet wordt geleverd op de juiste temperatuur wordt gebracht voor verwarming of koeling van het gebouw. Omdat de aanvoertemperatuur van water uit het energienet kan variëren, is het niet altijd nodig om gebruik te maken van de warmtepomp. De energiecentrale is zodanig geautomatiseerd dat automatisch de meest energie-efficiënte methode wordt gekozen, dat wil zeggen: passief verwarmen zonder gebruik van de warmtepomp wanneer dit kan. Voor warm tapwater is er een additionele booster warmtepomp geïnstalleerd (zie rechterfoto in Figuur 28).

Figuur 28 - Foto's van de elementen van een energiecentrale in een groot gebouw (utiliteit)



Opmerking: De aangegeven temperaturen staan voor het temperatuurniveau na het getoonde proces.

In het gebouw worden daar waar mogelijk ook warmte- en koudebuffers geplaatst. Deze kunnen worden gebruikt om bijvoorbeeld de koude op te slaan die 's ochtends in het voorjaar of najaar wordt geproduceerd. Deze koude ontstaat als de warmtepompen in de ochtend het gebouw opwarmen. In de middag als de zon doorbreekt kan deze koude gebruikt worden voor koeling. De resterende netto warmte- of koudevraag wordt door het clusternet geleverd.

De energiecentrale moet er ook voor zorgen dat het retourwater voldoet aan de temperatureisen van het clusternetwerk en de backbone, mede om te voorkomen dat de (geothermische) buffers uitputten en de warmtepompen niet optimaal functioneren. Om dit zo efficiënt mogelijk te regelen heeft Mijwater de energiecentrales in eigendom en regelt Mijwater de aansturing. Hierdoor kan

Mijnwater de vraagsturing beïnvloeden door bijvoorbeeld warmte op te slaan in een gebouw en daardoor piekvragen te voorkomen. Het eindproduct van Mijnwater is dus niet zozeer de levering van warmte en koude, maar meer een comfortabel binnenklimaat.

De COP van de energiecentrales zijn afhankelijk van het temperatuurverschil van de aanvoer en afvoerszijde van de warmtepomp en de manier waarop er gestuurd wordt. Dit temperatuurverschil is niet constant, maar kan variëren. De volgende situaties zijn te onderscheiden (Verhoeven, 2016):

- Normale clustertemperatuur; warmtepomp moet temperatuur verhogen van 26°C naar 40°C, COP = 6,5.
- Bij verhoogde clustertemperatuur, hoger dan de afvoertemperatuur uit het gebouw (30°C), kan (deels) gebruik worden gemaakt van passief verwarmen waardoor de COP aanzienlijk toeneemt (COP=8,0 bij 20% passief gebruik en COP=11,7 bij 47% passief gebruik).
- Als de clustertemperatuur hoger is dan de verwarmingstemperatuur in het gebouw kan er 100% passief verwarmd worden. Als tegelijk ook de clustertemperatuur hoger is dan de temperatuur in de backbone is er alleen elektriciteit nodig voor de pompen in het cluster en kan de COP oplopen tot boven de 60.

3.4 Energieprestaties

Om een indicatie te geven van de energie- en milieuprestaties van het Mijnwater-concept wordt gekeken naar de invloed van het concept op de energiebesparing, verduurzaming en uiteindelijke CO₂-reductie. Voor een eenduidige uitspraak is het echter eerst nodig om duidelijk af te bakenen in welke situaties naar de prestaties van Mijnwater wordt gekeken. Het maakt namelijk uit of gekeken wordt naar de toepassing in de bestaande bouw, nieuwbouw, woning- of utiliteitsbouw. En welke aspecten mee worden genomen, zoals de gebouwaanpassingen. In de volgende alinea's wordt voor vier situaties kort toegelicht wat de energie- en milieuprestaties zijn. Het gaat daarbij om:

- Woningen - bestaande bouw;
- Woningen - nieuwbouw;
- Utiliteit - bestaande bouw;
- Utiliteit - nieuwbouw.

Woningen - bestaande bouw

Het Mijnwater-concept biedt voor bestaande woningen een range aan mogelijke oplossingen per temperatuurniveau. Voor ieder niveau verschilt echter het niveau van **energiebesparing**:

- ~30 gradenverwarming: de woningen zijn zéér goed geïsoleerd (A-label en beter) en zijn 'rechtstreeks' aangesloten op de infrastructuur van Mijnwater (hierbij is wel een warmtepomp aanwezig om zo maximale flexibiliteit te geven aan het slim aansturen van de warmtelevering). In deze situatie vindt veel besparing plaats. In de zomer is (comfort)koeling noodzakelijk, welke kan worden voorzien door de warmtepomp. De warmtapwatervoorziening kan ook ingevuld worden met deze warmtepomp.
- ~60 gradenverwarming: de woningen zijn redelijk geïsoleerd (C- en D-label) en door tussenkomst van een warmtepomp zijn de woningen aangesloten op de infrastructuur van Mijnwater. De besparing is gemiddeld. De behoefte aan comfortkoeling is afhankelijk per situatie en voor warm tapwater kan de warmtepomp worden ingezet.
- ~90 gradenverwarming: de woningen zijn minimaal geïsoleerd (E-label en slechter) en door tussenkomst van een warmtepomp (basislast) en HR-ketel op (aard)gas (pieklast) wordt de woning aangesloten op de infrastructuur van Mijnwater². De rol van de HR-ketel kan ook in worden gevuld door een elektrische warmtepomp, maar deze zal dan een (zeer) slecht rendement hebben.

² Dit komt min of meer overeen met de huidige hybride warmtepompen die de laatste jaren op de markt komen ter vervanging van de traditionele HR-ketel.

Dit gebeurt echter gedurende een klein deel van het jaar. Doordat er geen schilaanpassingen zijn, is er geen besparing op de warmtevraag. Comfortkoeling is niet nodig en warm tapwater komt uit de HR-ketel of warmtepomp.

De **verduurzaming** van de warmtevoorziening is sterk afhankelijk van de bron van warmte in de infrastructuur. Door de lage basistemperatuur zijn er echter goede mogelijkheden om duurzame bronnen in te zetten voor het 'voeden' van de infrastructuur. In het geval van een 100% duurzame bron van de Mijwater-infrastructuur, is het afhankelijk van de uitvoering of de voorziening op korte of lange termijn duurzaam is. De lage en middenvariant op 30 en 60 graden kan op termijn duurzaam worden gemaakt, door een volledig duurzame elektriciteitsvoorziening. De hoge variant op 90 graden moet/kan daarnaast ook voorzien worden van groen of hernieuwbaar gas.

De **CO₂-reductie** is afhankelijk van de scope. De lokale emissies worden in alle situaties zeer sterk gereduceerd, omdat er geen of veel minder aardgas wordt gebruikt. Doordat het concept wel elektriciteit gebruikt voor het rondpompen van water en de warmtepompen, is de CO₂-reductie op dit moment nog geen 100%, maar ligt die tussen de 50-75%. Pas als de elektriciteitsproductie in Nederland/Europa volledig klimaatneutraal is, is ook het Mijwater-concept volledig CO₂-vrij. Dit geldt overigens voor **alle** warmteconcepten waarbij elektriciteit wordt gebruikt.

Woningen - nieuwbouw

Nieuwbouwwoningen die zijn voorzien van een lagetemperatuurafgiftesysteem kunnen ofwel 'rechtstreeks' ofwel door tussenkomst van een warmtepomp worden aangesloten op de Mijwater-infrastructuur. Hoewel de eerste variant vanuit het oogpunt van energieverbruik van de woning de beste invulling geeft, kan de tussenkomst van een warmtepomp de flexibiliteit van het net verhogen. Op dit moment wordt een aanzienlijk aandeel van de nieuwbouwwoningen nog opgeleverd met een gasaansluiting en HR-ketel. In vergelijking met deze woningen biedt Mijwater een aanzienlijke verbetering in energie- en milieuprestaties. De normen voor nieuwbouwwoningen worden de komende jaren echter steeds strenger en vanaf 2021 moeten alle nieuwbouwwoningen Bijna EnergieNeutrale Gebouwen (BENG) zijn. Een nieuwbouwwoning met het Mijwater-concept is één van de mogelijkheden om hierin te voorzien. In die situatie 'scoren' alle woningen die BENG zijn min of meer gelijk op energie- en milieuprestaties.

Utiliteit - bestaande bouw

In het geval van bestaande utiliteit zijn de energie- en milieuvoordelen, net als bij bestaande woningen, sterk afhankelijk van de uitvoering die wordt toegepast en de functie waarvoor het Mijwater wordt ingezet. Zo kan het concept worden gebruikt voor het verwarmen van een kantoorgebouw of school, maar ook voor de koeling van een datacentrum.

In het geval van toepassing voor *ruimteverwarming of -koeling* zijn de mogelijkheden voor **energiebesparing, CO₂-reductie** en **verduurzaming** min of meer gelijk aan de mogelijkheden bij de bestaande woningbouw. Indien het Mijwater-concept wordt ingezet voor *proceswarmte of -koeling*, zoals de koeling bij datacentra of productkoeling (waarbij in feite de warmte wordt 'geogst' voor het voeden van het warmtenet), dan zijn de voordelen zeer sterk afhankelijk van de huidige techniek of referentietechniek. Dit is per situatie verschillend.

Op gebouwniveau zijn de milieu- en energiestatistiek van het Mijwater-concept mogelijk beter dan wanneer een individuele elektrische oplossing wordt gekozen. Dit komt met name door de relatief hoge temperatuur van het warmtenet (in vergelijking met de buitenlucht of bodem), waardoor de gebruikte warmtepompen een beter rendement behalen voor het verwarmen van de gebouwen. Het totale systeemrendement, dus inclusief het energieverbruik van het collectieve warmtenet, is afhankelijk van de omvang van het net en de hoeveelheid getransporteerde energie. Binnen het

Mijnwater-concept ligt de nadruk op het optimaliseren van deze stromen, waardoor naar verwachting ook het systeemrendement beter scoort dan individuele gebouwoplossingen.

Utiliteit - nieuwbouw

Nieuwgebouwde utiliteit heeft vanaf 2021 met dezelfde eisen te maken als woningen. Dit betekent dat ook zij bijna energieneutraal moeten zijn, wat bereikt kan worden door het Mijnwater-concept, maar ook door andere concepten. Of deze nieuwe gebouwen beter scoren met een Mijnwater-concept dan met een ander concept, hangt sterk af van de gebruikte elektriciteit. Indien deze reeds volledig duurzaam en CO₂-vrij is, dan is op dat aspect geen verschil. Naar verwachting verbruikt het systeem van Mijnwater wel minder energie voor het verwarmen van de gebouwen, doordat het temperatuurniveau in het warmtenet en de hogere efficiëntie van de ingezette warmtepompen.

3.5 Potentieel Mijnwater

Om een indicatie te geven van het potentieel van het Mijnwater-concept voor Nederland, is een analyse gemaakt van de mogelijke locaties die gunstig zijn voor het toepassen van het concept van een smart thermal grid in combinatie met buffering. Om dit te doen, is ten eerste gekeken naar de potentiële warmtebronnen voor het concept, de potentiële afzetgebieden en de totale bijdrage aan de warmtetransitie in Nederland.

3.5.1 Toepassingsmogelijkheden en geschikte markten

Het Mijnwater-concept kan worden toegepast in nieuwbouw en bestaande bouw, zowel voor utiliteit als woningen. Inzet van de warmte en koude van Mijnwater bij industriële processen is mogelijk, maar op beperkte schaal. Op nationale schaal ligt het grootste deel van de industriële warmtevraag ver boven de temperatuurregimes van Mijnwater (>200°C) of juist ver daar onder (<0°C). Dit neemt niet weg dat voldoende processen zijn die wel interessant zijn, als aanbieder en vrager van thermische energie, maar inzicht in deze processen op nationale schaal is niet beschikbaar voor het uitvoeren van een analyse. Tabel 14 geeft een overzicht van enkele industriële processen die in potentie een warmtebron of -vrager kunnen vormen voor het Mijnwater-concept.

Om optimaal gebruik te kunnen maken van energie-uitwisseling tussen gebouwen is het wenselijk dat de bebouwing in een bepaald gebied zo gevarieerd mogelijk is. Zo kan de afvoerwarmte van oude G-labelwoningen met een hoog temperatuurniveau gebruikt worden voor de verwarming van een moderne A-labelwoning, die voldoende heeft aan warmte van een laag temperatuurniveau. De koude die ontstaat bij het verwarmen van deze woningen kan gebruikt worden voor de koeling in utiliteit (bijvoorbeeld voor een datacentrum, supermarkt, etc.). Andersom is ook mogelijk, gebruik van de warmte in woningen die ontstaat bij de koeling van utiliteit. Hoe meer complementaire thermische bronnen, van welke vorm dan ook, hoe groter het potentieel van energie-uitwisseling en het Mijnwater-concept.

In de volgende paragraaf zullen we meer op detailniveau kijken wat geschikte gebieden zijn in Nederland voor het toepassen van het Mijnwater-concept.

Tabel 14 - Overzicht van enkele industriële processen welke mogelijk een warmtebron- of vrager zijn

Industrial Sector	Unit operation	Temperature range (°C)
Food	Drying	30-90
	Washing	60-90
	Pasteurising	60-80
	Boiling	95-105
	Sterilising	110-120
	Heat Treatment	40-60
Beverages	Washing	60-80
	Sterilising	60-90
	Pasteurising	60-70
Paper Industry	Cooking and Drying	60-80
	Boiler feed water	60-90
	Bleaching	130-150
Metal Surface Treatment	Treatment, electro-plating, etc.	30-80
Bricks and Blocks	Curing	60-140
Textile Industry	Bleaching	60-100
	Dyeing	70-90
	Drying, De-greasing	100-130
	Washing	40-80
	Fixing	160-180
	Pressing	80-100
Chemical Industry	Soaps	200-260
	Synthetic rubber	150-200
	Processing heat	120-180
	Pre-heating water	60-90
Plastic Industry	Preparation	120-140
	Distillation	140-150
	Separation	200-220
	Extension	140-160
	Drying	180-200
	Blending	120-140
Flour By-products	Sterilising	60-90
All Industrial Sectors	Pre-heating of boiler feed water	30-100
	Industrial solar cooling	55-180
	Heating of factory buildings	30-80

Bron: (IEA-ETSAP and IRENA, 2015).

3.5.2 Geschikte toepassingslocaties in Nederland

De toepasbaarheid van een totaal Mijwater-concept is sterk afhankelijk van de vraag en aanbod van (LT) warmte en (HT) koude in de directe omgeving. Onderdelen uit Mijwater zoals vraaggestuurd en anticiperend regelen zijn ook toepasbaar in andere warmtenetten en daarmee in meer gebieden.

We hebben in onze analyse voor geschikte toepassingslocaties in Nederland expliciet hogetemperatuurwarmtebronnen niet meegenomen omdat we deze toeschrijven aan hogetemperatuurwarmtenetten, bovendien vergt het een grotere mate van leidingisolatie van het warmtenet. Deze bronnen kunnen echter altijd gecombineerd worden met het Mijwater-concept, maar de kracht van het concept zit juist in het nuttige gebruik van laagwaardige restwarmte.

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, zorgt gevarieerde bebouwing (variatie in woningen en utiliteit) voor optimale mogelijkheden om onderling energie uit te wisselen. Daarnaast geldt voor het rendabel aanleggen van een warmtenet dat een gebied redelijk dicht bebouwd is en de transportafstand beperkt is³, wij veronderstellen in onze analyse een stedelijkheidsgraad van 3 of lager volgende de categorisatie van het CBS⁴. Dit zijn dichtbebouwde gebieden in dorpen en steden (matig tot zeer stedelijke gebieden). Voor de transportafstand tussen de bron en het gebied waar de vraag zich bevindt, hanteren we maximaal 500 meter.

Naast energie-uitwisseling tussen gebouwen is de aanwezigheid van een thermische energiebron (zowel warmte als koude) van belang, in Tabel 15 een overzicht van de warmtebronnen die wij meegenomen hebben om geschikte locaties voor Mijwater te bepalen. Uiteraard zijn er meer thermische bronnen denkbaar, zoals zonnewarmte op velden, maar voor een eerste indicatie van de mogelijkheden zijn de bronnen uit de tabel gebruikt.

Tabel 15 - Warmte- en koudebronnen die meegenomen zijn in de analyse van toepassingslocaties

Bron	Type	Aanname
Middelgrote industrie	Warmte-aanbod Koude-vraag	Bedrijventerrein met een maximale milieucategorie van 3 of hoger ⁵ (ondergrens) of 2 of hoger (bovengrens)
Rioolwaterzuiveringen	Warmte-aanbod	Bij alle zuiveringen in Nederland is potentieel voor onttrekking van warmte uit effluentwater
Koel- en vrieshuizen	Warmte-aanbod koude-vraag	Koelhuizen aangesloten bij Nekovri
Slachthuizen	Warmte-aanbod koude-vraag	Locaties van slachthuizen volgens het RVO
Datacenters	Warmte-aanbod koude-vraag	Locaties in Nederland uit datacentrumgids en van NLIX
Kunstijsbanen	Warmte-aanbod koude-vraag	Locaties in Nederland
Supermarkt	Warmte-aanbod koude-vraag	Buurten met grote supermarkten (>250 m ² vloeroppervlak) volgens het CBS (binnen 1 km), wij kennen warmte onttrekking toe als er ten minste 1 grote supermarkt in een straal van 1 km aanwezig zijn.
Glastuinbouw	Warmte-aanbod	Glastuinbouwgebieden volgens het RVO. Wij nemen alleen glastuinbouwgebieden mee die groter zijn dan 7 ha.
Industriële bakkerijen	Warmte-aanbod	Leden van De Nederlandse Vereniging voor de Bakkerijen (NVB)
Industriële wasserijen	Warmte-aanbod	Lijst op basis van Certex gecertificeerde bedrijven
Diervoederbedrijven	Warmte-aanbod	Lijst op basis van leden Nevedi
Levensmiddelen industrie	Warmte-aanbod koude-vraag	Lijst op basis van leden Federatie Nederlandse levensmiddelen industrie
Overige potentiële LT-restwarmte bedrijven	Warmte-aanbod	Samengesteld op basis van analyse op dataset 'ligging industrie en CO ₂ -emissies' van RVO.

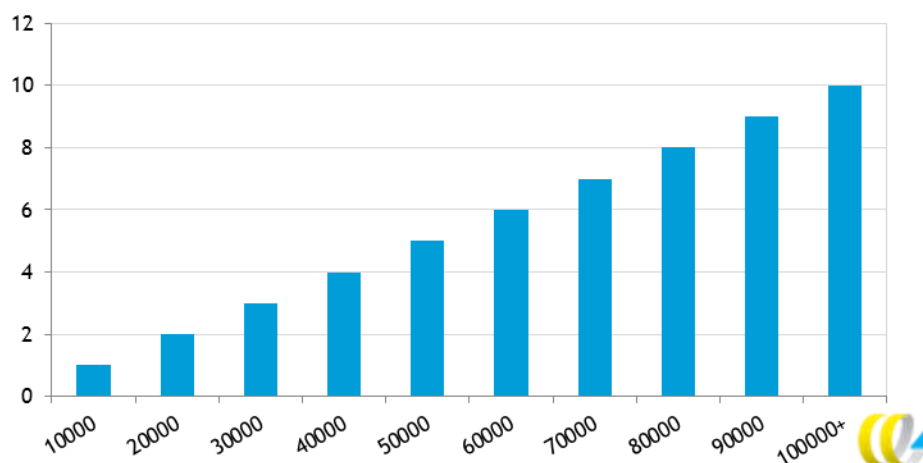
³ Zie Afwegingskader Locaties (RVO, 2013), waarbij wordt gesteld dat een collectieve warmte-oplossing een minimale warmtevraagdichtheid moet hebben van 500-600 GJ/ha. Grosso modo komt dit overeen met de gebieden die door het CBS een stedelijkheidsklasse krijgen van 1, 2 of 3.

⁴ Het CBS kent op grond van de omgevingsadressendichtheid aan iedere buurt een stedelijkheidsklasse toe. De volgende klassenindeling wordt hierbij gehanteerd: 1: zeer sterk stedelijk >= 2.500 adressen per km²; 2: sterk stedelijk 1.500-500 adressen per km²; 3: matig stedelijk 1.000-1.500 adressen per km²; 4: weinig stedelijk 500-1.000 adressen per km²; 5: niet stedelijk < 500 adressen per km².

⁵ Over het algemeen zijn het de grotere bedrijven met een grotere milieucategorie; bedrijven waarbij veel restwarmte beschikbaar is vallen veelal ook in een hoge milieucategorie.

Door de beschikbare bronnen in Tabel 15 te combineren met de buurten die in de nabijheid liggen (binnen 500 meter) en een stedelijkheidsgraad van 3 of lager hebben, is een inschatting gemaakt van het potentieel van het Mijwater-concept in Nederland. Voor deze geselecteerde buurten bepalen we de huidige warmtevraag van woningen en utiliteit. Koude beschouwen we alleen voor utiliteit (huidige situatie). De warmtevraag per buurt en het aantal potentiële LT-bronnen in een straal van 500 meter van de buurt vormen vervolgens de basis om te bepalen of een buurt potentieel geschikt is voor een Mijwater-concept. Omdat de buurten van Nederland sterk in omvang verschillen is een lineaire schaal toegepast voor het aantal bronnen dat hier minimaal nodig is. Dit minimum aantal wordt per buurt bepaald door de warmtevraag in de buurt te delen door 10.000 GJ (aanname ondergrens) of 20.000 GJ (aanname bovengrens) warmteproductie/LT-bron en dit af te ronden op een veelvoud hiervan, met een minimum van 1 en een maximum van 10, zie voor een illustratie Figuur 29. De warmte- en koudevraag van de buurt is bepaald door gebruik te maken van gegevens van het CBS en kentallen uit SWING en het CEGOIA-model van CE Delft.

Figuur 29 - Minimum aantal LT-bronnen per totale warmtevraag (in GJ) van een buurt



De methode is globaal en wijst alleen potentieelgebieden aan op basis van de aanwezigheid van potentiële thermische bronnen, de daadwerkelijke beschikbaarheid van warmte of koude is echter niet bekend. In onze berekeningen hanteren we daarom een bandbreedte, de parameters die we hanteren voor de boven- en ondergrens zijn weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 - Parameters voor boven- en ondergrens van de potentieelbepaling

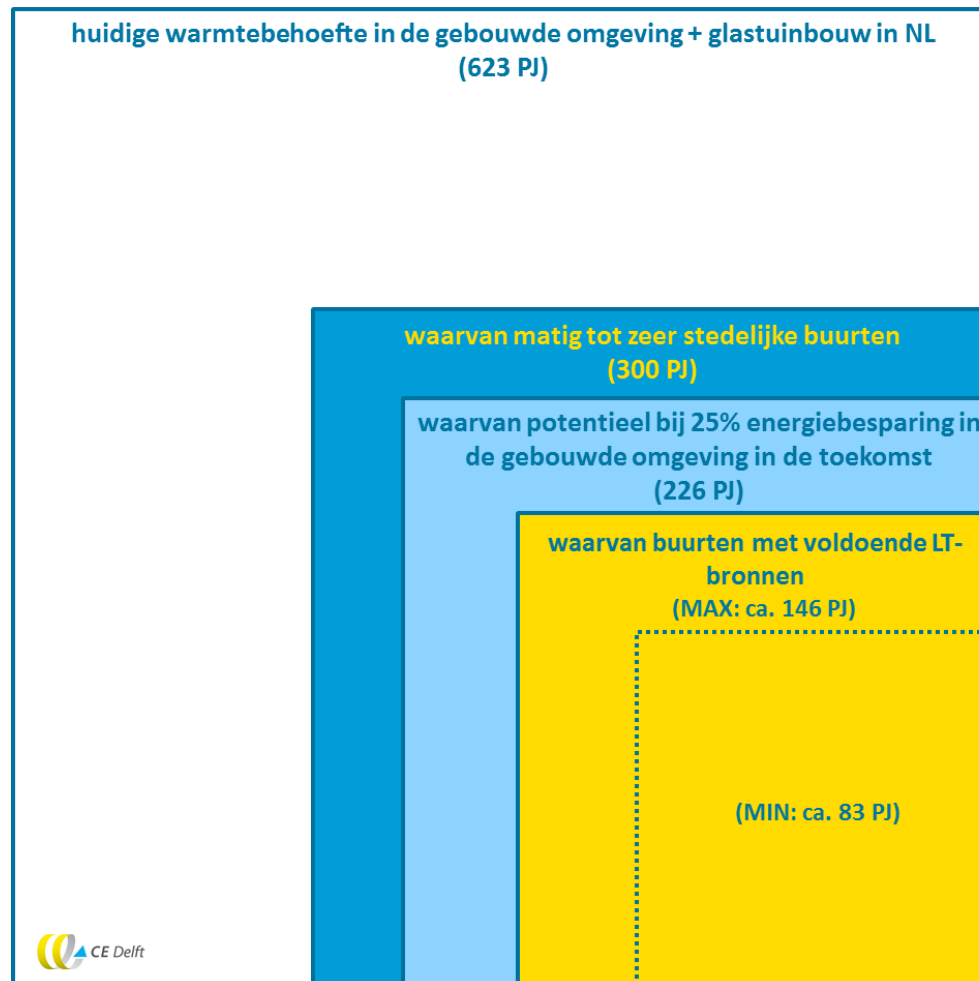
Parameter	Ondergrens potentieel	Bovengrens potentieel
Veronderstelde productie per (warmte)bron	10.000 GJ/bron	20.000 GJ/bron
Maximale milieucategorie bedrijventerreinen	Categorie 3 of hoger	Categorie 2 of hoger (incl. groothandels en lichte industrie/nijverheid)

We onderscheiden hierbij twee situaties: de huidige situatie en een toekomstige situatie, waarbij we 25% besparing op de warmtevraag en 5% groei van de koudevraag door labelverbetering veronderstellen. Deze percentages zijn aannames. Hierbij wordt aangenomen dat de reductie op de warmtevraag diverse oorzaken kan hebben, waaronder autonome besparing, besparing nodig om met lagere temperaturen te verwarmen, comfortbesparing of besparing uit het oogpunt van kostenbesparing.

In het geval van de koudevraag wordt een toename aangenomen door enerzijds woningen die een isolatieniveau krijgen, waardoor comfortkoeling in de zomer wenselijk/nodig is en anderzijds door veranderende klimaatomstandigheden, waardoor sowieso de koelvraag gaat toenemen.

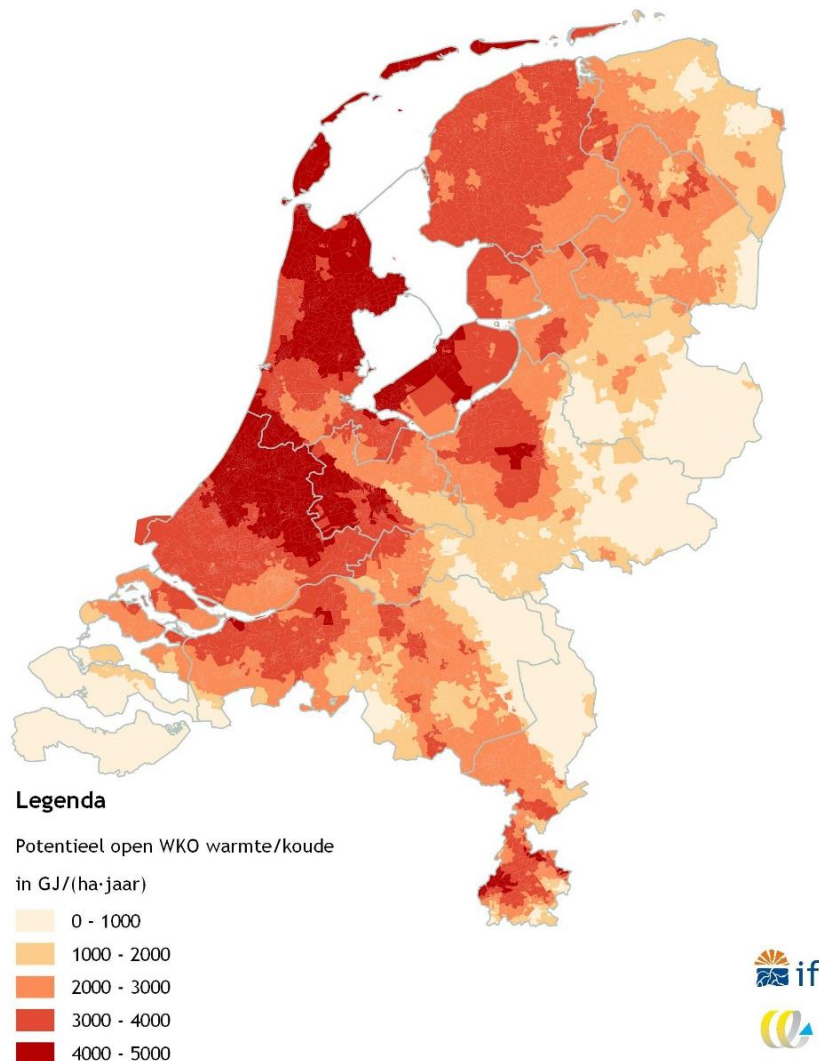
Om het een en ander in perspectief te plaatsen illustreert Figuur 30 (op schaal) de gehanteerde aanpak en laat het potentieel van het Mijwater-concept in de warmtevraag van Nederland zien voor de toekomstige situatie (zowel ondergrens als bovengrensanalyse).

Figuur 30 - Illustratie van de gehanteerde aanpak, weergegeven voor de warmtevraag in de toekomstige situatie



Naast LT-bronnen en onderlinge uitwisseling is de opslag van warmte en koude ook een essentieel onderdeel van een Mijwater-concept. Hiervoor zijn een aantal opties, zoals een bodembuffervat of de opslag van warmte in een aquifer, een watervoerende bodemlaag (open WKO). De laatste is vooralsnog de goedkoopste optie. Op veel plaatsen in Nederland zijn er mogelijkheden voor opslag in aquifers, maar het potentieel verschilt per locatie, Figuur 31 geeft een overzicht van het potentieel voor Nederland.

Figuur 31 - Potentieel per buurt voor opslag van warmte en koude in open WKO (aquifers) in GJ/(ha· jr)



Op plaatsen waar er geen mogelijkheden zijn voor opslag in aquifers, kan gebruik worden gemaakt van bodembuffervaten. Deze grote buffervaten moeten ingegraven worden, dit is in zeer stedelijke gebieden soms niet mogelijk. Het is niet bekend wat per buurt de opslagbehoefte en bodemcapaciteit is voor opslag, daarom hanteren wij in de selectie van geschikte buurten voor een Mijwater-concept een bandbreedte. De bovengrens wordt gevormd door de aanname dat het in alle buurten mogelijk is om voldoende opslagmogelijkheden te realiseren, de ondergrens wordt gevormd door de aanname dat dit niet mogelijk is in zeer stedelijke gebieden omdat hier wellicht geen mogelijkheden zijn voor het ingraven van een groot bodembuffervat.

Op basis van bovenstaande analyse zijn er circa 2.650 tot 3.750 buurten (22-31% van de buurten in Nederland)⁶ met potentieel voor een Mijwater-concept (uitgaande van de toekomstige situatie 25% besparing op de warmtevraag). De kaarten van Figuur 32 (huidig) en Figuur 33 (toekomstige) laten zien waar de geschikte buurten in Nederland liggen.

⁶ Dit komt overeen met circa 2,0 tot 3,6 miljoen woningen

Figuur 32 - Kaart van Nederland met buurten die potentieel bieden voor een Mijnwater-concept, huidige situatie



Legenda

Buurten met potentieel voor Mijwaterconcept, volgend uit:

-  ondergrensanalyse
-  bovengrensanalyse (aanvullend op ondergrensanalyse)



Figuur 33 - Kaart van Nederland met buurten die potentieel bieden voor een Mijnwater-concept, toekomstige situatie bij 25% besparing op de warmtevraag



Legenda

Buurten met potentieel voor Mijwaterconcept, volgend uit:

-  ondergrensanalyse
-  bovengrensanalyse (aanvullend op ondergrensanalyse)



3.5.3 Potentiële bijdrage aan warmtetransitie

In de vorige paragraaf zijn potentieel geschikte buurten voor een Mijwater-concept geïdentificeerd. Het energiepotentieel in deze buurten wordt bepaald door de bovengrondse warmtevraag en koudevraag van de buurten. In deze buurten is een minimum aantal LT-bronnen beschikbaar. Met de huidige beschikbare gegevens in Nederland, is het echter onbekend of de LT-bronnen voldoende energie kunnen leveren om aan de warmte- en koudevraag te voldoen. Aangenomen wordt dat zij in

ieder geval voor een significant deel van de buurt de warmte en koude kunnen leveren. Door onderlinge uitwisseling van gebouwen en warmtepompen zal voorzien moeten worden in de rest van de warmte.

In het berekende potentieel dat in volgende tabellen is weergegeven is aangenomen dat een Mijwater-concept de hele buurt kan voorzien in haar warmte- en koudevraag. Het geeft dus het maximale theoretische potentieel aan; in totaal is dit voor het Mijwater-concept 85,7-159,5 PJ warmte, veronderstellen we 25% besparing op de warmtevraag in de toekomst dan daalt het potentieel naar 83,2-146,3 PJ warmte. Voor koude is het potentieel 2,3-4,1 PJ en als we 5% groei in de koudevraag veronderstellen door labelverbetering dan blijft dit potentieel nog steeds ongeveer 2,4-4,3 PJ.

Tabel 17 - Totaal potentieel voor een Mijwater-concept (ondergrens)

Totale warmtevraag						
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale warmtevraag
- Huidig	PJ	85,7	56,5	28,0	1,3	14%
- Toekomst bij 25% besparing	PJ	83,2	56,3	25,6	1,3	13%
Totale koudevraag						
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale koudevraag
- Huidig	PJ	2,3	0,7	1,5		17%
- Toekomst bij 5% groei door labelverbetering	PJ	2,4	0,8	1,6		18%

Tabel 18 - Totaal potentieel voor een Mijwater-concept (bovengrens)

Totale warmtevraag						
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale warmtevraag
- Huidig	PJ	159,5	111,7	46,3	1,5	26%
- Toekomst bij 25% besparing	PJ	146,3	102,8	41,8	1,6	23%
Totale koudevraag						
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale koudevraag
- Huidig	PJ	4,1	1,5	2,5		31%
- Toekomst bij 5% groei door labelverbetering	PJ	4,3	1,6	2,7		32%

3.6 Financiële aspecten

Het Mijwater-concept in de gebouwde omgeving bestaat uit een zeer groot aantal en specifieke en diverse onderdelen. Op hoofdlijnen vallen deze onder volgende onderdelen:

- Bronnen en backbone
 - thermische buffering;
 - backbone-infrastructuur;
 - pompstations.
- Clusternetten:
 - cluster-infrastructuur.
- Mijwateraansluiting (mwa), waaronder:
 - distributie van en naar de aanbieders/afnemers;

- operationele ICT⁷ (intelligente aansturen van vraag/aanbod/energiestromen);
 - overige voorzieningen (regeltechniek, bouwkundige voorzieningen, W/E-componenten).
- Energiecentrale (ec), waaronder:
- warmte- en koudebronnen (uitkoppeling bij aangesloten aanbieders/ afnemers);
 - collectieve en decentrale opwekking (collectieve of individuele warmtepompen);
 - overige voorzieningen (regeltechniek, bouwkundige voorzieningen, W/E-componenten).

Naast de onderdelen voor het Mijwater-concept zijn er mogelijk ook nog aanpassingen nodig binnen de aangesloten gebouwen, zoals:

- verbetering isolatiewaarde van de gebouwen t.b.v. lagetemperatuurverwarming;
- aanpassen afgiftesystemen in de gebouwen.

De benodigde gebouwzijdige aanpassingen zijn sterk afhankelijk van het type gebouw (bouwjaar, kwaliteit gebouwschil, aanwezige afgiftesystemen) en het temperatuurniveau van de geproduceerde warmte.

In de huidige uitwerking van het Mijwater in Heerlen, is iedere aansluiting uniek in haar uitvoering en samenstelling van componenten. Veel componenten komen daarentegen wel herhaaldelijk terug, maar de grote variatie die mogelijk is in de uitvoering, maakt het complex om een eenduidige beschrijving van de kostencomponenten te geven. In de volgende paragrafen wordt van diverse onderdelen de kosten weergegeven. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in de aspecten die zeer sterk afhankelijk zijn van de uitvoeringsvariant en aspecten die vooral afhankelijk zijn van de omvang van de uitvoering.

3.6.1 Aspecten sterk afhankelijk van de uitvoeringsvariant

Er zijn twee aspecten waarvan de kosten bijna volledig afhankelijk zijn van de uiteindelijke uitvoeringsvariant:

- bron en buffers;
- gebouwzijdige aanpassingen.

In het geval van Heerlen worden de ondergelopen mijnen gebruikt als bron en buffer. Als gevolg van recente aanpassingen aan de vorm van Mijwater worden ze echter steeds minder als bron gebruikt en met name primair als buffer. In de meeste gebieden van Nederland zijn er echter geen mijnen aanwezig, wat betekent dat gebruik gemaakt moet worden van andersoortige grootschalige buffering. Hiervoor zijn natuurlijke en kunstmatige buffers beschikbaar. De natuurlijke buffers zijn de aquifers in de ondergrond, de kunstmatige zijn grote buffervaten die ondergronds worden gebouwd. De kosten (CAPEX en OPEX) van deze buffers zijn sterk afhankelijk van de lokale mogelijkheden en omvang hiervan. Op voorhand is het daarom uitermate lastig om algemene kosten van dergelijke buffering te presenteren.

De kosten van de gebouwzijdige aanpassingen zijn sterk afhankelijk van de uitgangssituatie (goed of slechte schilkwiteit van het gebouw) en de mate waarin de afweging tussen isolatie en afgiftetemperatuur wordt gemaakt. Zo leidt verdergaande isolatie tot de mogelijkheid om met een lage afgiftetemperatuur te werken, maar zijn forse kosten aanwezig voor de isolatie en afgiftesysteem in de gebouwen. Bij minder goede isolatie is een hogere afgiftetemperatuur gewenst en wordt uiteindelijk ook meer energie gebruikt (met daaraan gekoppelde energiekosten), maar zijn de kosten voor de gebouwzijdige aanpassingen aanzienlijk lager. Per locatie zal de optimale afweging tussen deze aspecten verschillen.

⁷ Ook op gebouwniveau in de energiecentrale vindt aansturing plaats.

3.6.2 Aspecten afhankelijk van de omvang van de uitvoering

Het Mijwater-concept kent ook diverse onderdelen die op hoofdlijnen voor alle uitvoeringsvarianten gelijk zijn, maar die vooral verschillen door de omvang van de toepassing. Dit zijn:

- backbone;
- distributienetten (clusters en sectoren);
- energiecentrales.

De kosten van de infrastructuur zijn vooral afhankelijk van de lengte van de tracé en het gebied waarin dit tracé wordt gelegd. Deze zijn gedimensioneerd op de omvang van het leveringsgebied en dus met name gekoppeld aan de omvang van de uitrol van het Mijwater-concept. Logischerwijs leidt het aanschakelen van extra aansluitingen of een extra cluster tot extra investeringen. Dit laatste geldt niet alleen voor de infrastructuur, maar juist ook voor de energiecentrales die ervoor zorgen dat de uitwisseling van warmte en koude op gebouwniveau correct verloopt. Meer gebouwen betekent meer investeringen in energiecentrales.

Figuur 34 - Opstelling van pompen in een ondergronds pompstation van Mijwater



3.6.3 Verdienmodel

Mijwater heeft een innovatieve businesscase ontwikkeld voor het leveren van energie: naast technische innovatie en kritisch ontwerpen komt Mijwater ook met een vernieuwend concept voor het afrekenen van energie en het clusteren van aansluitingen (CE Delft, 2017).

Leveren en afrekenen van comfort

Waar een traditionele energieleverancier afrekent per eenheid geleverde energie (het productiehandelmodel), rekent Mijwater in veel gevallen af per oppervlak comfort (dienstverleningsmodel). In Tabel 19 geven we een overzicht van de verschillen tussen deze twee afrekenmodellen. Hierbij moet opgemerkt worden dat voor kleinverbruikers verplicht de structuur van de Warmtewet wordt aangehouden.

Tabel 19 - Een overzicht van de verschillen tussen de afrekening bij Mijnwater en een traditionele energieleverancier

	Traditionele energieleverancier gas en elektriciteit	Mijnwater als energieleverancier voor grootverbruikers
Model	Productiehandelsmodel	Dienstverleningsmodel
Prijs per eenheid	€/kWh, €/m ³ (euro per eenheid verbruikt)	- €/m ² vloeroppervlak (euro per oppervlak comfort) o.b.v. fair-use agreement - traditioneel conform Warmtewet
Nettarief	Ja, jaarlijks gas + elektra	
Energiebelasting	Ja	
Stichtingskosten	Aanschaf CV (HR-ketel), afgiftesysteem en aansluitkosten	Bijdrage aan stichtingskosten energiecentrale en aansluiting
Ruimte voor energiecentrale	Beperkt	Aanzienlijk
Leverancier en contract	Keuze uit meerdere leveranciers, korte contractduren mogelijk	Mijnwater is de enige leverancier, lange contractduur (~30 jaar)
Energienetwerk	Gas en elektriciteit: vastrecht en capaciteitstarief, contractduur voor onbepaalde tijd	Mijnwateraansluiting: comfortvergoeding of conform Warmtewet. Elektriciteit: comfortvergoeding of vastrecht en capaciteitstarief, contractduur voor onbepaalde tijd.
Kostenverandering	Op basis van fluctuaties in energieprijzen	Correctie o.b.v. CPI

Opmerking: Dit is een globale indicatie, in specifieke gevallen kan de situatie anders zijn.

Voor grootverbruikers zijn de exploitatieovereenkomsten tussen Mijnwater en de klant maatwerk, desgewenst kan er ook afgerekend worden volgens het productiehandelsmodel. Mijnwater heeft als uitgangspunt om, rekening houdend met de wensen van de klant, een financieel aantrekkelijk aanbod te doen op basis van de *total costs of ownership* (dat wil zeggen de totale kosten van de energievoorziening gedurende de contractperiode). Dit aanbod komt tot stand op basis van een vergelijking van de *total costs of ownership* tussen Mijnwater en een overeengekomen alternatief. Hierbij worden onder andere de investeringen, energielasten, vermeden investeringen m.b.t. energieprestatiepunten, netwerkkosten, onderhoud en efficiëntie van de installatie meegenomen.

Kleinverbruikers met een aansluiting van maximaal 100 kW, vallen onder de Warmtewet (zie kader-tekst) en worden volgens de daarin geldende tariefstructuur afgerekend.

Warmtewet

Verbruikers met een aansluiting van maximaal 100 kW vallen onder de Warmtewet. Woningen en kleinverbruikers vallen over het algemeen in deze categorie. De Warmtewet beschermt de kleinverbruikers door eisen te stellen aan de contracten, prijzen, meetinrichting, service en organisatie van een warmteleverancier. Jaarlijks bepaalt de Autoriteit Consument & Markt (ACM) de maximumtarieven voor de levering van warmte op basis van het Niet-Meer-Dan-Anders-principe. Dit houdt in dat 'de kosten van een gemiddelde verbruiker van warmte (in enig jaar) niet meer mogen zijn dan de kosten van een gemiddelde verbruiker van gas (voor dat jaar). De kosten voor gas bestaan onder andere uit energiebelasting, transport- en leveringskosten' (ACM, 2017). De maximumtarieven worden opgesteld voor de warmtelevering (vaste prijs + GJ-prijs), het meettarief en de aansluitkosten. De kosten voor de warmtewisselaar (of energiecentrale) vallen niet onder deze kosten. De Warmtewet geldt niet voor koude, hiervoor zijn geen regels vastgesteld. Voor de levering van koude kunnen extra kosten in rekening worden gebracht.

Clusteren van energie-aansluiting

Als relatieve grootverbruiker, heeft Mijnwater lagere inkooprijzen voor elektriciteit en betaalt relatief weinig energiebelasting. Omdat de verschillende elektriciteitsaansluitingen van Mijnwater - ook die van de energiecentrales bij de klant, die in het bezit zijn van Mijnwater - onderdeel uitmaken van een aaneengesloten en samenhangend systeem, kunnen de elektriciteitsaansluitingen voor de

Belastingdienst geclusterd worden ('complexbepaling'). Hierbij gelden volgens de Belastingdienst de volgende 'spelregels':

- Mijwater heeft de objecten waar zich de leveringspunten bevinden in eigendom;
- de leveringspunten zijn allen eigendom van dezelfde rechtspersoon.

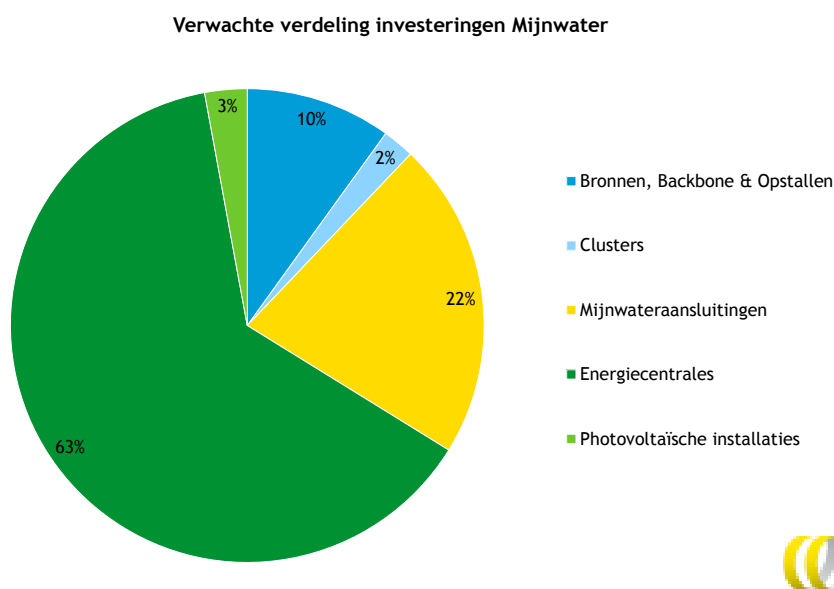
Door deze clustering valt het totale elektriciteitsgebruik van Mijwater in het lage zakelijke grootverbruikerstarief, waardoor de energiebelasting laag is. Voor de elektriciteit die door de klant, via Mijwater wordt afgenomen, wordt het tarief in rekening gebracht dat de klant kwijt zou zijn geweest als zij zelf de elektriciteitsrekening zouden betalen. Doordat de klant veelal in een duurdere energiebelastingschijf zit, ontvangt Mijwater per eenheid een hoger bedrag dan zij zelf kwijt zijn. Met de klant worden de mogelijkheden en voordelen hiervan besproken en inzichtelijk gemaakt. Deze marge is onderdeel van het verdienmodel.

Bij gebouwen waar Mijwater ook zon-PV heeft geïnstalleerd kan er met één elektriciteitsaansluiting worden volstaan, als Mijwater hier ook de elektriciteit door levert. Die aansluiting is van Mijwater, waardoor het voor de klant lijkt dat Mijwater alle energie levert (E+W+K). De PV-panelen voorzien dan voor een belangrijk deel in de behoefte van het gebouw en de energiec centrale van Mijwater.

3.6.4 Globale indicatie verdeling investeringen

Op basis van de huidige activiteiten van Mijwater B.V. in Heerlen is een indicatie te geven van de verdeling van de investeringen in de diverse onderdelen van het Mijwater-concept. In de volgende grafiek wordt weergegeven wat de verdeling is als de eerste fase van de doorontwikkeling van Mijwater B.V. doorgaat. In de grafiek is goed te zien dat bijna tweederde van de investering zit in de energiec centrales. In deze centrales staan de warmtepompen die voorzien in de warmte- en koudevraag van de afnemers. Een andere grote component zijn de Mijwateraansluitingen. Dit is de decentrale infrastructuur voor het verbinden van de energiec centrales aan de backbone. De backbone en buffers zelf vormen ongeveer een tiende van de totale investeringen.

Figuur 35 - Verwachte verdeling van de investering van Mijwater



3.7 Globale businesscase

In de voorgaande paragraaf is reeds uitgewerkt wat de belangrijke financiële aspecten zijn van het Mijnwater-concept. Deze maken het koppelen van een globale businesscase aan Mijnwater zeer complex, omdat ieder deelproject zijn eigen vorm en uitvoering heeft. Om toch inzicht te geven in de dynamiek van de businesscase van Mijnwater, wordt een tweetal indicatieve projecten globaal financieel uitgewerkt⁸:

- aansluiting van een supermarkt op een Mijnwater-cluster;
- aansluiting van bestaande woningen op een Mijnwater-cluster.

Bij de uitwerking van de businesscases wordt onderscheid gemaakt in uitgaven en opbrengsten⁹.

3.7.1 Aansluiting van een supermarkt

Bij het aansluiten van een supermarkt biedt Mijnwater een servicecontract aan voor het leveren van warmte. Dit wordt gedaan aan de hand van een vaste prijs per vierkante meter gebruiksooppervlak (contractueel vastgelegd). Dit betekent dat de supermarkt een jaarlijks vast bedrag betaalt, ongeacht de warmtevraag. Voor Mijnwater zit de uitdaging erin om de warmte zo efficiënt mogelijk te leveren aan de supermarkt.

Uitgaven

De uitgaven van deze businesscase zitten primair in de investeringen en de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten. De investeringen zijn voor de Mijnwateraansluiting (mwa) en de energiecentrale (ec). De energiekosten zijn de kosten van het elektriciteitsgebruik van de (warmte)pompen in de energiecentrale. De onderhoudskosten hebben eveneens betrekking op de installaties in de energiecentrale. In Tabel 20 wordt een overzicht gegeven van de uitgaven.

Tabel 20 - Uitgaven businesscase Supermarkt

Uitgavenpost	Indicatief bedrag
Investering mwa (eenmalig)	€ 70.000
Investering ec (eenmalig)	€ 500.000
Energiekosten (jaarlijks)	€ 7.500
Onderhoudskosten (jaarlijks)	€ 1.000
Overige kosten (jaarlijks)	€ 1.000

De investeringen in de mwa hebben een afschrijftermijn van 50 jaar en de ec van 28 jaar.

Opbrengsten

De supermarkt betaalt voor de 'dienst' warmte. Dit wordt gedaan in een tarief per vierkante meter. Hiermee is er dus eigenlijk sprake van een jaarlijks vastrecht. Voor Mijnwater bestaat deze mogelijkheid van het in rekening brengen van de kosten, omdat de supermarkt niet onder de prijsmechanismen van de Warmtewet valt.

⁸ De getallen die in de businesscases worden genoemd zijn fictief. Zij zijn gebaseerd op werkelijke projectplannen, maar zijn beperkt aangepast in verband met de vertrouwelijkheid.

⁹ De bedragen zijn exclusief eventuele subsidies, belastingen en indexaties.

De hoogte van de vergoeding wordt enerzijds afgestemd op basis van de kosten die de supermarkt zou hebben als zij geen Mijwateraansluiting zou hebben. Dit levert indicatief de maximale investeringsruimte die voor Mijwater beschikbaar is. Aan de hand hiervan kan Mijwater een voorstel bieden dat (altijd) beter is dan het alternatief. Anderzijds wordt gekeken wat de werkelijke kosten zijn van het beschikbaar maken van de warmte door Mijwater¹⁰. Aan de hand hiervan kan Mijwater kijken hoe rendabel dit project is. Voor deze casus zijn de opbrengsten voor Mijwater in Tabel 21 weergegeven.

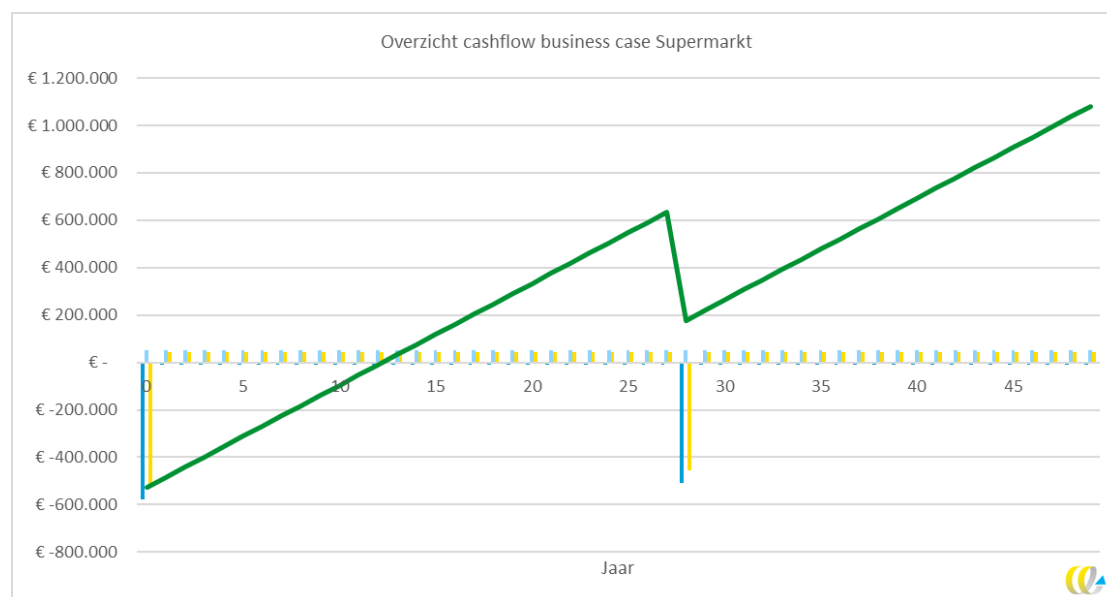
Tabel 21 - Opbrengsten businesscase Supermarkt

Opbrengstenpost	Indicatief bedrag
Vastrecht warmtelevering (jaarlijks)	€ 52.500

Cashflow

In Figuur 36 wordt de cashflow van het project weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat een project met een supermarkt voor Mijwater, gegeven de aanwezige omstandigheden, een zeer gunstig project is.

Figuur 36 - Cashflow businesscase Supermarkt



3.7.2 Aansluiting van bestaande woningen

Voor het aansluiten van bestaande woningen ligt de businesscase anders dan bij een supermarkt. Ten eerste gaat het hier om bestaande gebouwen en straten, waardoor het aanbrengen van aanpassingen en infrastructuur hogere kosten met zich meebrengen. Daarnaast vallen woningen wel onder de Warmtewet, waardoor met name de inkomstenkant gereguleerd is. De getallen in Tabel 22 zijn voor ongeveer 1.000 woningen.

¹⁰ Als blijkt dat het op dit moment niet mogelijk is voor Mijwater om een kostendekkend aanbod voor te stellen, dan kan worden besloten het project geen doorgang te laten vinden.

Uitgaven

De uitgaven in deze businesscase hebben betrekking op de onderdelen van Mijnwater. De uitgaven die gedaan moeten worden om de gebouwen geschikt te maken voor de warmte- en koudelevering zijn voor de gebouweigenaar. De uitgaven in deze businesscase bestaan hoofdzakelijk uit de investeringen die nodig zijn om de woningen aan te sluiten op de Mijnwaterinfrastructuur en de energiecentrales voor de warmte- en koudelevering. Dit kunnen individuele energiecentrales zijn (per woning één installatie) of collectieve centrales (meerdere woningen aangesloten op één centrale). Naast de investeringen zijn er nog jaarlijkse kosten voor energie, onderhoud en overig. In Tabel 22 wordt hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 22 - Uitgaven businesscase Woningen

Uitgavenpost	Indicatief bedrag
Investering mwa (eenmalig)	€ 1.400.000
Investering ec (eenmalig) ¹¹	€ 8.825.000
Energiekosten (jaarlijks)	€ 162.500
Onderhoudskosten (jaarlijks)	€ 75.000
Overige kosten (jaarlijks)	€ 60.000

Opbrengsten

Bij het aansluiten van woningen op een warmtenet, is de Warmtewet van toepassing. Dit betekent dat de inkomsten gereguleerd worden door middel van de maximumprijs. Dit geldt zowel voor het jaarlijkse vastrecht als de prijs die betaald wordt voor de geleverde warmte. Tevens is het bij woningen niet mogelijk om een tariefstructuur te hanteren, zoals dat wel is gedaan bij de supermarkt. Wel wordt in deze businesscase naast warmte voor ruimteverwarming ook comfortkoeling en warm tapwater geleverd. In Tabel 23 staan de jaarlijkse opbrengsten.

Tabel 23 - Opbrengsten businesscase Woningen

Uitgavenpost	Indicatief bedrag
Vastrecht warmte (jaarlijks)	€ 390.000
Vastrecht koude (jaarlijks)	€ 140.000
Vastrecht warm tapwater (jaarlijks)	€ 120.000
Verbruik warmte (jaarlijks)	€ 175.000
Verbruik koude (jaarlijks)	€ -
Verbruik warm tapwater (jaarlijks)	€ 140.000

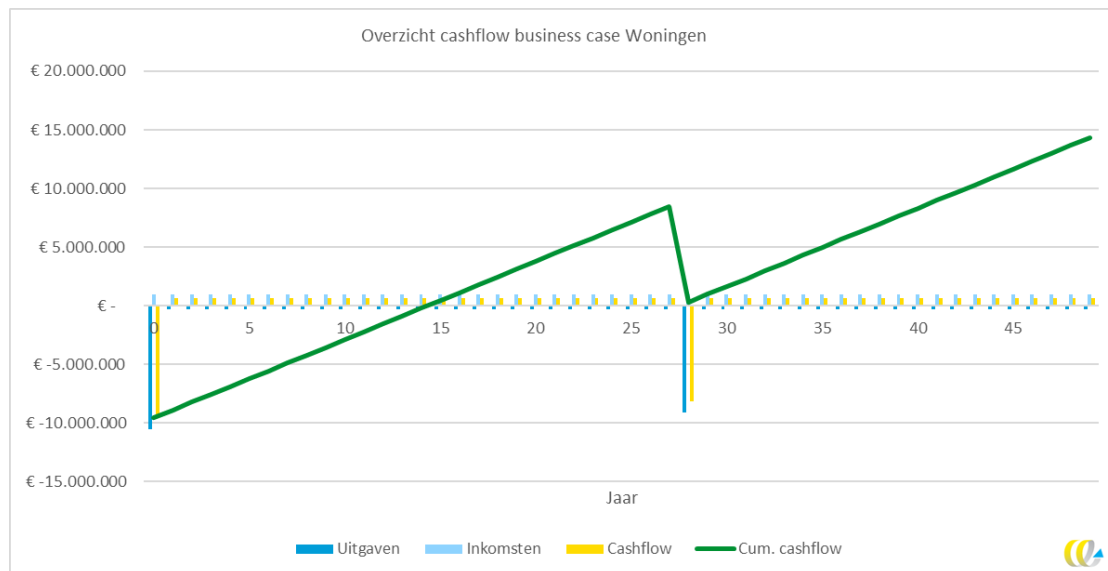
Opmerking: Voor koude worden geen verbruikskosten in rekening gebracht.

¹¹ De eenmalige aansluitbijdrage zit verwerkt in de investering bij mwa en ec.

Cashflow

In Figuur 37 wordt de cashflow van het project weergegeven.

Figuur 37 - Cashflow businesscase Woningen



3.7.3 Financiering backbone en R&D

In de voorgaande businesscases zijn twee belangrijke kostenposten niet meegenomen omdat deze niet rechtstreeks aan specifieke projecten te wijden zijn: de kosten van de backbone en overheadkosten, zoals R&D- en bureaunkosten. Deze kosten zijn voor Mijwater B.V. en moeten 'terugverdiend' worden door marges op de projecten. Dit betekent dat deze projecten, zoals bovenstaand, een minimaal rendement moeten behalen, willen zij een lange termijn duurzame bedrijfsvoering van Mijwater kunnen garanderen.

Om hier een operationele invulling aan te geven, wordt door Mijwater B.V. op dit moment een organisatiestructuur uitgewerkt, waarbinnen het ontwikkelen en exploiteren van projecten los van elkaar plaatsvinden. Hierbij worden projecten in eerste instantie ontwikkeld door een ontwikkelmaatschappij (devco) en na afronding tegen een 'marktprijs' overgedaan aan een exploitatiemaatschappij (opco). Bij het bepalen van de marktprijs wordt daarbij rekening gehouden met het dekken van alle kosten en rendementseisen die er zijn voor de exploitatie. Inclusief de kosten van de backbone en overige kosten. Deze marktprijs staat daarbij los van de kostprijs van het project. Dit betekent dat de devco zowel winst als verlies kan maken op een project.

3.8 Kansen en beperkingen

3.8.1 Geschikte sectoren

Het Mijwater-concept is geschikt voor inzet in de gebouwde omgeving. Doordat het concept draait rond het optimaliseren van warmte- en koudevraag tussen aangesloten gebouwen, is het ideaal als deze bebouwing diverse functionaliteiten heeft. Dit neemt echter niet weg dat het concept ook geschikt is voor gebieden waar bijvoorbeeld primair een warmtevraag aanwezig is, want dat betekent vooral dat het wenselijk is dat er LT-warmtebronnen nabij zijn, die ingezet kunnen worden voor de warmtelevering.

Doordat het concept uitstekend van toepassing is op heterogene gebieden, is het dus zowel geschikt voor woning- als utiliteitsbouw, nieuw en bestaand. De huidige uitvoering van het concept in Heerlen richt zich nog met name op utiliteitsbouw, maar binnenkort wordt ook de eerste woningbouw aangesloten (nieuwbouw). Door de grote flexibiliteit die het warmtenet biedt in combinatie met warmtepompen, is het concept voor een heel groot deel van de gebouwde omgeving interessant. Zowel voor de goed geïsoleerde gebouwen met een lage warmte- of koudevraag als de minder goed geïsoleerde gebouwen, met zowel een hoge warmtevraag als een hoge temperatuurvraag. De belangrijkste restrictie voor het concept is dat het gebruik maakt van warmte- en koude-infrastructuur. De aanleg hiervan is relatief kostbaar, waardoor het logisch is, dit vooral aan te leggen in de meer stedelijke gebieden van Nederland.

3.8.2 SWOT-analyse

Om inzicht te verkrijgen in de positie die Mijwater kan innemen binnen de energietransitie is een SWOT-analyse opgesteld. Hier wordt ingegaan op de sterkten en zwakten van de technologie. Dit zijn voornamelijk interne factoren die van belang zijn voor de toepassing van de technologie. Tevens wordt ingegaan op de kansen en met betrekking tot de marktpositie van de technologie. Dit zijn vooral externe factoren waarop slechts beperkt invloed kan worden uitgevoerd. Hieronder zijn de resultaten van de SWOT-analyse weergegeven.

Sterkten	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> - Optimale benutting reststromen/synergie, waardoor minder opwek/transport nodig is - Veel warmte bronnen aan te sluiten door LT - Landelijk toepasbaar, veel plaatsen realiseerbaar - Bewezen in Heerlen - Minder energieverliezen door lage temperaturen en minder transport - Combinatie van warmte en koude in één net - Geschikt voor utiliteit vanwege koude - Geen geluidsoverlast (WP) - Aanvullend verdienmodel elektriciteit/clusteren van aansluitingen - Vraag gestuurde levering - Eenvoudig uitbreidbaar, flexibel, optimaal gebruik van lokale bronnen - Goed te combineren met WKO 	<ul style="list-style-type: none"> - Integraal afhankelijk van verschillende thermische bronnen/stakeholders - Uitgebreide infra, intelligentie (complex) - Afhankelijkheid van lokale restwarmte- en restkoudebronnen - Werkt beter indien een koudevraag aanwezig is - Gebouwaanpassingen (isolatie, LT-afgifte, etc.) bestaande bouw (niet per se noodzakelijk) - Minimaal 500 woningequivalenten (backbone) - Diversiteit aan afnemers nodig - Niet op gebouwniveau - Lastig inpasbare opslag indien aquifers niet beschikbaar - Beperkte uitvoeringscapaciteit (kennis- en uitvoeringsbedrijven) - Piekvraag - Speciale vergunning nodig bij WKO boven 30°C
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> - 'Van gas af' beweging, Parijs klimaatakkoord, Energieagenda, etc. creëren een markt voor warmte zonder aardgas - Oude gasnetten worden in de toekomst niet meer vervangen - Veel LT-bronnen beschikbaar en die hernieuwbaar zijn - Individuele oplossingen kunnen gefaciliteerd worden met een collectief net - Combinatie met WKO/oppervlakte water (koude) - Geen NIMBY-effecten - Exportkansen kennis en expertise - Innovatiekansen LT-netten - Imago door lokale kleinschalige projecten/partijen 	<ul style="list-style-type: none"> - Concurrentie van individuele oplossingen (WP L/W, B/W) + HT - Gebrekkig kennis en conservatieve installatiebranche - Publieke opinie collectief net - Warmtewet kan knellend zijn (storing, vast/variabel) - Grotere schaalgrootte bij e-zuinigere nieuwbouwwoningen - Veel betrokken partijen bij realisatie - Contractuele complexiteit - Afhankelijkheid elektriciteitsprijs en CO₂-emissies elektriciteit

In de bovenstaande analyse zijn per onderdeel de belangrijkste aspecten vetgedrukt. In het geval van Mijwater worden veel kansen gezien in de bruikbaarheid van het concept in Nederland voor het geven van een invulling aan de warmtetransitie. Naar verwachting is het breed toepasbaar en biedt het voordelen die andere collectieve warmtetechnieken niet hebben. Tegelijkertijd vormt dit ook een belangrijke bedreiging, want het is juist de onbekendheid van de markt met deze voordelen, dat een grootschalige uitrol van het concept op korte termijn nog niet mogelijk wordt geacht. Een belangrijk sterk punt is dat Mijwater gebruik maakt van een 'reststroom' die tot op heden nog niet gebruikt werd, maar wel een aanzienlijke omvang heeft in Nederland: restwarmte van lage temperatuur. Door inzet van Mijwater kan deze energiestroom nuttig worden aangewend voor het verwarmen en koelen van gebouwen. Een zwakte is de complexiteit van het concept, waarbij meerdere stakeholders (vragers en aanbieders van warmte en koude) met elkaar verbonden worden en (semi-)tijdsafhankelijk met elkaar interacteren. Om dit mogelijk te maken is een aanzienlijke infrastructuur nodig, waarvan de kosten aanzienlijk zijn. Dit is echter niet wezenlijk anders dan bij de andere warmtetechnieken die gebruik maken van energie-infrastructuur. Op dit moment blijken er weliswaar uitstekende businesscases te maken, maar voor een grootschalige toepassing van het concept moet het gehele speelveld van de warmtevoorziening nog wel aanzienlijk wijzigen, om het mogelijke potentieel te kunnen realiseren. Om een grootschalige energietransitie in de gebouwde omgeving mogelijk te maken (LT-warmtetransitie), zal dit echter sowieso moeten gebeuren.

3.8.3 Wet- en regelgeving

In de volgende alinea's worden diverse aspecten van de wet- en regelgeving toegelicht, welke van invloed zijn op het Mijwater-concept.

Warmtewet

Verbruikers met een aansluiting van maximaal 100 kW vallen onder de Warmtewet. Woningen en kleinverbruikers vallen over het algemeen in deze categorie. De Warmtewet beschermt de kleinverbruikers door eisen te stellen aan de contracten, prijzen, meetinrichting, service en organisatie van een warmteleverancier. Jaarlijks bepaalt de Autoriteit Consument & Markt (ACM) de maximumtarieven voor de levering van warmte op basis van het Niet-Meer-Dan-Anders-principe. Dit houdt in dat 'de kosten van een gemiddelde verbruiker van warmte (in enig jaar) niet meer mogen zijn dan de kosten van een gemiddelde verbruiker van gas (voor dat jaar). De kosten voor gas bestaan onder andere uit energiebelasting, transport- en leveringskosten' (ACM, 2017). De maximumtarieven worden opgesteld voor de warmtelevering (vaste prijs + GJ-prijs), het meettarief en de aansluitkosten. De kosten voor de warmtewisselaar (of energiecentrale) vallen niet onder deze kosten.

De Warmtewet geldt niet voor koude, hiervoor zijn geen regels vastgesteld. Voor de levering van koude kunnen extra kosten in rekening worden gebracht.

Aansluitverplichting warmtenet in het Bouwbesluit 2012

Wanneer een gemeente besluit om in een gebied een warmtenet aan te leggen, kan het middels een op te stellen warmteplan een aansluitverplichting instellen voor nieuwbouw en ingrijpende renovatie¹². De aansluitplicht vervalt als het geplande aantal aansluitingen is bereikt, het warmteplan na tien jaar is verlopen en er geen nieuw warmteplan in werking is, of als op basis van de gelijkwaardigheidsbepaling een ontheffing wordt verleend. In een gebied waar een warmtenet (gepland) is, komt geen (nieuw) gasnet en vervalt het wettelijk recht op een gasaansluiting¹³.

Deze mogelijkheid komt voort uit het Bouwbesluit 2012. Het Bouwbesluit biedt echter ook de mogelijkheid voor individuele of een collectief van gebouwen om af te zien van deze aansluiting, mits deze gebouwen een eigen, gelijkwaardige oplossing hebben voor het invullen van de functionele warmtevraag. Het gaat dan om gelijkwaardigheid ten opzichte van het warmtenet in termen van energiezuinigheid en bescherming van het milieu. Kosten of andere criteria (zoals als complexiteit, innovatie of gebruiksgemak) spelen hierbij geen rol.

Een warmteplan helpt de gemeente en initiatiefnemers om helderheid te scheppen in de mogelijkheden die er zijn. In een warmteplan worden de energie- en milieuprestaties van het warmtenet vastgelegd die als *benchmark* dienen voor de alternatieve initiatieven. Daarnaast staat in het plan op welke wijze deze alternatieve initiatieven doorgerekend moeten worden, zodat uiteindelijk ‘appels met appels’ vergeleken worden. Met als doel een uitspraak te kunnen doen over de ‘mate van energiezuinigheid en bescherming van het milieu’.

Het voordeel van een warmteplan en de bijbehorende aansluitplicht voor een Mijnwater-concept is dat het een soort monopolypositie krijgt, wat gunstig is voor de businesscase en uiteindelijk ook voor de propositie aan de afnemers.

Energieprestatie van gebouwen

Voorvloeiend uit de Europese EPBD-richtlijn heeft Nederland beleid geïmplementeerd dat gericht is op de energieprestaties van nieuwbouw. Er gelden minimale eisen aan de energieprestatie van gebouwen (EPC-eis), hierin wordt zowel de energiezuinigheid als duurzaamheid meegenomen, ook energiemaatregelen op gebiedsniveau – zoals een warmtenet – kunnen bijdragen aan een betere energieprestatie (EPC-waarde).

De EPC-eis wordt geleidelijk aangescherpt. Vanaf 2021 wordt dit beleid, voortvloeiend uit het Energieakkoord, aangescherpt naar Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG). Een warmtenet met duurzame warmte kan bijdragen aan de derde BENG-eis waarin een minimum van 50% hernieuwbare energie in het primaire energiegebruik van een nieuwbouwwoning wordt vereist (LenteAkkoord, 2017).

Waterwet

Zie tekst bij LageTemperatuurAardwarmte (Paragraaf 2.8.3).

¹² Een *ingrijpende renovatie* wordt gedefinieerd door artikel 3.2 van de Regeling Bouwbesluit 2012: ‘Van een *ingrijpende renovatie* als bedoeld in artikel 5.6, derde lid, van het besluit is sprake wanneer meer dan 25% van de oppervlakte van de gebouwschil, bepaald volgens ISO 75.1, uitgave juli 2014, wordt vernieuwd, veranderd of vergroot en deze vernieuwing, verandering of vergroting de integrale gebouwschil betreft’.

¹³ Zie ACM, Gebiedsindeling Gas – RNB, per 31 januari 2013, onderdeel van de voorwaarden als bedoeld in artikel 12b van de Gaswet.

Subsidieregelingen: SDE+, ISDE

De Rijksoverheid heeft een subsidieprogramma voor de productie van duurzame energie, de regeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+). De SDE+ richt zich op bedrijven en (non-profit) instellingen. Het is een subsidieregeling op de zogenaamde onrendabele top, het verschil tussen de productiekosten per eenheid energie en de kostprijs van de referentie. Het is een subsidie die voor vijftien jaar wordt vastgelegd. De hoogte van het subsidiebedrag wordt ieder jaar gecorrigeerd aan de hand van de energieprijzen.

De SDE+ van 2017 bevat de volgende categorieën van hernieuwbare energiebronnen: biomassa (warmte en elektriciteit), geothermie (warmte), water (elektriciteit), wind (elektriciteit) en zon (warmte en elektriciteit).

De SDE+ subsidie is niet van toepassing voor warmte- en koudewinning door uitwisseling.

Een andere subsidieregeling vanuit de Rijksoverheid is de Investeringssubsidie Duurzame Energie (ISDE). Deze subsidie levert een financiële tegemoetkoming bij de investering in zonneboilers, warmtepompen, biomassaketels en pelletkachels door particulieren en zakelijke gebruikers. Deze regeling richt zich dus volledig op duurzame warmte.

In een lijst is vastgelegd welke apparaten in aanmerking komen voor de ISDE-subsidie.

De ISDE-subsidie biedt kansen voor subsidies van de decentrale warmtepompen in het Mijwaterconcept.

4 Synthese

In dit hoofdstuk schetsen we het langetermijnperspectief van het Mijwater-concept en het lagetemperatuuraardwarmteconcept (LTA). We geven daarbij aan op welke wijze de twee concepten kunnen worden verbonden met elkaar. Dit gebeurt in een aantal fasen. Met als uiteindelijk doel een aardgasvrije bebouwde omgeving.

De volgende fasen worden doorlopen:

- **Fase 0:** uitgangssituatie, conventionele verwarming en koeling;
- **Fase 1:** gebruik van stand alone Mijwater (smart thermal grid) en stand alone LTA-systeem;
- **Fase 2:** koppelen van Mijwater (smart thermal grid) en LTA-concept met een backbone;
- **Fase 3:** schaalvergroting met als resultaat een gasloze stad.

De fasering is op hoofdlijnen en is vereenvoudigd om het concept van deze transitie zo inzichtelijk mogelijk te houden. Er zullen per fase enkele jaren nodig zijn waarbij er allerlei tussenstappen moeten worden gezet. Die tussenstappen hebben wij vooralsnog buiten beschouwing gelaten en vallen ook buiten de scope en het doel van deze studie.

Om het inzichtelijk te maken hebben we per fase een situatieschets gemaakt. Op de volgende pagina is eerst een totaaloverzicht van de fasen en de situatieschets getekend. Daarbij geven we kort en bondig aan wat er gebeurt binnen de fase.

Op de pagina's erna zullen we per fase aangeven:

- beschrijving situatie;
- technische aspecten;
- financiële aspecten;
- organisatorische aspecten;
- innovatie;
- succes- en faalfactoren;
- duurzaamheid.

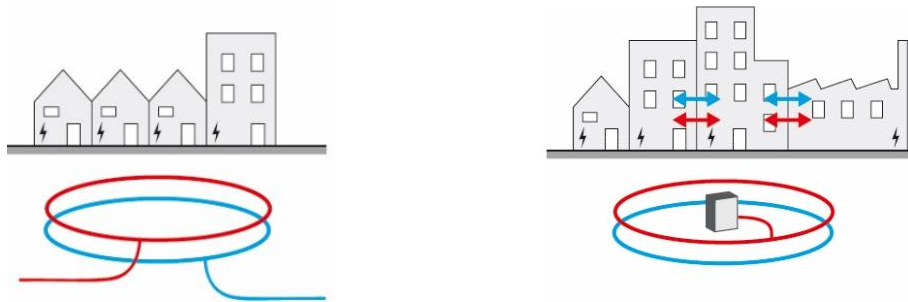
4.1 Totaaloverzicht en situatieschets

Fase 0 - Uitgangssituatie



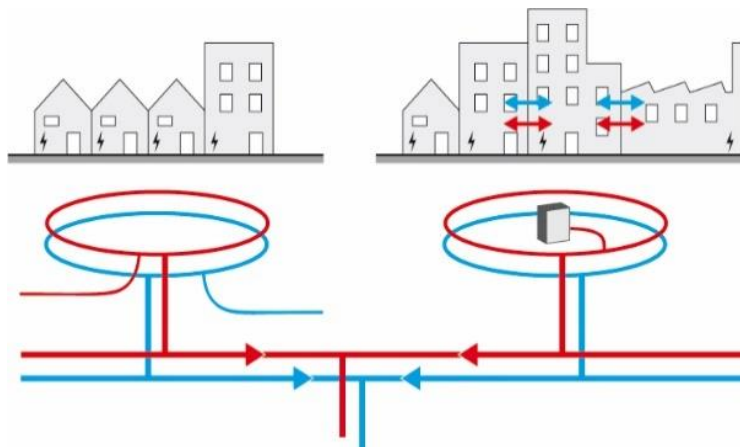
De uitgangssituatie beschrijft een stad(sdeel) waarbinnen twee verschillende gebieden worden beschouwd, waaronder een gebied met hoofdzakelijk woningbouw en een gebied met een mix van woningbouw, utiliteit en voorzieningen. De woningen en gebouwen worden conventioneel verwarmd en gekoeld. De duurzaamheid is zeer beperkt, en de afhankelijkheid van gas is groot.

Fase1 - Stand alone-concepten op wijkniveau



In deze fase is de transitie naar een gasloze ontwikkeling ingezet, waarbij de beide deelgebieden zijn voorzien van duurzame energieconcepten. Het woongebied is voorzien van een LTA-concept en het gebied met een mix van woningbouw en voorzieningen is voorzien van een smart thermal grid (Mijnwater-concept). Een dergelijke transitie is afhankelijk van overheidsbeleid en natuurlijke vervangingsmomenten van conventionele installaties. Het zal daarom meerdere jaren vergen om een dergelijke stap te doorlopen. Het resultaat zijn twee gasloze gebieden met een hoge mate van duurzaamheid. Echter vereist dit hoge voorinvesteringen die later worden terugverdiend. Aandachtspunten zijn de energetische uitputting van het geologische reservoir en de mogelijke onbalans tussen vraag en aanbod.

Fase 2 - Synthese



In deze fase worden de twee concepten aan elkaar gekoppeld door middel van een backbone. Het resultaat is een optimaal duurzaam energieconcept waarbij de bodem oneindig lang kan worden benut als warmtebron en buffer. Bovendien ontstaat er een optimale balans tussen vraag en aanbod van warmte en koude. De aangelegde backbone is een uitgelezen kans voor verdere schaalvergroting.

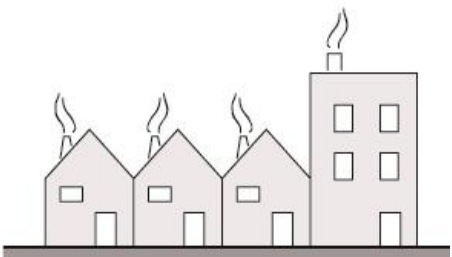

Fase 3 - Opschaling

Nieuwe wijken en warmtebronnen kunnen op kosteneffectieve wijze worden gekoppeld aan de backbone. Hiermee wordt de transitie ingezet naar een gasloze stad.

4.2 Uitwerking fasering

4.2.1 Fase 0: Uitgangssituatie

De uitgangssituatie beschrijft een stad(sdeel) waarbinnen twee verschillende gebieden worden beschouwd, waaronder een gebied met hoofdzakelijk woningbouw en een gebied met een mix van woningbouw, utiliteit en voorzieningen. De woningen en gebouwen worden conventioneel verwarmd en gekoeld. De duurzaamheid is zeer beperkt, en de afhankelijkheid van gas is groot.

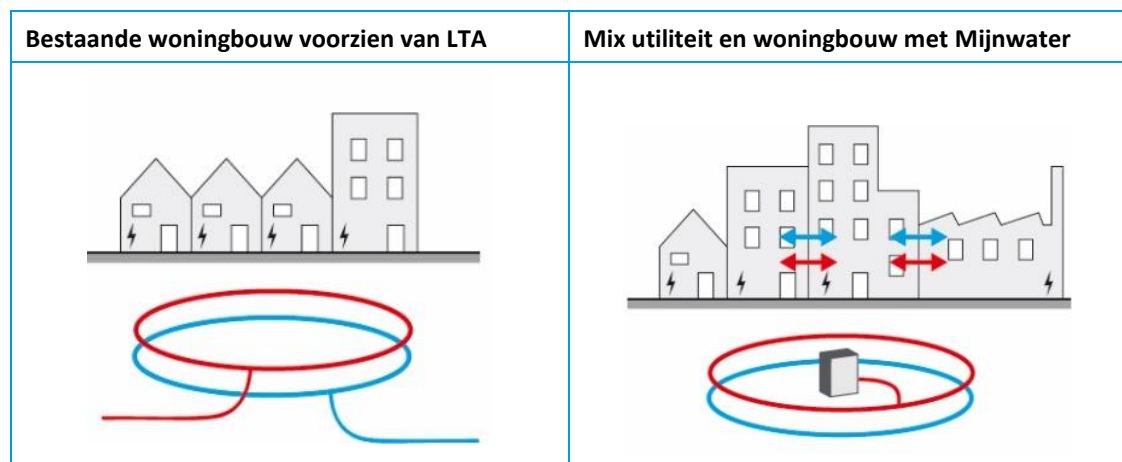
Bestaande woningbouw	Mix utiliteit en woningbouw
	
<p>Beschrijving situatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestaande bouw op wijk/buurt niveau bestaande uit hoofdzakelijk woningbouw, mix van grondgebonden woningen en appartementen. - Isolatie-niveau is slecht tot redelijk. - Een deel van de woningvoorraad is reeds geïsoleerd en voorzien van dubbelglas. - Nauwelijks koudevraag in het gebied. 	<p>Beschrijving situatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestaande bouw op wijk/buurt niveau, bestaande uit een mix van woningbouw, utiliteit en voorzieningen. - Isolatie-niveau is slecht tot redelijk. - Een deel van de gebouwen zijn reeds (na)geïsoleerd en voorzien van dubbelglas.

<p>Technische aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Afgiftesystemen in de woningen zijn traditionele radiatoren, hoge temperatuur. - Energievoorziening is voorzien van conventionele gasgestookte CV-ketels. - Infrastructuur is een aardgasnet met individuele aansluitingen op woning en/of blokniveau. - Typisch temperatuurniveau voor verwarming 70-90°C. <p>Financiële aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebouweigenaar financiert technische installaties en draagt de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten. <p>Organisatorische aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gedeeltelijk particulier woningbezit en gedeeltelijk in bezit van corporaties. <p>Innovatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uitontwikkelde techniek. <p>Succes en faalfactoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestaande techniek is robuust. - Beperkte toekomstbestendigheid. <p>Duurzaamheid</p> <ul style="list-style-type: none"> - Warmtevoorziening is niet duurzaam. 	<p>Technische aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - De gebouwen zijn voorzien van traditionele afgiftesystemen, hogetemperatuurwarmte en lage-temperatuurkoude. - Verwarming door middel van gasgestookte CV-ketels. - Utiliteit en voorzieningen worden (deels) gekoeld middels elektrisch aangedreven koelmachines. - Typisch temperatuurniveau voor verwarming 70-90°C en koeling (6°C). <p>Financiële aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebouweigenaar financiert technische installaties en draagt de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten. <p>Organisatorische aspecten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebouwen zijn gedeeltelijk particulier bezit en gedeeltelijk in bezit van commercieel vastgoedeigenaren en corporaties. <p>Innovatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uitontwikkelde techniek. <p>Succes en faalfactoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestaande techniek is robuust. - Beperkte toekomstbestendigheid. <p>Duurzaamheid</p> <ul style="list-style-type: none"> - Warmte- en koudevoorziening is niet duurzaam.
--	---

4.2.2 Fase 1: Stand alone-concepten op wijkniveau

In deze fase is de transitie naar een gasloze ontwikkeling ingezet, waarbij de beide deelgebieden zijn voorzien van duurzame energieconcepten. Het woongebied is voorzien van een LTA-concept en het gebied met een mix van woningbouw en voorzieningen is voorzien van het Mijwater-concept.

Een dergelijke transitie is afhankelijk van overheidsbeleid en natuurlijke vervangingsmomenten van conventionele installaties. Het zal daarom meerdere jaren vergen om een dergelijke stap te doorlopen. Het resultaat zijn twee gasloze gebieden met een hoge mate van duurzaamheid. Echter vereist dit hoge voorinvesteringen die later worden terugverdiend. Aandachtspunten zijn de energetische uitputting van het geologische reservoir en de mogelijke onbalans tussen vraag en aanbod.



Beschrijving situatie

- Woningen zijn aangesloten op een laagtemperatuur-warmtenet, dat gevoed wordt met ondiepe aardwarmte.

Technische aspecten

- In de wijk wordt een LTA-doublet gerealiseerd en afgewerkt in een bouwkundige voorziening.
- De CV-ketels in de woningen maken plaats voor afleversets van het warmtenet.
- Vanwege de toepassing van laagtemperatuurwarmte zijn de afgiftesystemen in de woningen aangepast of vervangen.
- Isolatiewaarden van de woningen zijn verbeterd door aanvullende isolerende maatregelen.
- Infrastructuur is een laagtemperatuurwarmtenet met individuele aansluitingen op woning en/of blokniveau.
- Typisch temperatuurniveau voor verwarming ca. 55°C.
- Warm tapwater wordt naverwarmd door middel van een booster warmtepomp.

Financiële aspecten

- Een partij investeert in de collectieve energievoorziening.
- Voorinvesteringen zijn onvermijdelijk.
- Een deel van de investeringen wordt bij de afnemers in rekening gebracht door middel van een aansluitbijdrage.
- Afnemers nemen warmte af tegen de daarvoor geldende tarieven.
- Gebouweigenaren investeren in de benodigde gebouwzijdige aanpassingen.
- Financieel voordeel door lokale duurzame elektriciteitsopwekking in combinatie met smart grid-oplossingen.

Organisatorische aspecten

- Een partij wordt geselecteerd om de energievoorziening aan te leggen en te exploiteren.
- Leveringscondities worden contractueel overeengekomen met de afnemers.

Innovatie

- De herkomst van de warmte is afkomstig van een LTA-concept, waarbinnen diverse innovaties mogelijk zijn. Te denken valt aan boorttechnologie, opbrengst-verhogende maatregelen, goedkopere materiaalkeuzes, verbeterde afgiftesystemen en slimme isolatiemaatregelen.

Beschrijving situatie

- Woningen, utiliteit en voorzieningen wisselen energiestromen uit via een intelligent vraaggestuurd netwerk, bestaande uit warmte-infrastructuur, warmtebronnen en lokale kortetermijnbuffering.

Technische aspecten

- Woningen en gebouwen zijn aangesloten op een warmte-/koudenet, waarmee warmte en koude uitgewisseld wordt.
- Lokale warmte- en koudebronnen wordt ingekoppeld aan het net, bijvoorbeeld restwarmte uit een supermarkt, datacenter, ziekenhuis, etc.
- De CV-ketels in de woningen maken plaats voor afleversets van het warmte-/koudenet.
- Vanwege de toepassing van laagtemperatuurwarmte zijn de afgiftesystemen in de woningen aangepast of vervangen.
- Isolatiewaarden van de woningen zijn verbeterd door aanvullende isolerende maatregelen.
- Infrastructuur is een laagtemperatuurwarmte-/koudenet met individuele aansluitingen op woning- en/of blokniveau.
- Typisch temperatuurniveau voor verwarming ca. 55°C.
- Koudelevering door middel van hogetemperatuur-koeling.
- Warm tapwater wordt naverwarmd door middel van een booster warmtepomp.

Financiële aspecten

- Een partij investeert in de collectieve energievoorziening.
- Voorinvesteringen zijn onvermijdelijk.
- Een deel van de investeringen wordt bij de afnemers in rekening gebracht door middel van een aansluitbijdrage.
- Afnemers nemen warmte af tegen de daarvoor geldende tarieven.
- Gebouweigenaren investeren in de benodigde gebouwzijdige aanpassingen.
- Financieel voordeel door lokale duurzame elektriciteitsopwekking in combinatie met smart grid-oplossingen.

Organisatorische aspecten

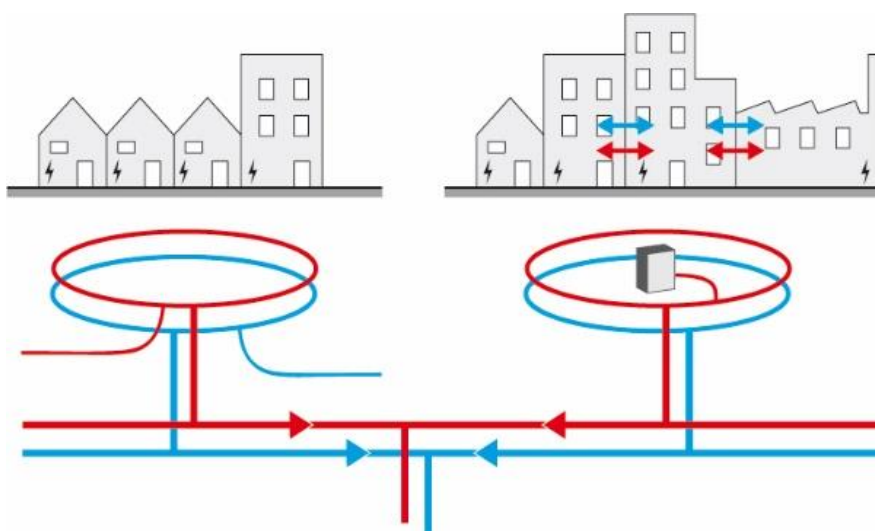
- Een partij wordt geselecteerd om de energievoorziening aan te leggen en te exploiteren.
- Leveringscondities worden contractueel overeengekomen met de afnemers.

<p>Succes en faalfactoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Er kan lokaal worden voorzien in de warmtevraag. - Afnemers worden ontzorgd ten aanzien van de warmteopwekking. - Bewoners kunnen participeren in de warmtevoorziening. - Inpassing van het LTA-doublet en warmte-infrastructuur binnen bestaand gebied vormt een aandachtspunt. - Op lange termijn vindt thermische uitputting plaatst van het geologisch reservoir. <p>Duurzaamheid</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gasloze wijk. - Significante CO₂-emissiereductie. - Schoon (geen uitstoot van warmte, rookgassen en fijnstof). - Duurzaamheid zal verder toenemen naarmate het aandeel hernieuwbare elektriciteit toeneemt. 	<p>Innovatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aan de kant van vraaggestuurde wamte-/koude-uitwisseling zijn diverse innovaties mogelijk. <p>Te denken valt aan intelligente regelingen en software-oplossingen.</p> <p>Succes en faalfactoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lokale benutting van restwarmtestromen. - Afnemers worden ontzorgd ten aanzien van de warmte-/koudeopwekking. - Bewoners kunnen participeren in de warmtevoorziening. - Organisatorisch complex: veel stakeholders en afhankelijkheden. - Inpassing van warmte-/koude-infrastructuur binnen bestaand gebied vormt een aandachtspunt. - Onbalans in vraag en aanbod vereist langetermijn-buffering (seizoensbuffering). <p>Duurzaamheid</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gasloze wijk. - Significante CO₂-emissiereductie. - Schoon (geen uitstoot van warmte, rookgassen en fijnstof). - Bestaande restwarmtebronnen worden benut.
---	--

4.2.3 Fase 2: Synthese

In deze fase worden de twee concepten aan elkaar gekoppeld door middel van een backbone en worden meer bronnen van duurzame warmte aangesloten zoals zonnewarmte, warmte uit oppervlaktewater, etc. Het resultaat is een optimaal duurzaam energieconcept waarbij de bodem oneindig lang kan worden benut als warmtebron en buffer. Bovendien ontstaat er een optimale balans tussen vraag en aanbod van warmte en koude. De aangelegde backbone is een uitgelezen kans voor verdere schaalvergroting.

Gekoppelde bestaande woningbouw (voorzien van LTA) aan het gebied met een mix van utiliteit en woningbouw (voorzien van smart thermal grid (Mijnwater-concept))



Beschrijving situatie

- De twee energieconcepten worden verbonden via een backbone. Hiermee kan energie uitgewisseld worden tussen beide netten. Ook worden aanvullende duurzame warmtebronnen bijgeplaatst.

Technische aspecten

- Een backbone verbindt beide systemen.
- Het LTA-doublet wordt niet alleen ingezet als warmtebron, maar ook als langetermijnwarmtebuffer en maakt daarmee onderdeel uit van het Mijnwater-concept.

Financiële aspecten

- Realisatie backbone vereist aanvullende investeringen.
- Financieel rendement neemt toe door synergie.

Organisatorische aspecten

- Contractuele afspraken tussen exploitanten van beide netten.

Succes en faalfactoren

- Door inzet van LTA-doublet als warmtebuffer wordt thermische uitputting voorkomen en biedt een oplossing voor thermische onbalans binnen het Mijnwater-concept.
- Maximaal energetisch rendement door schaalgrootte en efficiencyverbetering.
- Koppeling biedt kansen voor verdere schaalvergroting.

Duurzaamheid

- Aanvullend ten opzichte van Fase 1: LTA-doublet kan beschouwd worden als onuitputtelijke bron/buffer.
- Gezamenlijke energiebesparing van de synthese is groter dan de som van de besparingen van de individuele concepten.

4.2.4 Fase 3:Opschaling

Nieuwe wijken en warmtebronnen kunnen op kosteneffectieve wijze worden gekoppeld aan de backbone. Hiermee wordt de transitie ingezet naar een gasloze stad.

Beschrijving situatie

- Opschaling is mogelijk doordat via de backbone meerdere gebieden kunnen aansluiten.

Technische aspecten

- Uitbreiding van het warmtenetwerk en koppelen van nieuwe gebieden en warmtebronnen.

Financiële aspecten

- De gedane voorinvesteringen worden optimaal benut.

Succes en faalfactoren

- Door ingerichte projectorganisatie en opgedane ervaring is opschaling kosteneffectieve.
- Bedrijfszekerheid neemt toe.

Duurzaamheid

- Door opschaling wordt de transitie van gasloze wijk naar gasloze stad voltooid.

4.3 Potentieel Mijnwater-concept met lagetemperatuuraardwarmte

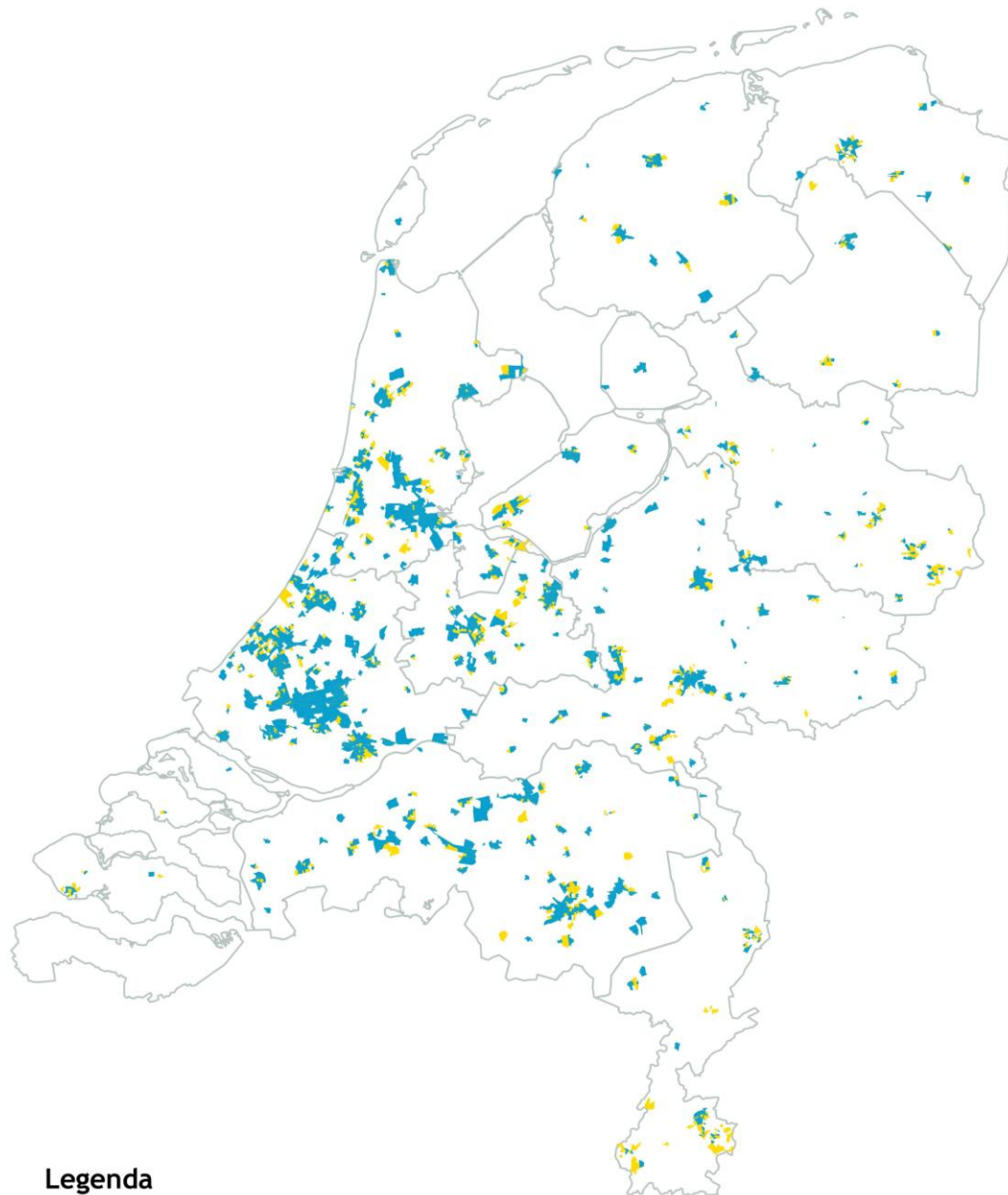
In de vorige hoofdstukken werd het Mijnwater-concept beschouwd zonder toepassing van lage-temperatuuraardwarmte (LTA). LTA kan ook een van de LT-warmtebronnen zijn in een Mijnwater-concept. Het potentieel voor LTA per buurt is bepaald en beschreven in Paragraaf 2.5 van dit rapport. Dit potentieel is in de volgende analyse gecombineerd met het Mijnwater-concept. Hierin is de fractie waarin LTA kan voorzien in de warmtevraag van een buurt gebruikt om het aantal aanvullende LT-bronnen te bepalen. Het minimum aantal LT-bronnen is een aanname om potentieel geschikte locaties in kaart te brengen. We hanteren dezelfde verdeling als voor het Mijnwater-concept zonder LTA (Figuur 29), maar verlagen het minimum aantal LT-bronnen door dit te vermenigvuldigen met een factor dat afhangt van de LTA-fractie en ronden dan af naar een geheel aantal LT-bronnen, dit gebeurt volgens de volgende verdeling in Tabel 24.

Tabel 24 - Weegfactor per LTA-factie

LTA-fractie warmtevraag buurt	Factor voor LT-bronnen
< 0,2	1
≥ 0,2	0,8
≥ 0,4	0,7
≥ 0,6	0,6
≥ 0,8	0,5

Doordat er nu minder LT-bronnen nodig zijn om een Mijnwater-concept mogelijk te maken, komen er meer buurten in aanmerking (zie Figuur 38 en Figuur 39), hierdoor is het potentieel voor een gecombineerd Mijnwater- & LTA-concept groter dan een Mijnwater-concept zonder LTA, zie Tabel 25 en Tabel 26.


Figuur 38 - Kaart van Nederland met buurten die potentieel bieden voor een Mijnwater-concept i.c.m. LTA, huidige situatie



Legenda

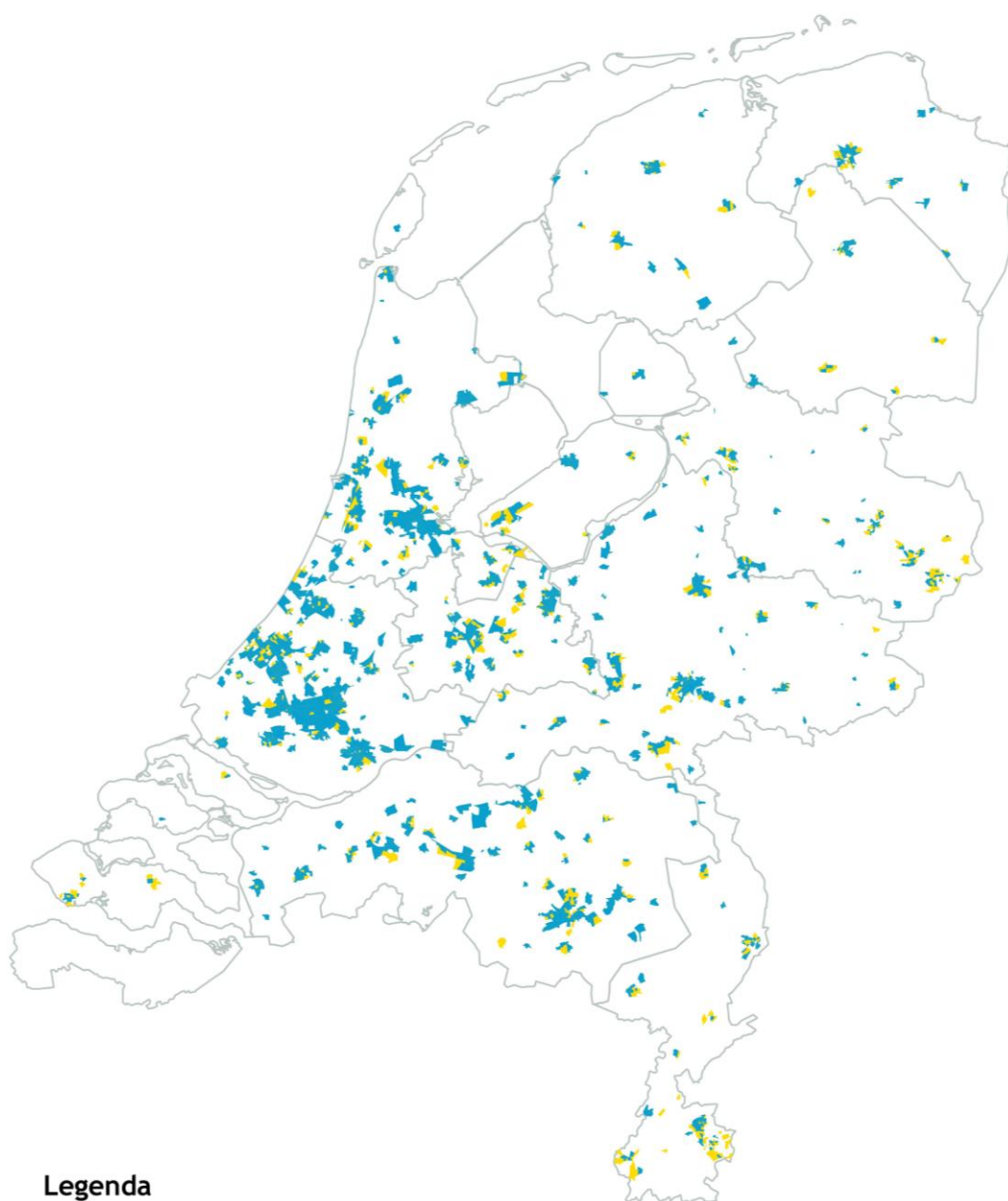
Buurten met potentieel voor Mijnwaterconcept i.c.m. LTA, volgend uit:

 ondergrensanalyse

 bovengrensanalyse (aanvullend op ondergrensanalyse)




Figuur 39 - Kaart van Nederland met buurten die potentieel bieden voor een Mijnwater-concept i.c.m. LTA, toekomstige situatie bij 25% besparing op de warmtevraag



Legenda

Buurten met potentieel voor Mijnwaterconcept i.c.m. LTA, volgend uit:

 ondergrensanalyse

 bovengrensanalyse (aanvullend op ondergrensanalyse)



Uitgaande van de toekomstige situatie bij 25% besparing op de warmtevraag, komen er nu 396 tot 835 buurten extra in aanmerking dan bij enkel een Mijnwater-concept, hierdoor is de invulling die aan de warmte- en koudevraag gegeven kan worden tot twee keer hoger. Het totaal aantal buurten dat nu

in aanmerking komt als potentieel geschikte locatie is 3.494-4.161, dit komt overeen met 29-34% van de buurten in Nederland¹⁴.

Tabel 25 - Totaal potentieel voor een Mijwater-concept i.c.m. LTA (ondergrens)

Totale warmtevraag							
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale warmtevraag	
-	huidig	PJ	170,6	115,7	52,8	2,2	27%
-	toekomst bij 25% besparing	PJ	145,0	98,7	44,1	2,2	23%
Totale koudevraag							
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale koudevraag	
-	huidig	PJ	4,4	1,5	2,9		33%
-	toekomst bij 5% groei door labelverbetering	PJ	4,6	1,6	3,1		35%

Tabel 26 - Totaal potentieel voor een Mijwater-concept i.c.m. LTA (bovengrens)

Totale warmtevraag							
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale warmtevraag	
-	huidig	PJ	226,7	158,4	65,9	2,4	36%
-	toekomst bij 25% besparing	PJ	186,4	129,9	54,0	2,5	30%
Totale koudevraag							
		Totaal	Woningen	Utiliteit	Glastuinbouw	% van totale koudevraag	
-	huidig	PJ	5,8	2,1	3,7		44%
-	toekomst bij 5% groei door labelverbetering	PJ	6,1	2,2	3,9		46%

Potentieel Mijwater-concept met zonthermische systemen

Een alternatieve aanvulling voor het Mijwater-concept, naast of in plaats van LTA, is het gebruik van grootschalige zonthermische installaties. Deze kunnen ingezet worden om warmte in de zomer op te nemen, welke in de thermische buffers wordt opgeslagen om zodoende in te zetten wanneer nodig. Deze optie is niet geanalyseerd in dit onderzoek¹⁵.

4.4 Innovatiekansen

In de volgende paragrafen worden de innovatiekansen van zowel LTA als het Mijwater-concept (smart thermal grid) benoemd. Deze kansen zijn indicaties van de mogelijkheden waarop beide concepten nog kunnen verbeteren door innovatie. Deze innovaties zijn niet iedere keer exclusief voor de concepten, maar kunnen ook voortkomen uit ontwikkelingen van andere warmteconcepten.

¹⁴ Dit komt overeen met circa 3,5 tot 4,5 miljoen woningen

¹⁵ Ook aquathermie is een mogelijk optie, maar de inpassing hiervan ligt op dit moment minder voor de hand in verband met de lagere temperatuurregimes.

4.4.1 Gezamenlijke innovatiekansen

Het belangrijkste doel van innovatie is dat de kosten van duurzame warmte in de toekomst gaan dalen, ten minste tot het niveau dat geen subsidie (SDE+) meer nodig is voor een economische bedrijfsvoering. Op alle onderdelen kan innovatie plaatsvinden, maar niet alle onderdelen zullen uiteindelijk evenveel bijdragen aan de prijsdaling.

In volgende figuren zijn globale overzichten gegeven van de diverse innovatiemogelijkheden. De verschillende onderdelen worden daaronder toegelicht.

Warmtepompen



Op sommige gebieden is relatief gezien niet zo veel meer te halen (verbetering van het rendement van warmtepompen bijvoorbeeld, zou van 65 naar 75% ten opzichte van het Carnotrendement kunnen, maar dit zal veelal ook een meerinvestering vragen) en niet alle onderdelen dragen in gelijke mate bij aan de kostprijs van de warmte.

Buffering



Decentrale buffering van warmte is een belangrijk component in het Mijnwater-concept, en kan een belangrijke bijdrage leveren aan het verlagen van de warmteprijs door:

- elektriciteitsvraag te kunnen verschuiven naar perioden met lage tarieven;
- dag en nacht en/of week/weekend qua vraag/aanbod van warmte tegen elkaar te kunnen uitwisselen en betere benutting van restwarmte van de 'buren' die op andere tijdstippen aanwezig is;
- verlaging van investeringen in de piek die nodig is voor de opwek, omdat het buffer kan bijdragen.

Er wordt op diverse¹⁶ fronten gewerkt aan nieuwe methoden voor opslag van warmte (bijv. Ecovat en project WINST). In de toekomst, als de elektriciteitsprijs verder gaat fluctueren, zal het belang van buffering alleen maar groter worden. Er liggen derhalve belangrijke innovatiekansen op dit gebied.

¹⁶ <https://app.tki-urbanenergy.nl/projects/warmte-infrastructuur-nederland-met-verlaagde-systeem-temperatuur>

Netwerk



Het netwerk vormt een belangrijk onderdeel van de investeringen. Het aandeel in de totale investering hangt sterk af van de mate van concentratie van de warmtevraag, maar kan oplopen tot meer dan de helft. Door diverse partijen wordt gewerkt aan innovatieve oplossingen die kostenreducties met zich meebrengen, bijvoorbeeld het 'straat in een dag'¹⁷ concept en het 'warmte door de lucht' concept¹⁸.

Energetische inpassing/systeemintegratie/smart thermal grids



Ook op dit onderdeel is veel te winnen. Feitelijk is het Mijnwater-concept een systeemintegratie van de warmte-/koudevraag over een gebied, gekoppeld aan de elektriciteitsmarkt, en gebruik makend van buffering en slimme regelingen om de diverse energiestromen optimaal te benutten. Soortgelijke concepten zijn ook gerealiseerd met WKO, bijvoorbeeld bij het DATES-concept zoals gepresenteerd door Velvis & Buunk (2017) tijdens het internationale Heat Pump Conference. Het eind van deze ontwikkeling is nog niet in zicht. Bijvoorbeeld door meer gebruik te maken van voorspellend regelen, van aanpassingen in het gebouwbeheer waarbij niet op een lokaal maar op een gebiedsoptimum wordt gestuurd (als er veel warmtevraag is in het gebied is het niet erg als een gebouw in de zomer veel koudevraag heeft), etc.

¹⁷ <https://thermafex.com/nl/oplossingen/straat-in-een-dag>

¹⁸ <http://www.warmtenetwerk.nl/assets/jaarcongres-2017/Weijers-Waalwijk-Warmte-door-de-lucht-WNW-15-juni-2017.pdf>

Noodzaak, mogelijkheden en prioriteiten

De kostprijs van warmte uit LTA/Mijnwater dient in de toekomst te dalen, ervan uitgaande dat het wenselijk is dat de technologie onafhankelijk wordt van SDE+, en om beter te kunnen concurreren met andere opties zoals lucht/water warmtepompen. Vooral nog lijkt het erop dat er ook nog veel ruimte is voor daling van de kostprijs van warmte uit LTA en bodemenergie/Mijnwater-concept. Op veel fronten wordt al gewerkt aan innovaties, en LTA en het Mijnwater-concept staan beide nog maar aan het begin van een ontwikkeltraject.

De innovaties op een aantal van bovengenoemde terreinen worden op dit moment vooral gestuurd door andere markten dan die van LTA/Mijnwater. Dat geldt met name voor de markten van warmtepompen en netwerken. Dit betekent dat de focus voor LTA/Mijnwater zelf zou moeten liggen op kostenverlaging van de bron, de kortetermijnbuffer en op een doorontwikkeling van smart thermal grids.

Vergroting markttoegang



Naast kostprijs van de warmte zijn er andere factoren die bepalen hoe succesvol de technologie op de markt zal zijn. Hiervan zijn de belangrijkste genoemd in bovenstaand figuur. De leveringstemperatuur is bijvoorbeeld cruciaal. Veel bestaande gebouwen vragen een temperatuur van ten minste 70°C. Voor een snelle en eenvoudige entree op de markt is het belangrijk dat deze temperatuur ook geleverd kan worden. Daarnaast zijn schaalgrootte (hoe groot moet mijn warmtevraag ten minste zijn), verkrijgbaarheid (kan ik een LTA/Mijnwater-systeem van iemand kopen, of moet dat per locatie bedacht worden), vergunbaarheid en ruimtebeslag van belang.

4.4.2 Specifieke innovatiekansen LTA

Investerings in opwek (bron en omvorming): euro/kW



De investeringskosten van geothermie worden door ECN voor de SDE+ 2017 becijferd op circa 1.700 €/kW. Voor LTA komen we in dit rapport op ca. 1.200 €/kW. Voor WKO liggen de investeringen op ca. 300 à 500 €/kW, en een warmtepomp varieert (afhankelijk van schaal en temperatuurniveau) ook globaal tussen de 200 en 500 €/kW. Dit betekent dat het belang van warmtepomp en bron ongeveer even groot zijn als van WKO gebruik wordt gemaakt, en bij LTA het meest te halen is bij daling van investeringen in de bron. Voornamelijk zijn er geen signalen die aangeven dat een van beide componenten meer of minder in prijs zouden kunnen dalen. Voor beide componenten lijken nog veel innovatiemogelijkheden te bestaan, waar in de praktijk ook aan gewerkt wordt. De investeringen die apparatenbouwers doen in warmtepompen staan (groten-)deels los van de markt voor LTA/ Mijwater. Op dit moment dalen lucht-waterwarmtepompen echter zodanig in kosten dat bodemgekoppelde warmtepompen steeds moeilijker kunnen concurreren. Vanuit LTA/ Mijwater-aanbodzijde zou de meeste aandacht daarom uit moeten gaan naar verlaging van de kosten van de warmtebron.

4.4.3 Specifieke innovatiekansen Mijwater

Optimaliseren en automatiseren van de warmte- en koudestromen

Oorspronkelijk was Mijwater vormgegeven als een systeem waarbij een warmtebron (de mijnen) werd gebruikt voor het verwarmen van gebouwen met LT-warmte. Inmiddels is het concept doorontwikkeld in de richting van een geavanceerd warmte- en koude-uitwisselingsnet met meerdere actoren. Op dit moment is het aantal actoren nog beperkt en is de aansturing daarvan nog relatief overzichtelijk. Bij een groeiend aantal actoren die diverse vraagprofielen voor warmte en koude hebben, wordt de noodzaak voor automatisering en optimalisatie groter. Mijwater B.V. is op dit moment bezig met een Europees project om hier, samen met diverse kennispartners, invulling aan te geven. Aan de hand van deze kennis kan het Mijwater-concept verder geoptimaliseerd worden en kan tegelijkertijd het toepassingsgebied van het concept worden vergroot. Door intelligent aansturen van vraag, aanbod en buffers van warmte en koude, wordt het mogelijk om het concept op veel meer plaatsen toe te passen dan alleen in Heerlen (zie ook potentieelanalyse in Paragraaf 3.5).

Opslagmanagement

Hoewel opslag/buffering een onderdeel is van het bovenstaande optimaliseren van de energiestromen in het net, vormt het ook een innovatiekans an sich. Wat op dit moment Mijnwater uniek maakt in Nederland, is de mogelijkheid om grote hoeveelheden thermische energie op verschillende temperatuurniveaus op te slaan en te bufferen. Dit komt doordat Mijnwater de beschikking heeft over meerdere putten. De kennis die hiermee wordt opgedaan kan worden omgezet in kennis hoe bijvoorbeeld aquifers in de rest van Nederland gemanaged moeten worden om een soortgelijke situatie te creëren, waarbij meerdere aquifers op verschillende temperaturen worden ingezet als buffer. Het gaat daarbij om de huidige traditionele gebruiken van de aquifers, maar ook om midden- en hogetemperatuuropslag (MTO en HTO). Hierbij is de essentie dat de energie op een zo gunstig mogelijk niveau wordt opgeslagen, zodat exergetische verliezen worden geminimaliseerd en maximaal gebruik wordt gemaakt van de capaciteit van de ondergrond.

Innovatie in het verdienmodel

Het huidige verdienmodel van Mijnwater is gesplitst in de mogelijkheden die er zijn voor kleinverbruikers (Warmtewet) en grootverbruikers. Op dit moment biedt de Warmtewet weinig tot geen mogelijkheden om het verdienmodel met betrekking tot de kleinverbruikers aan te passen. Voor de grootverbruikers daarentegen biedt Mijnwater diverse innovatiemogelijkheden voor het verdienmodel. Zo heeft Mijnwater de mogelijkheid om bij grootverbruikers de 'dienst' van warmte en koude aan te bieden. Het gaat daarbij niet om het leveren van een GJ-warmte, maar om een bepaald comfortniveau in een gebouw. En doordat Mijnwater de mogelijkheid heeft middels haar energiecentrales ook elektriciteit aan de klant te leveren tegen een gunstiger tarief, kan Mijnwater een totaalpakket van 'energie' leveren aan de klant. Hoewel deze mogelijkheden nu ogenschijnlijk afwezig zijn door de Warmtewet, zijn er mogelijk toch innovatiekansen om met dit verdienmodel ook kleinverbruikers te voorzien van een totaalpakket voor energie, waarbij tegen gunstige voorwaarden en tarieven comfort en elektriciteit worden geleverd.

4.5 Beleidskansen

Voor de verdere ontwikkeling van duurzame laagtemperatuuro oplossingen in het algemeen en LTA en Mijnwater in het bijzonder, zijn diverse beleidskansen aan te duiden. Onderstaand wordt hiervan een korte weergave gegeven. De beleidsontwikkelingen bieden een kans voor LTA/Mijnwater om zich in de komende decennia verder te ontwikkelen en een bijdrage te leveren aan de verduurzaming van de warmtevoorziening.

De actualiteit: het klimaatakkoord van Parijs en het regeerakkoord Rutte-III

Het Klimaatakkoord van Parijs vormt de basis voor het toekomstige klimaatbeleid van Nederland, zoals dat ook het uitgangspunt is in het regeerakkoord van Rutte-III. Op basis van het Klimaatakkoord van Parijs is in Nederland een CO₂-emissiereductie nodig van 85-95% in 2050 (t.o.v. 1990) voor de 2-gradendoelstelling uit het Klimaatakkoord en voor het 1,5-gradenambitie is zelfs een CO₂-emissiereductie nodig van meer dan 100%¹⁹ (PBL, 2016). Om dit te bereiken is een duurzame warmtevoorziening, zoals een Mijnwaterconcept dat kan leveren, essentieel.

¹⁹ Dit wil dus zeggen dat er ook netto negatieve broeikasgasemissies moeten plaatsvinden door bijvoorbeeld CO₂ af te vangen en op te slaan of door het aanplanten van bomen.

De kansen die het regeerakkoord van Rutte-III hiervoor biedt zijn (VVD, CDA, D66 en CU, 2017):

- Er komt een nationaal Klimaat- en energieakkoord.
- Aan het eind van de kabinetsperiode zullen nieuwe woningen en andere nieuwe gebouwen in de regel niet meer op gas verwarmd worden. Stapsgewijs zal ook de markt voor verduurzaming van de bestaande woningvoorraad op gang gebracht worden. Naarmate de expertise en ervaring in de bouwsector toenemen, zullen de kosten dalen en kan de verduurzamingsmarkt meer op eigen benen staan.
- Met gemeenten, provincies, waterschappen en netbeheerders maken we per regio een plan voor verduurzaming van de gebouwde omgeving om te komen tot een programmatische aanpak met een optimale mix van energiebesparing, duurzame warmte en duurzame opwekking.
- De aansluitplicht van gas wordt vervangen door een warmterecht, waarmee eindgebruikers aanspraak kunnen maken op een aansluiting op een (verzwaard) elektriciteitsnet of een warmtenet.
- In lijn hiermee worden de energieprestatie-eisen voor nieuwbouw verder aangescherpt en zal in nieuwbouwwijken niet meer standaard een gasnet worden aangelegd.
- Er komt een aparte regeling voor energiecoöperaties die het mogelijk maakt dat omwonenden makkelijker kunnen participeren in duurzame energieprojecten in hun directe omgeving.

Warmtevisie

In de Warmtevisie van 2015 (Ministerie van Economische Zaken, 2015) is het belang van warmtenetten en de 'weg-van-gas' beweging onderstreept. Ook wordt stilgestaan bij het lage financiële rendement van restwarmteprojecten, mede door het Niet-Meer-Dan-Anders principe in de gereguleerde tarieven. Hierbij wordt opgemerkt dat de komende jaren er iets meer ruimte komt omdat de energiebelasting op gas zal stijgen.

De minister geeft aan de komende tijd aandacht te hebben voor de effectiviteit van de huidige reguleringsmethodiek, te kijken naar mogelijke nieuwe marktmodellen en knelpunten in de financiering. Ook zal er gekeken worden naar de mogelijkheden voor 'open warmtenetten'. Regionale (rest)warmteprojecten zullen in de startfase door het ministerie worden ondersteund.

In ontwikkeling: Omgevingsvisie en de Omgevingswet

De Omgevingswet is een nieuwe wet die momenteel in voorbereiding is en naar verwachting in 2021 in werking treedt. Nu is de regelgeving voor ruimtelijke ontwikkeling nog opgenomen in verschillende wetten, in de Omgevingswet worden deze wet- en regelgeving met een ruimtelijke component gebundeld in één wet. Hiermee gaat de Omgevingswet een reeks aan wetten vervangen, waaronder de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, Wet inzake de luchtverontreiniging, Wet ruimtelijke ordening, Waterwet, Wet milieubeheer, de Woningwet, et cetera. Er komt meer beleidsvrijheid bij de gemeenten en provincies te liggen. Dit gebeurt via een aantal instrumenten:

- **Omgevingsvisie**
De omgevingsvisie is een integrale visie met strategische hoofdkeuzen van beleid voor de fysieke leefomgeving voor de lange termijn. Deze visie wordt door het Rijk, door de provincies en door gemeenten voor hun huishouding en grondgebied vastgesteld. Concreet betekent dit dat een omgevingsvisie ingaat op de samenhang tussen alle ruimtelijke thema's, waaronder water, milieu, natuur, landschap, verkeer en vervoer, infrastructuur en cultureel erfgoed.
- **Omgevingsplan/Waterschapsverordening/omgevingsverordening**
Het omgevingsplan is de uitwerking van de omgevingsvisie en bevat de regels en instrumenten die nodig zijn om de omgevingsvisie in de praktijk te brengen.
- **Omgevingswaarden**
Een overheid kan daarnaast omgevingswaarden vaststellen voor haar grondgebied; dit zijn concrete doelwaarden (bijvoorbeeld op luchtkwaliteit of geluid). Deze doelwaarden hoeven nog

niet te zijn bereikt. Wanneer een overheid nog niet aan de waarde voldoet is zij verplicht om een programma op te stellen. Programma's zijn sectoraal, en geven aan welke activiteiten een overheid zelf onderneemt op een bepaald onderwerp om een doel (bijvoorbeeld een omgevingswaarde) te bereiken.

- **Programma's**

- **Omgevingsvergunning (huidige WABO en Flora-fauna-ontheffingen, etc.)**

De omgevingsvergunning is een instrument waarmee een overheid kan toetsen of activiteiten acceptabele gevolgen hebben voor de fysieke leefomgeving. Voorbeelden zijn de vergunning voor het uitbreiden van bedrijventerreinen, of het kappen van een bos.

Transitiepad Lagetemperatuurwarmte (EZ/BZK)

In het vervolg van de Energieagenda heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, een ambtelijke verkenning gedaan naar het 'transitiepad lagetemperatuurwarmte' (EZK, BZK, 2017). In deze beleidsnotitie wordt het pad beschreven om te komen tot een CO₂-arme gebouwde omgeving in 2050 met een duurzame lage-temperatuurwarmtevoorziening, zoals beoogd in de Energieagenda van 2016 (Ministerie van Economische Zaken, 2016).

Het transitiepad biedt tal van aanknopingspunten voor een Mijnwater-concept:

- Snelle start van regionale warmtetransitie op lokaal niveau. Gemeenten maken voor 2022 plannen waar en wanneer welke alternatieve warmtevoorziening gerealiseerd is.
- Reductie van de warmtevraag van gebouwen door isolatiemaatregelen en het geschikt maken van woningen voor verwarming met lagere temperaturen (<70 graden), zodat 'nieuwe warmtebronnen, waaronder geothermie en restwarmte van bijvoorbeeld datacentra, beter worden benut en kunnen leidingverliezen (warmtenetten) en piekbelasting (elektriciteitsnetten) worden gereduceerd'.
- Naast innovaties in de reductie van de warmtevraag en de infrastructuur worden innovaties in de verduurzaming van het warmte-aanbod genoemd: 'Prioriteit hebben de inzet op geothermie (seismiek, nieuwe materialen, putbeheer), (her)gebruik lagere temperaturen, opschaling productie hernieuwbaar gas, gebruik van gasnetten voor waterstof, seizoensopslag, smart grids. Daarnaast is forse kostenreductie en productverbetering (efficiency, ruimtebeslag, geluidsniveau) bij elektrische warmtepompen nodig'.
- Ook de ruimtelijke implicaties van een duurzame lagetemperatuurwarmtevoorziening komen aan bod: 'De keuze voor een alternatief voor aardgas is in belangrijke mate afhankelijk van de inrichting van een gebied. Zo is voor een warmtenet een hoge dichtheid en zekere omvang van de vraag nodig. Door het naoorlogse verstedelijkingsbeleid in Nederland (o.a. gebundelde deconcentratie) is Nederland relatief geschikt voor grootschalige warmtenetten. Daarnaast zijn duurzame bronnen van warmte nodig in nabijheid van de vraag. Naast de nu gebruikte grote puntbronnen van hoge temperatuur ligt voor de toekomst een groot potentieel in kleine bronnen in de gebouwde omgeving, denk bijvoorbeeld aan de koeling van de supermarkt. Deze kleine bron kan bij (her)inrichting en ontwikkeling van een gebied worden betrokken. Een bedrijf met een bepaald warmteprofiel zou dan bijvoorbeeld ook kunnen zien, op welke plek het aantrekkelijk is om zich te vestigen'.

Er wordt een aantal mogelijk maatregelen genoemd, dat kansen biedt voor een Mijnwater-concept:

- Vervallen van de aansluitplicht op gasnetten en het verankeren van een warmterecht.
- Waar nodig wordt het warmterecht ondersteunt met een financieel arrangement om noodzakelijke ingrepen in een gebouw te financieren, bijvoorbeeld voor isolatiemaatregelen.
- Meer centrale regie vanuit het Rijk op warmte-infrastructuur, vergelijkbaar met elektriciteit- en gasinfrastructuur. Denk aan het aanwijzen van warmtenetregio's.

- Apart reguleren van productie, transport en levering waar dit een effectief werkend marktsysteem bevordert. Te denken is aan non-discriminatoire nettoegang, gescheiden tarieven voor aansluiten, transport en levering van warmte, kostengeoriënteerde nettatarieven.
- Overschakelen naar kostengeoriënteerde warmtetarieven, bijvoorbeeld via cost-plus-regulering per warmtebedrijf via een nieuwe Warmtewet.
- Gereguleerde netbeheerders krijgen de wettelijke taak om warmtenetten te beheren.
- Onderscheid tussen grote transportnetten en kleinere distributienetten. In de wetgeving speciale aandacht voor kleinschalige warmtenetten, particuliere en coöperatieve warmtenetten.
- Onderzoek naar mogelijkheid om distributienetten via een concessiesysteem elke 10-15 jaar aan te besteden, met vastgestelde rendementen, investeringsniveaus en duurzaamheidsdoelen.
- Stimuleren van ontwikkeling van lagere temperatuur warmtenetten (<70°C).

Wet milieubeheer en de MJA3

De Wet milieubeheer verplicht bedrijven en instellingen met een jaarlijks elektriciteitsverbruik van meer dan 50.000 kWh of meer dan 25.000 m³ aardgasequivalenten, om alle energiebesparende maatregelen te nemen met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar. Gemeenten kunnen als bevoegd gezag deze verplichting handhaven. In het energieakkoord zijn afspraken gemaakt om de handhaving van deze energiebesparingsverplichting prioriteit te geven (SER, 2013).

Indien er voor het benutten van restwarmte bij bedrijven (m.n. industrie) een businesscase met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar gemaakt kan worden, kunnen gemeenten deze maatregel afdwingen. Dit kan bijdragen aan het verkrijgen van voldoende thermische energie voor de realisatie van een Mijwater-concept.

In sommige branches geldt ook dat de maatregelen meegerekend kunnen worden in de MJA3-prestatie van het bedrijf. Meerjarenafspraken energie-efficiëntie (MJA3) zijn vrijwillige maar niet vrijblijvende afspraken tussen de overheid en bedrijfssectoren over verbetering van de energie-efficiëntie. Het doel is 30% energie-efficiencyverbetering in de periode 2005-2020. In ruil voor het naleven van de verplichtingen in de MJA3 ontvangen de bedrijven (financiële) ondersteuning van de overheid zoals teruggave van de energiebelasting.

Voor bedrijven met een MJA3-convenant kan gebiedsgerichte warmte-uitwisseling meegenomen worden als maatregel voor kentenefficiëntie (RVO, 2014). Zodoende kan de MJA3 ook gezien worden als stimulerend beleid voor MJA3-bedrijven om deel te nemen aan een Mijwater-concept.

5 Analyse, conclusies en aanbevelingen

5.1 Analyse

De concepten van lagetemperatuuraardwarmte (LTA) en Mijwater (MW) zijn kansrijke technieken die een significante rol in de Nederlandse warmtetransitie zouden kunnen innemen. Beide hebben aantoonbare voordelen boven alternatieve technieken, maar kennen tegelijkertijd ook uitdagingen.

Lagetemperatuuraardwarmte

In Nederland wordt tot op heden zo goed als geen gebruik gemaakt van de LTA en ook in de gesprekken over de verduurzaming van de warmtevoorziening van Nederland krijgt zij geen aandacht. Uit de analyses in deze rapportage blijkt dat dit onterecht is, want LTA kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de warmtetransitie. Het kan op veel locaties worden toegepast, de technische toepassingsmogelijkheden zijn goed. En ook financieel kunnen interessante proposities worden opgesteld. Deze laatste worden alleen maar beter, naarmate het gebruik van aardgas in Nederland sterker ontmoedigd wordt. LTA kent diverse varianten, waarvan het *horizontal directional drilling* op dit moment in Nederland wordt uitgewerkt en toegepast. In de komende periode komen hiervan de eerste resultaten beschikbaar.

Het combineren van LTA met het Mijwater-concept biedt aanvullende mogelijkheden voor LTA. Zo kan vanuit het bovengrondse deel van MW zowel de vraag naar warmte uit de ondergrond worden verminderd, alsook de LTA worden gebruikt als opslag van bovengrondse overschotten. Dit heeft positieve effecten voor de 'levensduur' van de LTA-bronnen²⁰ en langetermijnleveringszekerheid. Het technische potentieel voor LTA in Nederland is 229 PJ per jaar en kan daarmee 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving in Nederland voorzien. Binnen stedelijk gebied (waar de grootste kans is dat warmtenetten tot stand komen) kan zelfs meer dan 70% van de warmtevraag gedekt worden met behulp van LTA.

Mijwater

Waar Mijwater ooit begon als het eerste LTA-project voor de gebouwde omgeving, is het inmiddels het beste te beschrijven als een smart thermal grid voorzien van grootschalige buffering. Wat ooit de LTA-bronnen waren, zijn inmiddels de buffers geworden. De kern van het concept is verschoven van onder naar boven de grond. Het is nu primair een lagetemperatuuruitwisselingsstelsel met buffering (LATUS). Doordat de ondergrond niet meer als bron, maar als buffer wordt gezien, is het ook mogelijk om te kijken naar de mogelijkheden van het concept buiten de Parkstadregio. In de voorgaande analyse is daarbij gebleken dat het concept een zéér groot aandeel van de warmtevraag van de gebouwde omgeving kan voorzien: voor circa 2,0-3,6 mln woningen kan Mijwater een optie zijn. Dit kan nog groter worden, wanneer ook nieuwe, duurzame LT-warmteproductie wordt toegevoegd, zoals zonthermie en/of warmte uit oppervlaktewater. Ook de mogelijkheid om LTA te koppelen aan Mijwater biedt een vergroting van het potentieel. Het aantal woningen dat door deze combinatie kan worden voorzien, bedraagt circa 3,5-4,5 mln. Daarnaast worden ook de utiliteitsgebouwen in die buurten voorzien. Het technische potentieel voor Mijwater in Nederland is 85,7-159,5 PJ warmtelevering en 2,4-4,3 PJ koudelevering van de huidige vraag.

²⁰ Het heeft echter geen effect op de berekende potentiëlen, want dat zijn jaarpotentiëlen, waarbij geen rekening is gehouden met wel of niet uitputten de bron.

5.2 Conclusies

In de volgende paragrafen worden conclusies weergegeven voor algemeen, LTA, MW en de synthese.

Algemene conclusies

- De beschikbare kennis van de concepten Mijnwater en LTA is zeer geconcentreerd bij een beperkt aantal actoren in Nederland. Dit rapport is de eerste (openbare) analyse van deze concepten, als losstaande mogelijkheden en als gecombineerde mogelijkheid als technische mogelijkheden voor de warmtetransitie in Nederland.
- Voor beide technieken is de ervaringsbasis zeer smal: ieder concept heeft op dit moment een (zeer) beperkt aantal toepassingslocaties.
- Beide concepten bieden goede kansen voor de bijdrage aan de warmtetransitie in NL.
- Mijnwater en LTA zijn concrete voorbeelden van laagtemperatuurwarmtenetten. De uitgewerkte varianten (LT-levering en 70/40-netten) kunnen in potentie de volgende stap zijn in het verduurzamen van de huidige HT-warmtenetten en de gehele warmtevoorziening van de Nederlandse stedelijke omgeving.

5.2.1 Algemeen

- De beschikbare kennis van de concepten Mijnwater en LTA is zeer geconcentreerd bij een beperkt aantal actoren in Nederland. Dit rapport is de eerste (openbare) analyse van deze concepten, als losstaande mogelijkheden en als gecombineerde mogelijkheid als technische mogelijkheden voor de warmtetransitie in Nederland.
- Voor beide technieken is de ervaringsbasis zeer smal: ieder concept heeft op dit moment een (zeer) beperkt aantal toepassingslocaties.
- Beide concepten bieden goede kansen voor de bijdrage aan de warmtetransitie in NL.
- Mijnwater en LTA zijn concrete voorbeelden van laagtemperatuurwarmtenetten. De uitgewerkte varianten (LT-levering en 70/40-netten) kunnen in potentie de volgende stap zijn in het verduurzamen van de huidige HT-warmtenetten en de gehele warmtevoorziening van de Nederlandse stedelijke omgeving.

5.2.2 Laagtemperatuuraardwarmte

- Het gebruik van ondiepe geothermie als bron van warmte voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving is een nieuwe toepassing in Nederland. Ook de variant van horizontale filters (Horizontal Directional Drilling) is nooit eerder toegepast.
- Het technische potentieel voor LTA in Nederland is 229 PJ per jaar en kan daarmee 37% van de huidige warmtevraag in de gebouwde omgeving in Nederland voorzien. Binnen stedelijk gebied (waar de grootste kans is dat warmtenetten tot stand komen) kan zelfs meer dan 70% van de warmtevraag gedekt worden met behulp van LTA.
- Het gebruik van horizontale filters kent diverse voordelen ten opzichte van de traditionele verticale putten. Voornaamste voordeel is dat een grotere capaciteit kan worden behaald uit dunne geologische formaties.
- LTA kan worden ingezet voor directe laagtemperatuurwarmtelevering of indirecte warmtelevering in combinatie met warmtepompen. Businesscase-analyses laten zien dat indirecte warmtelevering op dit moment vanuit financieel oogpunt de interessantste optie is. Daarnaast levert dit flexibiliteit omdat de warmtelevering met warmtepompen minder afhankelijk is van de beschikbare onttrekkingstemperatuur uit de ondiepe geothermie bron.
- Binnen de gebouwde omgeving is voornamelijk (bestaande) woningbouw een interessante afzetmarkt, omdat dit marktsegment zich kenmerkt door voornamelijk een warmtevraag. Daarnaast zijn overige grootschalige warmtevragers van laagtemperatuurwarmte (ca. 40 tot 70°C) potentieel geschikte afnemers, zoals bijvoorbeeld de glastuinbouwsector.

- LTA maakt gebruik van een transportnet van meerdere buizen voor het transporteren van warmte. Door de hoge kosten van een dergelijke infrastructuur zijn de relatief compacte stedelijke omgeving en grootschalige warmtevragers, zoals glastuinbouw de meest logische toepassingsgebieden van LTA.
- Ten opzichte van warmteproductie met aardgas, levert warmteproductie met LTA een besparing op in primair energieverbruik en reductie op in de emissie van CO₂. In die toekomst zal door vergroting van het aandeel hernieuwbare energie voor landelijke elektriciteitsproductie de CO₂- emissiereductie voor LTA verder toenemen.
- Er zijn meerdere geologische lagen waar LTA gebruik van kan maken. Deze zijn niet overal in Nederland te vinden. Dit betekent dat LTA op veel, maar niet op alle locaties toepasbaar is.
- De wet- en regelgevingen zijn niet direct belemmerend voor de doorontwikkeling en grootschalige toepassing van LTA. Wel is er een aandachtspunt voor de grens tussen de Waterwet en de Mijnbouwwet op 500 meter diepte.
- LTA biedt op dit moment een omvangrijke set van innovatiekansen voor Nederland. Het gaat daarbij onder andere om ontwikkelingen in de warmtepompen, de opwek, de buffering en de warmte-infrastructuur.
- Er is op dit moment nog geen sluitende businesscase door te rekenen voor de toepassing van LTA in de bestaande woningbouw. Met een aansluitbijdrage tussen de 2.000 en 4.000 euro per woning is een rendabele exploitatie haalbaar. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat in de business-case veel onzekerheden zitten, waardoor een robuust beeld op dit moment niet mogelijk is.
- Een belangrijke onzekerheid is de geschiktheid van de gebouwde omgeving voor lagetemperatuur-warmte. De kosten van de gebouwzijdige aanpassingen zijn sterk afhankelijk van de uitgangssituatie (goed of slechte schilkwaliteit van het gebouw) en de mate waarin de afweging tussen isolatie en afgiftetemperatuur wordt gemaakt.
- Een groot deel van de ondergrond in Nederland is in principe geschikt voor LTA.
- Er zijn grote gebieden in Nederland waar wel potentieel is voor LTA, waar weinig/geen 'regulier' geothermiepotentieel aanwezig is.
- De lagen die in beeld zijn voor LTA worden nog relatief weinig benut voor andere toepassingen (WKO zit ondieper, geothermie/olie/gas zit dieper). Dat betekent enerzijds weinig interactie met andere belangen (voordeel), anderzijds relatief weinig data beschikbaarheid (nadeel).
- Door toepassing van een laagtemperatuurwarmtenet (20-40°C aanvoer) kunnen lagetemperatuur-warmtebronnen als LTA worden ingezet. Voordeel is ook dat de kosten voor een laagtemperatuur-warmtenet relatief laag zijn.
- LTA combineert uitstekend met het Mijwater-concept, in die gebieden waar er meer warmtevraag is dan lokaal aanbod van restwarmte, en waar LTA potentieel heeft. Daardoor kan e.e.a. ook gefaseerd worden gerealiseerd, hetgeen een groot voordeel is vanwege de complexiteit van het ontwikkelen van grootschalige warmteprojecten.

5.2.3 Mijwater

- Mijwater (MW) is een *smart thermal grid* dat gericht is op het uitwisselen van thermische stromen (warmte én koude) tussen aangesloten partijen. Buffering is een integraal onderdeel van het concept: buffering in ondergrondse en/of kunstmatige buffers. In de huidige en enige uitvoering tot nu toe in Heerlen, worden de ondergrondse mijnen gebruikt als geothermische buffer.
- Het technische potentieel voor MW in Nederland is 85,7-159,5 PJ-warmtelevering en 2,4-4,3 PJ-koudelevering en kan daarmee circa 2,0-3,6 mln gebouwen van klimaatneutrale warmte en koude voorzien.
- MW is een flexibel concept dat voor een grote diversiteit aan situaties toegepast kan worden.
- MW behelst een veelheid van technieken die op zichzelf staand niet innovatief zijn, maar juist door hun combinatie en aansturing een uniek en innovatief concept vormen.

- MW wordt op dit moment ingezet bij utiliteitsbouw en nieuwbouwwoningen, maar biedt ook mogelijkheden voor bestaande bouw. De technische en financiële parameters voor de bestaande bouw worden op dit moment uitgewerkt.
- Voor toepassing in de bestaande bouw zijn gebouwszijdige aanpassingen noodzakelijk. Deze liggen primair in het afgiftesysteem en in beperkte mate in de schil. Hoe beter de schil echter wordt aangepakt, hoe hoger het energetisch rendement wordt. Financieel ligt het optimum op een andere plek, waarbij maximaal besparen niet noodzakelijk is.
- Door de flexibiliteit en brede inzetbaarheid is het concept complex en kent het verschillende toepassingsvormen. Het vertalen hiervan in eenduidige beelden is uitdagend.
- MW kan op veel plekken in Nederland worden toegepast. De aanwezigheid van mijnen is géén randvoorwaarde. Wel is de uitvoering van het concept optimaler wanneer er in het gebied een mix van warmte- en koudevraag is, of een aanbod van LT-restwarmte. De mogelijkheid van groot-schalige thermische buffering in de ondergrond of kunstmatige buffers vergroot de mogelijkheden en stuurbaarheid van MW.
- MW maakt gebruik van een transportnet van meerdere buizen voor het transporteren van warmte en koude. Door de hoge kosten van een dergelijke infrastructuur is de stedelijke omgeving het meest logische toepassingsgebied van MW.
- Op dit moment is met name voor utiliteitsbouw en nieuwbouwwoningen een rendabele businesscase te maken. Voor bestaande woningbouw vormen de huidige lage kosten voor verwarmen met aardgas en de regels uit de Warmtewet een belemmering voor grootschalige uitrol. Er wordt inmiddels gewerkt aan proposities die ook hier rekening mee houden.
- Bij een veranderende referentie (verwarmen met aardgas), waarbij de kosten in de nabije toekomst sterk toe zullen nemen, wordt ook voor de bestaande woningbouw het MW-concept een rendabele optie.
- MW biedt op dit moment een omvangrijke set van innovatiekansen voor Nederland. Het gaat daarbij onder andere om de automatisering van een optimale aansturing van warmte- en koudestromen, opslagmanagement en innovatie in het verdienmodel.

5.2.4 Synthese

- MW en LTA laten zich goed combineren. Hierbij kan LTA zowel dienen als bron en als MT-buffer voor het MW-concept.
- Het lijkt mogelijk om beide concept zelfstandig te ontwikkelen en op een later stadium te combineren. En beide concepten kunnen gelijktijdig ontwikkeld worden binnen een project, zodat direct de synergie behaald kan worden.
- LTA biedt met name een aanvulling voor het MW-concept op die plekken waar bovengronds te weinig thermische bronnen zijn voor adequate uitwisseling. Door toevoeging van LTA kunnen in Nederland meer buurten gebruik maken van het MW-concept: 3.500-4.150 buurten.
- Het gecombineerde potentieel voor MW+LTA in Nederland is 171-277 PJ-warmtelevering en 4,4-5,8 PJ-koudelevering en kan daarmee 3,5-4,5 mln woningen van klimaatneutrale warmte en koude voorzien.
- MW biedt ook een aanvulling op LTA. Door een bovengrondse optimalisatie kan de vraag aan de geothermische bronnen worden gereduceerd. Dit kan de levensduur van de LTA-bron verlengen. Tevens kan de LTA-bron geregenereerd worden door MW, doordat thermische overschotten in de LTA-bron worden gestopt. Dit heeft geen effect op de berekende potentiëlen, omdat het daarbij niet mogelijk is om rekening te houden met de levensduur van de bron of de noodzaak van regeneratie.

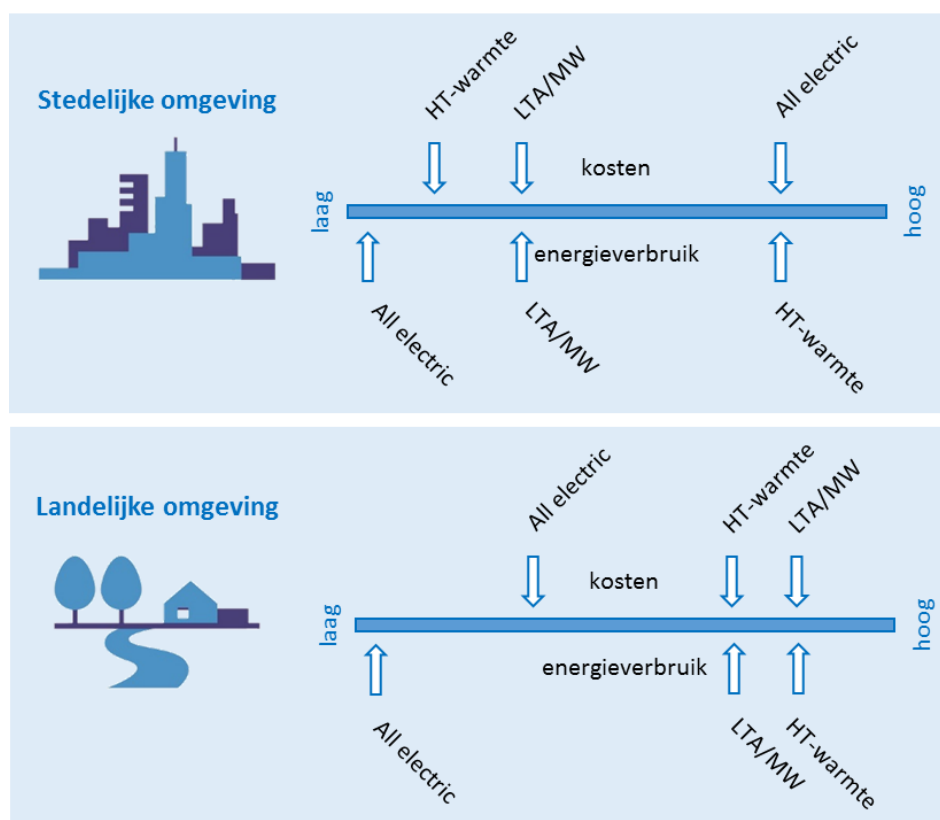
5.2.5 Positie van LT-warmtenetten in de warmtetransitie

LTA en MW zijn beide varianten van LT-warmtenetten. Ten opzichte van alternatieve klimaatneutrale warmtetechnieken kennen zij de volgende verschillen:

- In vergelijking met traditionele HT-warmtenetten op restwarmte of diepe geothermie kan een LT-warmtenet (op basis van LTA en/of MW) op veel meer locaties worden toegepast, omdat het aantal LT-thermische bronnen veel groter is en de verspreiding over het hele land. Energetisch is het verbruik van LT-netten lager dan bij HT-netten: lagere transportverliezen, beperkte schilverbeteringen bij de gebouwen zijn wenselijk, efficiënte omzetting voor ruimteverwarming en tapwater. Het kostenniveau van LT-netten ligt boven die van HT-warmtenetten. Dit komt doordat LT-netten zowel een warmtenet heeft (licht lagere kosten dan HT-warmtenet), maar daarnaast ook warmtepompen en beperkte woningaanpassingen.
- In vergelijking met all electric is het toepassingsgebied van LT-netten kleiner. All electric is een individuele warmtetechniek die geen gebruik maakt van een warmteinfrastructuur. Het is daardoor ook zeer goed van toepassing in dunbebouwde gebieden. Energetisch ontlopen beide technieken elkaar niet veel op systeemniveau. Het kostenniveau van LT-netten ligt onder dat van all electric. De kosten die in het geval van LT-netten nodig zijn voor de infrastructuur zijn per woning lager dan de kosten die in het geval van all electric worden veroorzaakt door de noodzakelijke gebouwaanpassingen.

In Figuur 40 worden de opties *indicatief* ten opzichte van elkaar gepositioneerd op de aspecten 'kosten' en 'energieverbruik'. De werkelijke positionering verschilt van buurt tot buurt en is afhankelijk van de lokale omstandigheden.

Figuur 40 - Indicatieve positioneren aardgasvrije warmtetechnieken



5.3 Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek, worden de volgende aanbevelingen benoemd:

Algemene aanbevelingen

- Breng LTA en Mijwater onder de aandacht bij mogelijke gebruikers en intermediairs via diverse media en zorg dat het is opgenomen in de diverse publiek-beschikbare databases. Opname in de Warmteatlas van RVO is hiervoor een mogelijk startpunt.
- Beide opties hebben een kip-ei-probleem: Wat ga je eerst doen? De woningen aansluiten en dan de bron of eerst de bron en dan de woningen? Hierop moet een aanpak worden ontwikkeld. De kleinschaligheid van beide concepten biedt voordelen hierbij.
- Stel een vergelijking op tussen de kosten van LT/HT-warmte-*infrastructuur*.
- Aanvullend onderzoek naar geschikt maken voor LT-warmte van bestaande gebouwen (afgiftesystemen, schilverbetering, warmtapwateroplossingen, etc.). Dit aspect geldt voor alle duurzame warmtevoorzieningen en staat in principe los van LTA of Mijwater-concept.
- Voor een 100% duurzame warmtevoorziening is het van groot belang dat de piekvraag naar warmte niet veel hoger is dan de gemiddelde vraag in de winter. Hiermee wordt onder andere het aandeel dat de piekvoorziening (meestal gas) heeft in de totale levering zo klein mogelijk gemaakt. En wordt zo veel mogelijk warmte uit de duurzame hoofdbron gehaald. Hoe dit op betaalbare wijze technisch gerealiseerd dient te worden zal verder onderzocht en gedemonstreerd moeten worden. Decentrale opslag en het afzien van nachtverlaging zijn mogelijke opties.

Aanbevelingen LTA

- Het potentieel voor LTA is nu berekend op basis van dikte en temperatuur van zandlagen. Voor de economie is ook de doorlatendheid van groot belang. Deze parameter dient nog beter gekarteerd te worden.
- Een nationale kartering voldoet niet voor het bepalen van het lokale potentieel. Het verdient (voor besluitvorming binnen gemeenten bijvoorbeeld) daarom aanbeveling om het LTA-potentieel (inclusief doorlatendheid) in een aantal gebieden op regionale/gemeentelijke schaal meer gedetailleerd in kaart te brengen. Prioriteit dient gegeven te worden aan gebieden waar wel veel warmtevraag is, maar weinig andere warmtebronnen zijn zoals diepe geothermie of restwarmte.
- Gezien de status van de techniekontwikkeling van LTA verdient het aanbeveling om meer demoprojecten te maken in verschillende ondergrond- en bovengrondsituaties.
- Er is veel LTA-potentieel tussen maaiveld en 500 m-mv. Voordeel van dit stuk van de ondergrond is dat goedkopere boortechnieken gebruikt kunnen worden, en dat kleinschalige projecten realiseerbaar zijn. Nadeel is dat in dit dieptebereik geen SDE+ verkregen kan worden. We bevelen daarom aan om het dieptebereik voor toepassing van de SDE+ uit te breiden naar geringere dieptes. Bij voorkeur tot maaiveld, maar als dat in verband met de bestaande WKO-markt niet uitvoerbaar is, dan vanaf circa 250 m diepte (daaronder wordt vrijwel geen WKO meer toegepast).

Aanbevelingen Mijwater-concept

- Voor een brede toepassing van Mijwater is inzicht nodig in de mogelijkheden van de lage-temperatuurwarmtebronnen: aantal, locatie, volume, capaciteit, profiel, etc. Dit is op dit moment nog in zijn geheel niet beschikbaar in Nederland.
- Mijwater kent een innovatief verdienmodel, maar kan dit door de Warmtewet alleen toepassen voor grootverbruikers. Aanpassingen aan de Warmtewet zouden het mogelijk kunnen maken om ook voor kleinverbruikers een innovatief verdienmodel toe te passen.

- Voor een grondige analyse van de mogelijke koppeling van de warmtevraag aan het LT-aanbod en de noodzaak van buffering, is het noodzakelijk dat goed inzicht wordt verkregen in de vraagprofielen van warmte- en koudevragers (woningen en utiliteitsbouw). Wanneer deze goed in beeld zijn, is het mogelijk om te kijken hoeveel bronnen en buffering nodig is voor een dekkende warmte- en koudevoorziening.
- Buiten het voorbeeld van Mijwater in Heerlen, is er in Nederland een zéér beperkt aantal andere demo's van buffering van hogere temperatuur in de diepere ondergrond. Het is wenselijk dat ook hiervoor meer kennis wordt ontwikkeld. Dit kan door te kijken naar het beperkte aantal bestaande systemen of door het opzetten van nieuwe demo's.
- Onderzoek de mogelijkheden van grootschalige zonthermische systemen en/of aquathermie systemen gekoppeld aan LTA en/of Mijwater. Enerzijds als warmtebron voor Mijwater en anderzijds als regeneratie van LTA.

6 Referenties

- ACM, 2017. *Warmtetarieven*. [Online]
Available at: <https://www.acm.nl/nl/onderwerpen/energie/warmte/warmtetarieven/>
- CE Delft, 2009. *Warmtenetten in Nederland - Overzicht van grootschalige en kleinschalige warmtenetten in Nederland*, Delft: CE Delft / NMa.
- CE Delft, 2016. *Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving – update 2016*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2016. *Gastransitie en warmtenetten*, Delft: CE Delft/Milieudefensie.
- CE Delft, 2016. *Ketenemissies warmtelevering - Directe en indirecte CO₂-emissies van warmtetechnieken*, Delft: CE Delft/RVO.
- CE Delft, 2017. *Analyse informatiememorandum Mijnwater BV*, Delft: CE Delft.
- ECN ; PBL ; CBS ; RVO, 2015. *Nationale Energieverkenning 2015*. Petten, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN).
- Eneco, Ennatuurlijk, Eteck, HVC, NUON en SVP, 2017. *Nationaal Warmtenet trendrapport 2017*, sl: Eneco, Ennatuurlijk, Eteck, HVC, NUON en SVP.
- EZK, BZK, 2017. *Transitiepad lage temperatuur warmte*, Den Haag: EZK, BZK.
- IEA-ETSAP and IRENA, 2015. *Solar Heat for Industrial Processes, Technology Brief*, sl: IEA-ETSAP and IRENA.
- IF Technology, 2016a. *Evaluatie Algemeen instrumentarium geothermie*, Arnhem: IF Technology.
- IF-Technology, 2016b. *Potentieel geothermie in Zuid-Holland : Toelichting potentieelkaarten geothermie*, Arnhem: IF-Technology.
- KEMA; DLV; IF-technology, 2012. *Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw*, Arnhem: KEMA; DLV; IF-technology.
- LenteAkkoord, 2017. *Woningbouw volgens BENG*, <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2017/02/Lente-akkoord-Woningbouw-volgens-BENG.pdf>: LenteAkkoord.
- Ministerie van Economische Zaken, 2015. *Kamerbrief Warmtevisie*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- Ministerie van Economische Zaken, 2016. *Energieagenda - Naar een CO₂-arme energievoorziening*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- PBL, 2016. *Wat betekent het Parijsakkoord voor het Nederlandse langetermijn-klimaatbeleid?*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, 2017. *Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rijksoverheid, 2018. *Kamerbrief over geothermie*. [Online]
Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/02/08/kamerbrief-over-geothermie>
[Geopend april 2018].
- RVO, 2001. *LTV voor nieuwbouw en renovatie; Méér comfort met minder energie*, Sittard: Novem.
- RVO, 2013. *Afwegingskader Locaties*. [Online]
Available at:
https://www.rvo.nl/sites/default/files/AfwegingskaderEnergievoorzieningLocaties_201303_Basis.xls
[Geopend april 2018].
- RVO, 2014. *Een handreiking voor het realiseren van ketensamenwerking in de industrie*, <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/12/Een%20handreiking%20voor%20het%20realiseren%20van%20ketensamenwerking%20in%20de%20industrie.pdf>: RVO.
- SER, 2013. *Energieakkoord voor duurzame groei*, Den Haag: Sociaal Economische Raad (SER).
- Verhoeven, R. & Eijdens, H., 2016. *Update (Geo-) Thermal Smart Grid Mijnwater Heerlen, presentation at the European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, 19-23 september 2016*. Brussels, EGEC.

VVD, CDA, D66 en CU, 2017. *Vertrouwen in de toekomst, Regeerakkoord 2017 – 2021*, Den Haag: VVD, CDA, D66 en CU.

A Specificaties Mijwater Heerlen

A.1 Geothermische buffers

Tabel 27 geeft een overzicht van het vermogen, energieproductie en overige eigenschappen van de verschillende geothermische warmte- en koudebronnen/buffers (ook wel putten genoemd) in Heerlen.

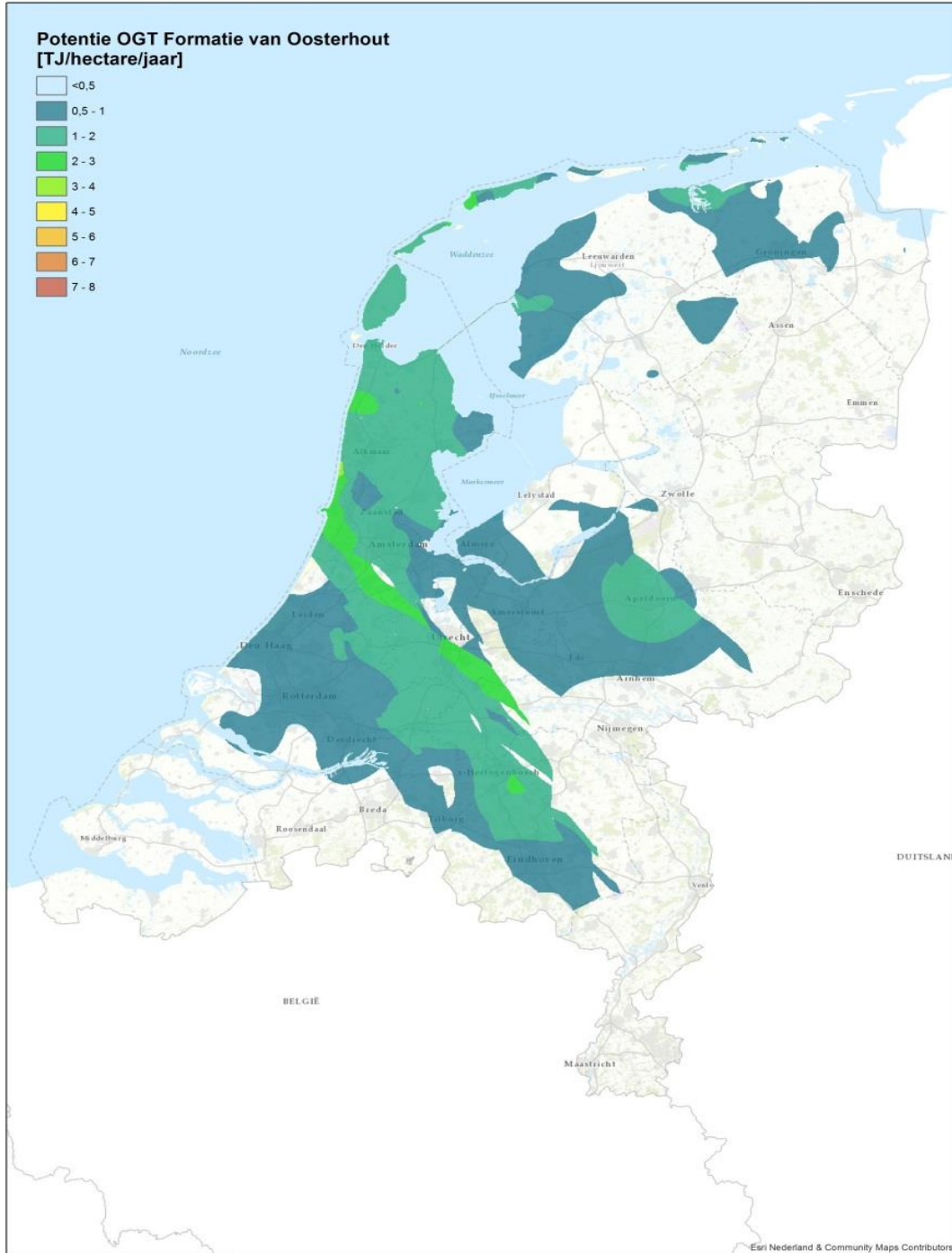
Tabel 27 - Vermogen en energieproductie putten

Type	Richting (in 2017)	Hydraulische capaciteit (m ³ /uur)		Vermogen (ca., MW)		Vollasturen (uur)		Productie (TJ)	
		Actueel	Potentieel	Actueel	Potentieel	'14	'15	'14	'15
Warme put 1	Bidirectioneel	120	180	2	3	580	1.200		
Warme put 2	Bidirectioneel	120	180	2	3	580	1.200		
Warme back-up	Bidirectioneel	0	360	0	6				
Totaal warmte		240	720	4	12			4,2	8,8
Koude put 1	Bidirectioneel	240	360	4	6	420	480		
Koude put 2	Bidirectioneel	240	360	4	6	420	480		
Totaal koude		480	720	8	12			6,0	6,9

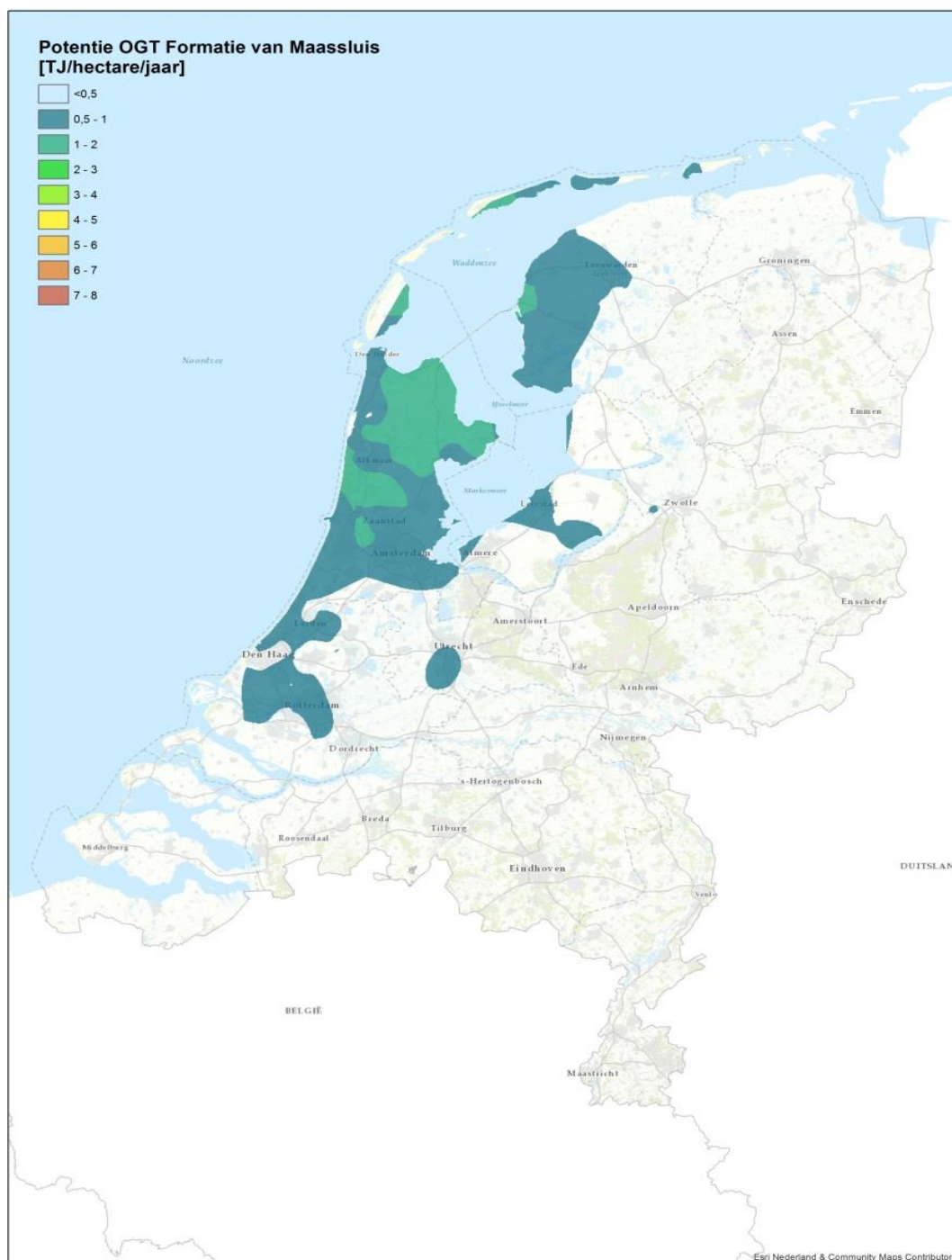
Bron: Gegevens van Mijwater B.V.

B Potentieelkaarten LTA

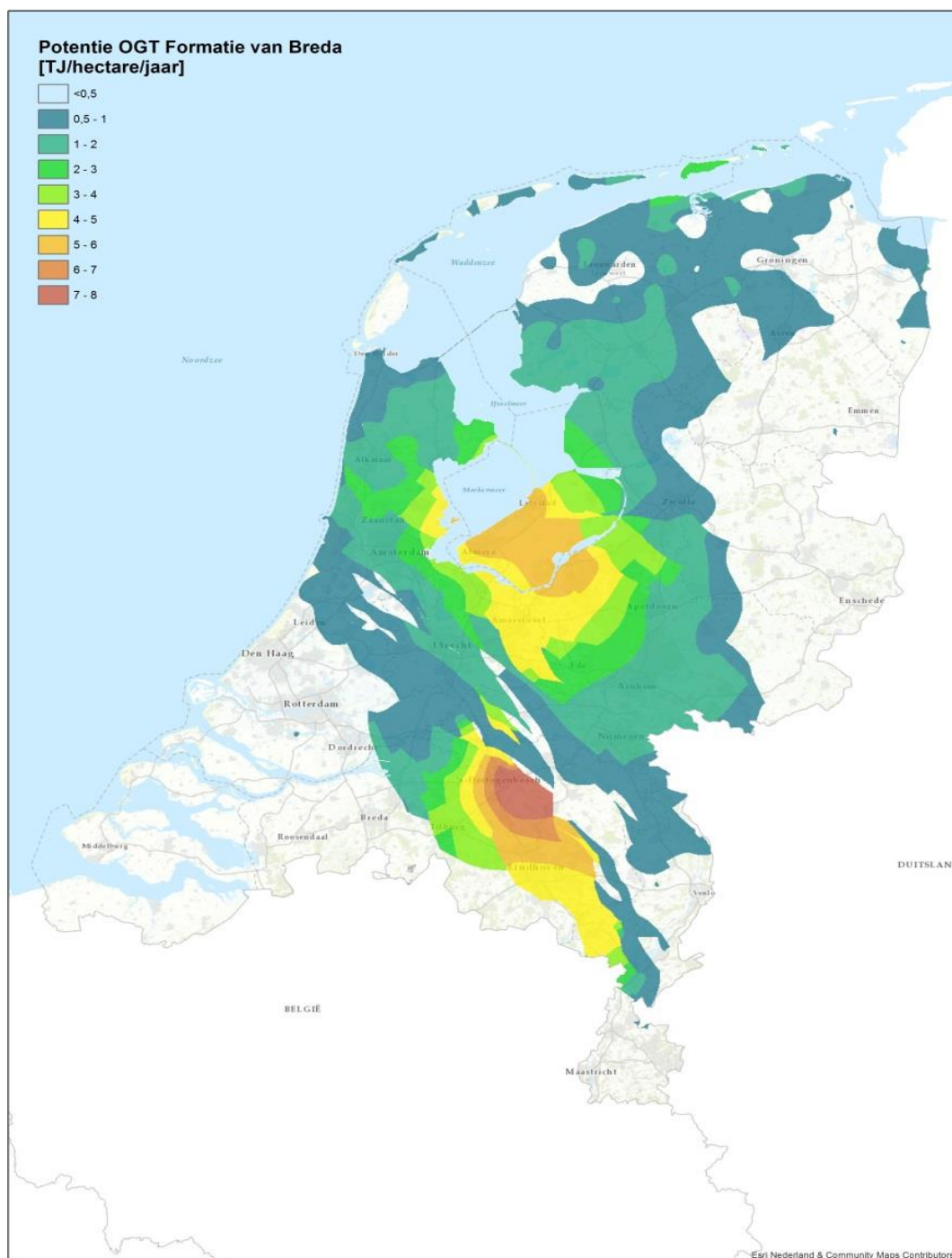
B.1 Formatie van Oosterhout



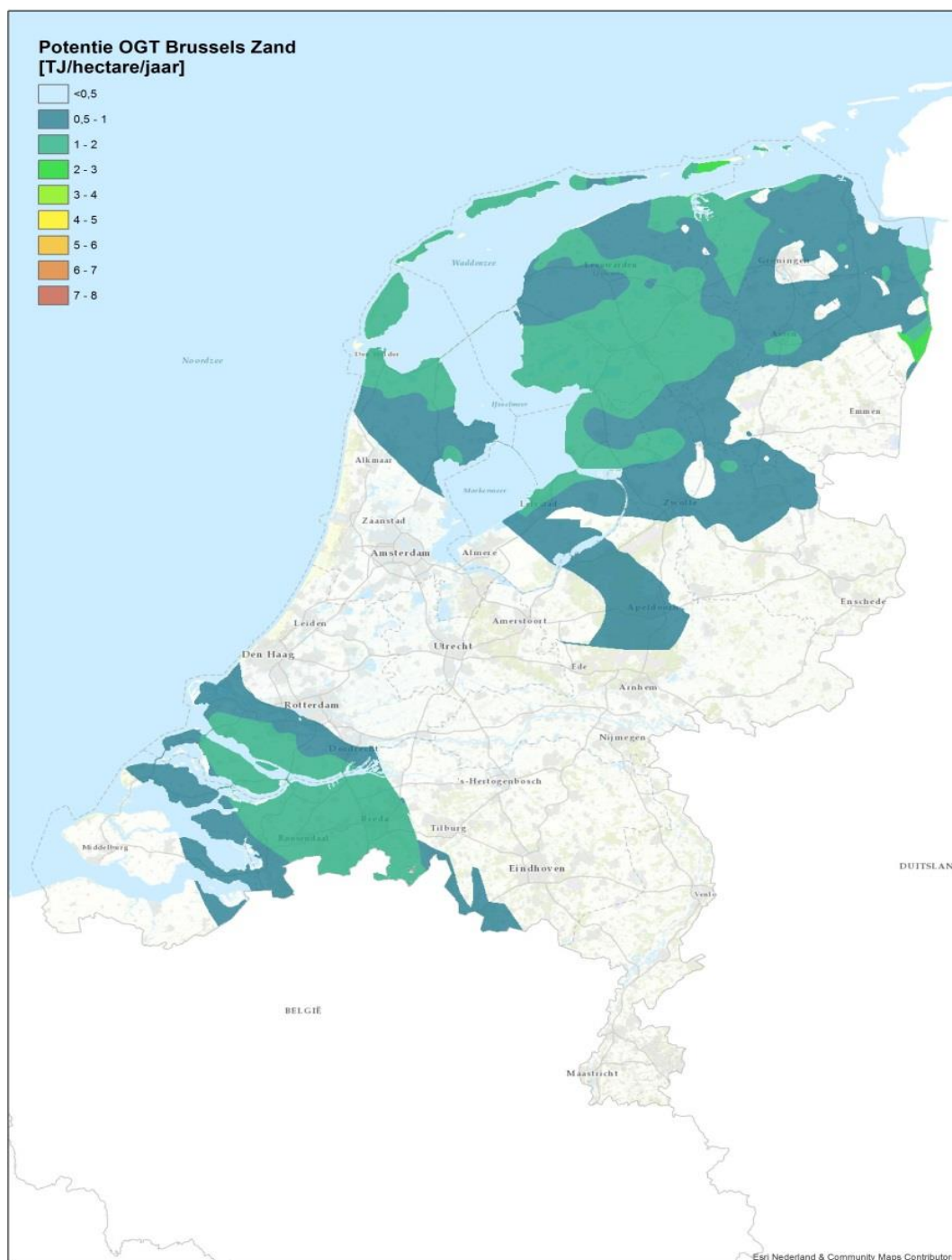
B.3 Formatie van Maassluis



B.4 Formatie van Breda



B.5 Brussels Zand



B.6 Delfzand



C Kostenraming LTA-doublet

Uitgangspunten

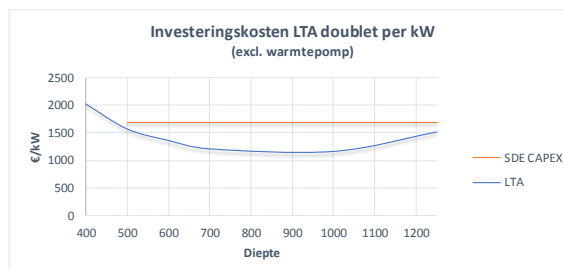
	m-mv	400	500	600	700	1000	1250
Diepte							
Horizontaal filtertraject	m	500	500	500	500	500	500
Boorlengte per put	m	1100	1200	1300	1500	1700	2000
Boorkosten	€/m	2500	2400	2300	2300	2400	2850
Onttrekkingstemperatuur	°C	19	23	26	31	40	49
Injectietemperatuur	°C	8	8	8	8	8	8
Debiet	m ³ /h	300	300	300	300	300	250
Vermogen (bronzijdig)	MW	3,8	5,2	6,3	8,0	11,1	11,9

Investeringskosten LTA doublet (alle getallen excl BTW en +/- 10%)

	m-mv	400	500	600	700	1000	1250
Diepte							
Doublet ontwerp en realisatie	€	5.500.000	5.760.000	5.980.000	6.900.000	8.160.000	11.400.000
Liner hanger (2x)	€	100.000	150.000	150.000	150.000	300.000	300.000
Warmtewisselaar en elektragroep onderwaterpomp en certiQ meting	€	175.000	239.000	287.000	366.000	510.000	544.000
Onderwaterpomp	€	125.000	125.000	125.000	125.000	175.000	200.000
Aansluiting elektra, kabel	€	50.000	75.000	100.000	125.000	150.000	200.000
Risicobeheersmaatregelen (voor geanalyseerde bekende risico's)	€	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000
Regeltechniek	€	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
Terrein, BARMM, toegang	€	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Energie en andere variabele kosten (afvoer zoutwater) tijdens boorfase	€	200.000	219.000	237.000	273.000	310.000	364.000
BOP toepassen, diverter	€	0	0	0	0	200.000	300.000
Ontgassingsinstallatie (stelpost)	€	0	0	0	0	500.000	500.000
Overige bedrijfskosten	€	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Onvoorzien bij boringen dieper dan 1.000 m	€	0	0	0	0	700.000	1.900.000
Projectmanagement, SDE, vergunningen	€	200.000	200.000	200.000	200.000	250.000	300.000
Verzekeringen	€	280.000	300.000	310.000	360.000	480.000	670.000
Debietverzekering, maatregelen, clean out	€	354.000	386.000	415.000	475.000	537.000	626.000
Totale investeringskosten (exclusief warmtepomp)	€	7.739.000	8.209.000	8.559.000	9.729.000	13.027.000	18.059.000
Investeringskosten per kW	€/kW	2.022	1.573	1.366	1.216	1.170	1.519

Opmerkingen:

- alle bedragen zijn exclusief BTW
- kosten zijn exclusief buffers, netwerk, gebouw, bestemmingsplankosten
- Uitgangspunt is onderlinge filterafstand van 1.000 meter ondergronds
- Rekening gehouden met een conductor to 75 meter diep
- Referentie SDE CAPEX Getothermie op basis van SDE regeling 2017
- Permeabiliteit en daarmee haalbare capaciteit kan variëren per formatie



Onderhoud en beheer (bedragen zijn +/- 20%)

	m-mv	400	500	600	700	1000	1250
Diepte							
Onderhoud	€/jaar	60.000	60.000	60.000	75.000	140.000	190.000
Personeelskosten operator	€/jaar	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Administratiekosten	€/jaar	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Monitoringssysteem/telefoon	€/jaar	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Verzekeringen	€/jaar	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Reservevelden	€/jaar	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Afvoerkosten	€/jaar	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Onvoorzien	€/jaar	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Totaal onderhoud en beheer	€/jaar	170.000	170.000	170.000	185.000	250.000	300.000

D Alternatieve warmteconcepten

D.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een korte beschrijving van de alternatieve warmteconcepten die concurrerend of aanvullend zijn met het Mijwater-concept en lagetemperatuuraardwarmte. Het gaat hierbij om andere collectieve opties en individuele opties.

D.2 Collectieve warmtenetten o.b.v. (fossiele) restwarmte

Kenmerken:

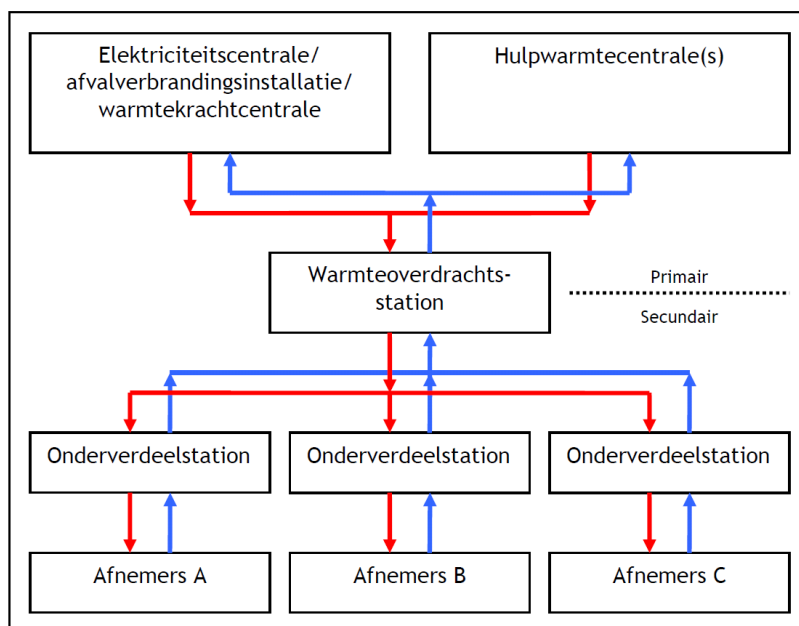
- collectieve HT-warmtedistributie, gebouwaanpassingen niet nodig;
- gebruik van restwarmte van één of een zeer beperkt aantal bronnen;
- meestal zorgen hulpwarmteketels voor de piekvraag;
- energie-efficiënt door benutting restwarmte, maar meestal van fossiele oorsprong;
- aanbodgestuurd, zeer beperkte opslag, geen koude.

Veel van de huidige warmtenetten in Nederland zijn warmtenetten die (fossiele rest)warmte van een hoge temperatuur (~90°C aanvoertemperatuur) aanbodgestuurd distribueren naar woningen en bedrijven in stedelijk gebied. De (rest)warmte kan afkomstig zijn van verschillende bronnen, de tien grootste warmteleveranciers (95% van de warmtemarkt) passen voornamelijk biomassaketels, WKO, restwarmte van AVI's, restwarmte uit de industrie, fossielgestookte WKC's en WKK's, fossielgestookte gasketels, geothermie en biomassa of biogasgestookte WKC's toe (Eneco, Ennatuurlijk, Eteck, HVC, NUON en SVP, 2017). Voor de piekvraag en leveringszekerheid worden veelal hulpstookinstallaties geïnstalleerd, die extra warmte produceren als de primaire warmtebron niet in de warmtevraag kan voorzien. Figuur 41 illustreert een typisch grootschalig warmtenet.

Vanwege de hoge retourtemperatuur ($\geq 50^\circ\text{C}$), kan de retourleiding niet direct gebruikt worden voor koeling. Conventionele warmtenetten voorzien daarom alleen in warmte, de koude kan desgewenst in de individuele gebouwen worden gemaakt met conventionele koeling.

Door de hoge temperaturen in deze warmtenetten kunnen in principe alle gebouwen aangesloten worden zonder dat er aanvullende maatregelen in de gebouwen hoeven te worden genomen. In Tabel 28 toont een overzicht van de kenmerkende verschillen tussen hoge- en lagetemperatuurverwarming. De beschikbaarheid van lagetemperatuurrestwarmtebronnen is veel groter dan de beschikbaarheid van hogetemperatuurrestwarmtebronnen.

Figuur 41 - Schematische weergave van een typische opzet van een grootschalig warmtenet



Bron: (CE Delft, 2009).

Tabel 28 - Kenmerkende verschillen tussen hoge- en lagetemperatuurverwarming

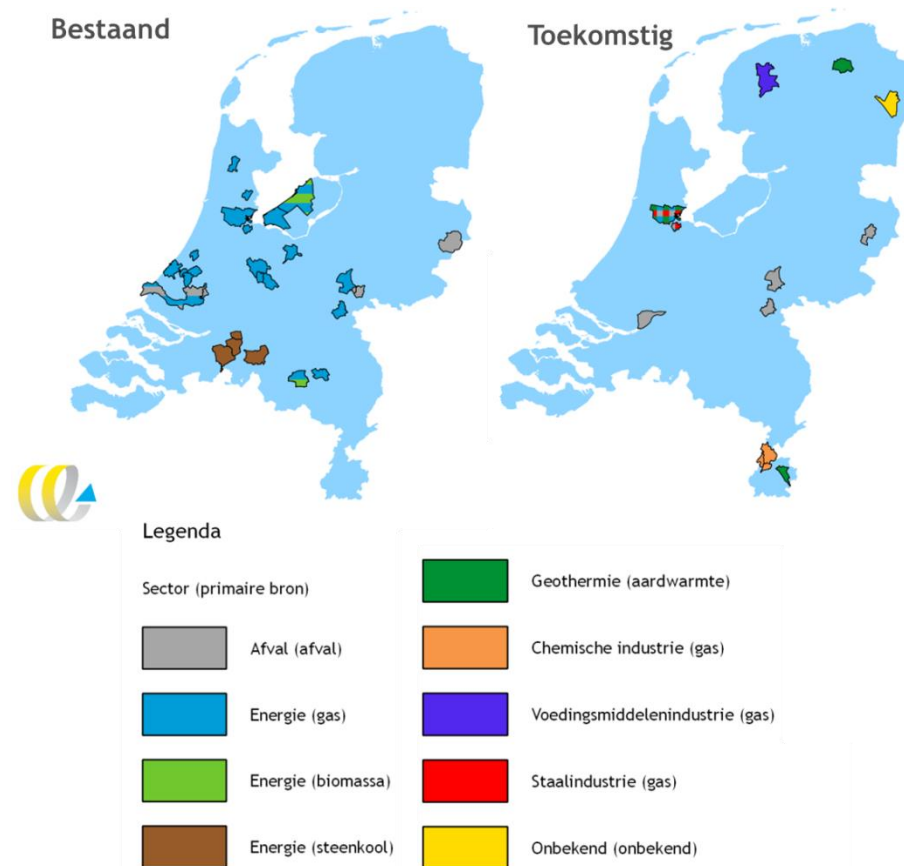
	Hogetemperatuurwarmte	Lagetemperatuurwarmte
Aanvoertemperatuur	80–90°C	25–55°C
Warmtesystemen	CV-ketel, conventioneel warmtenet	WKO, LT-warmtenet, warmtepomp
Afgiftesystemen	Radiator, convectoren, evt. na verlaging van de temperatuur ook vloer-/wandverwarming en via toevoerlucht	Vloer-/wandverwarming, LT-radiatoren/convectoren, stralingselementen en via toevoerlucht
Kenmerken gebouw	Geschikte voor alle gebouwen, maar hoe beter geïsoleerd, hoe lager de warmtevraag voor hetzelfde comfortniveau	Redelijk tot goed geïsoleerd gebouw en aangepast afgiftesysteem. LT-afgiftesystemen creëren een gezonder binnenklimaat dan HT-radiatoren (RVO, 2001)

Geschikte locaties voor (rest)warmtenetten bevinden zich in met een grote bebouwingsdichtheid (en dus grote warmtevraag). Daarnaast moet er in de nabijheid een (rest)warmtebron zijn die voldoende warmte kan leveren op het benodigde temperatuurniveau. In het algemeen gaat het dan om stedelijk gebied. In Figuur 42 zijn de gemeenten getoond waarbij nu grootschalige (rest)warmtenetten van meer dan 2.000 aansluitingen zijn gerealiseerd of in de planning zijn (voor zover bekend). In de figuur eronder (Figuur 43) is een overzicht gegeven van de huidige potentiële industriële restwarmtebronnen (CE Delft, 2016).

De warmtesector zelf verwacht dat in 2050 geothermie de belangrijkste bron voor de warmtenetten zal zijn (Eneco, Ennatuurlijk, Eteck, HVC, NUON en SVP, 2017). Eind 2016 heeft CE Delft een onderzoek gepubliceerd waarin per buurt in Nederland berekend is wat de klimaatneutrale warmtevoorziening met de laagste kosten is voor de woningbouw in 2050 (CE Delft, 2016). Uit deze studie komt naar voren dat het potentieel in 2050 voor restwarmte (via warmtenetten) 1,3 miljoen woningen is (60 PJ warmtevraag), dit ten opzichte van 0,3 miljoen woningen in 2012, zie Figuur 44.

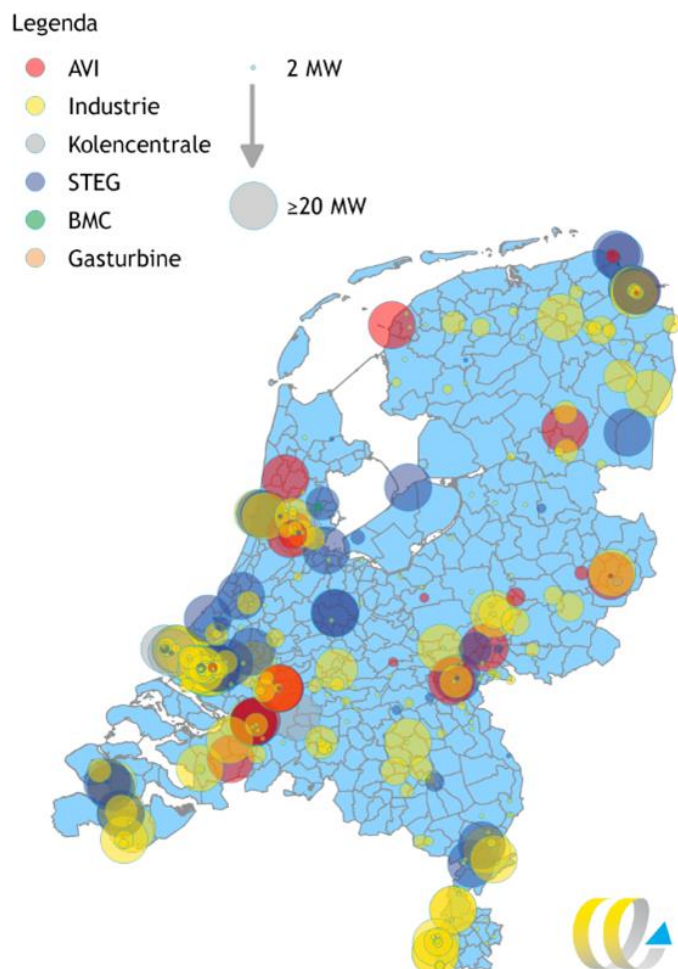
In een klimaatneutraal 2050 zullen niet alle huidige restwarmtebronnen meer beschikbaar zijn, zo is de beschikbaarheid van warmte uit kolencentrales onzeker.

Figuur 42 - Bestaande en toekomstige grootschalige (rest)warmtenetten en primaire bron (>2.000 aansluitingen)



Bron: (CE Delft, 2016).

Figuur 43 - Ligging van potentiële industriële restwarmtebronnen



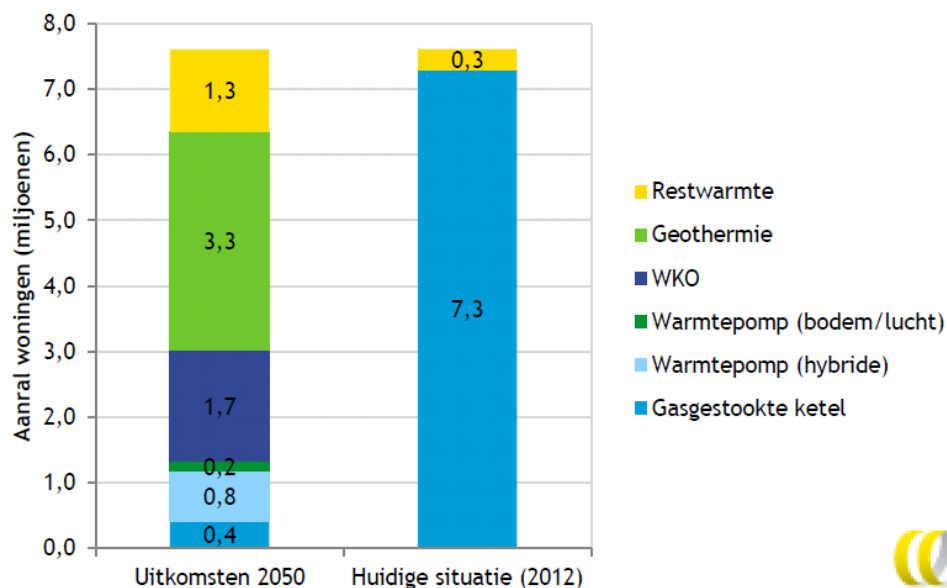
Bron: (CE Delft, 2016).

Het gebruik van restwarmte van industrie telt niet mee als duurzame energie of als finale energiebesparing en draagt daarmee niet bij aan de doelen van het Energieakkoord. Wettelijke middelen om het gebruik van industriële restwarmte te stimuleren ontbreken (PBL, 2017).

De milieuprestaties van een warmtenet zijn afhankelijk van de warmtebronnen. Bij hoge temperatuur warmtetransport zijn er relatief grote transportverliezen (ongeveer 25% (CE Delft, 2016)). Door dit transportverlies, elektrische hulpenergie en doordat er vrijwel altijd bijstook met gasketels plaatsvindt, kennen ook duurzame warmtebronnen CO₂-emissies.

Tabel 29 toont een overzicht van de CO₂-emissies van warmtenetten met verschillende warmtebronnen in vergelijking met een (decentrale) gasgestookte HR-ketel.

Figuur 44 - Verdeling aantal woningen per techniek, uitkomsten 2050 versus huidige situatie (2012)



Bron: (CE Delft, 2016).

Tabel 29 - Totale ketenemissies warmtelevering per geleverde GJ warmte (in kg/GJ_{th}) voor verschillende warmtebronnen in vergelijking met warmte via een gasgestookte HR-ketel (situatie 2015)

In kg CO _{2eq} per gebruikte GJ warmte	STEG	AVI	Geothermie	Biocentrale (Nederlands, snippers)	Biocentrale (Canadees, pellets)	Restwarmte	Referentie: HR-ketel
Indirecte emissies	3,4	3,4	1,6	10,5	18,9	0,9	3,7
- Gaswinning	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	2,6
- Gastransport	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
- Biomassawinning				6,7	13,4		
- Biomassatransport				2,9	4,6		
- Elektriciteitsgebruik	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,4
- Elektriciteitsderving	2,5	2,5					
Directe emissies	32,5	23,1	23,4	15,3	15,3	20,6	62,7
- Conversie hoofdbron (80%)	14,6	6,6	6,9	0,0	0,0	4,5	57,7
- Conversie bijstook (20%)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
- Transportverlies	4,7	3,3	3,3	2,1	2,1	2,9	
- Hulpenergie	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	5,0
Totaal	36,0	26,5	25,1	25,8	34,2	21,5	66,4
Besparing t.o.v. referentie	46%	60%	62%	61%	48%	68%	

Bron: (CE Delft, 2016); in de voorketen vinden ook emissies plaats, hier indirecte emissies genoemd. Het gaat hier om de emissies in de keten van winning van de brandstof tot het gebruik in de warmtebron.

D.3 All electric met individuele warmtepompen

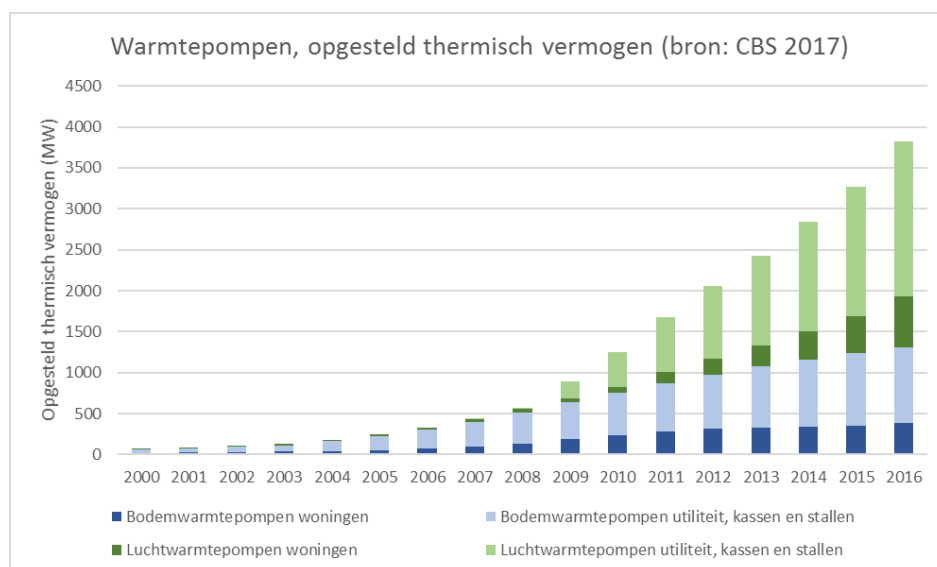
Met elektrisch aangedreven warmtepompen is het mogelijk om gebouwen of woningen op efficiënte wijze te voorzien van warmte, zonder dat daarvoor een aardgasaansluiting nodig is.

Warmtepompen worden binnen de gebouwde omgeving voornamelijk toegepast in de volgende vormen:

- collectieve warmtepompen, in combinatie met een WKO-systeem voor warmtelevering op gebiedsniveau (warmtenet);
- individuele warmtepompen, gekoppeld aan een collectief WKO-systeem (bronwarmte net);
- individuele warmtepompen, voorzien van een eigen WKO-systeem op woning- of gebouwniveau (open bronnen of gesloten bodemplussen);
- individuele warmtepompen, met (buiten)lucht als warmtebron op woning- of gebouwniveau, bestaande uit lucht/water- en lucht/lucht warmtepompen.

Het gebruik van warmtepompen voor verwarming van woningen en utiliteitgebouwen groeit gestaag. In Figuur 45 is de groei van het opgesteld vermogen aan warmtepompen weergegeven op basis van gegevens van het CBS, uitgesplitst naar bodem- en luchtwarmtepompen en woningbouw en utiliteit, kassen en stallen.

Figuur 45 - Opgesteld thermisch vermogen warmtepompen (CBS, 2017)



Bovenstaande grafiek laat een sterke groei zien in het totaal opgesteld thermisch vermogen van warmtepompen in de afgelopen jaren.

De toepassing van warmtepompen past uitstekend binnen de transitie naar gasloze wijken. Ook binnen de concepten van LTA en Mijwater spelen warmtepompen een belangrijke rol. Hierbij wordt laagwaardige warmte vanuit een collectief systeem onttrokken/uitgewisseld en al dan niet op collectief en/of decentraal niveau door middel van warmtepompen opgewaardeerd naar de gewenste temperatuur. Voor toepassing van deze concepten is collectiviteit/schaalgrootte nodig.

Hiertegenover staat de toepassing van individuele warmtepompen, waarbij per woning of gebouw een eigen bron wordt toegepast, bijvoorbeeld:

- individuele warmtepompen met bodemlussen;
- lucht/waterwarmtepompen.

Met name de lucht-/waterwarmtepompen worden vanuit de installatiebranche sterk gepromoot als duurzaam alternatief voor aardgasgestookte ketels in de renovatiemarkt. Lucht/waterwarmtepompen kunnen eenvoudig gecombineerd worden met lokale opwekking van hernieuwbare elektriciteit, wat resulteert in duurzame, of zelf energieneutrale warmteopwekking.

Bij lucht/waterwarmtepompen wordt warmte uit de buitenlucht gehaald en op een hogere temperatuur afgegeven aan het verwarmingssysteem in de woning. Het rendement voor warmteopwekking is afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht. Hoe lager de buitentemperatuur, hoe lager het opwekkingsrendement.

Een lucht/waterwarmtepomp bestaat uit een zogenaamde buitenunit en een binnenunit. De buitenunit bevat een ventilator met warmtewisselaar om de warmte aan de buitenlucht te onttrekken en over te dragen aan het koudemiddel. In de binnenunit wordt de warmte overgedragen aan het verwarmingssysteem in de woning en de boiler voor het warm tapwater.

Figuur 46 - Lucht/waterwarmtepomp



In de markt zijn modellen leverbaar die naast warmte ook koude kunnen opwekken. Dit betreft altijd actieve koudelevering, waarbij het elektriciteitsverbruik vergelijkbaar is met een conventionele airco-unit.

Ten opzichte van de toepassing van laagtemperatuuraardwarmte heeft de toepassing van luchtwaterwarmtepompen een aantal nadelen:

- Inpassing van de buitenunits. Deze kunnen bijvoorbeeld op maaiveld, het dak of aan de gevel van het gebouw worden geplaatst. Voor nieuwbouwtoepassing zijn er mogelijkheden om de buitenunits te integreren in de bouwkundige voorzieningen. Bij toepassing in de bestaande bouw dient rekening te worden gehouden met de lokale omstandigheden, waardoor dit in belangrijke mate het aanzicht van een woonwijk sterk kan beïnvloeden.
- Er dient rekening te worden gehouden met geluidsproductie. De ventilatoren in de buitenunits zijn ontworpen met een relatief lage geluidsproductie, maar de geluidsproductie kan toch als hinderlijk ervaren worden, met name in de nacht. Dit effect kan versterkt worden bij grootschalige toepassing in de gebouwde omgeving en kan weerstand opleveren bij omwonenden.
- Bij zeer lage buitentemperaturen (strengere vorst) is het rendement van een lucht/waterwarmtepomp dermate laag dat dit een forse belasting trekt op het elektriciteitsnet en het energieverbruik is erg hoog. Bij grootschalige toepassing van lucht/waterwarmtepomp dient rekening te worden gehouden met verzwaring van het elektriciteitsnet in het gebied.

Figuur 47 - Impressie plaatsing buitenunits



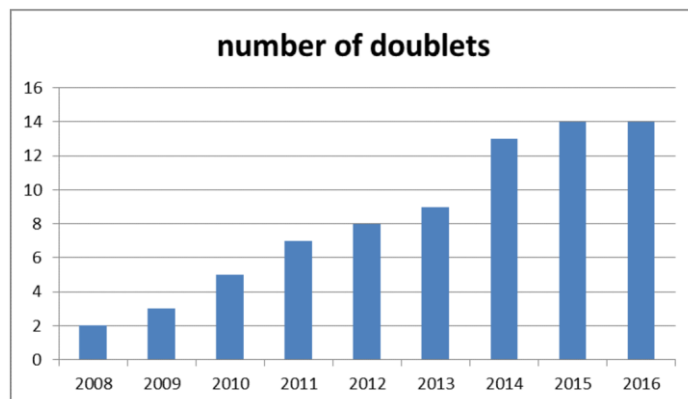
Voordelen van luchtwaterwarmtepompen ten opzichte van laagtemperatuuraardwarmte zijn:

- individuele all electric-toepassing, waarbij geen afhankelijkheid bestaat van een externe warmteleverancier.
- relatief eenvoudig te installeren en op grote schaal goed faseerbaar te implementeren bij natuurlijke vervangmomenten van de huidige installaties, zonder benodigde voorinvesteringen.

D.4 Diepe geothermie (> 1.250 meter diepte)

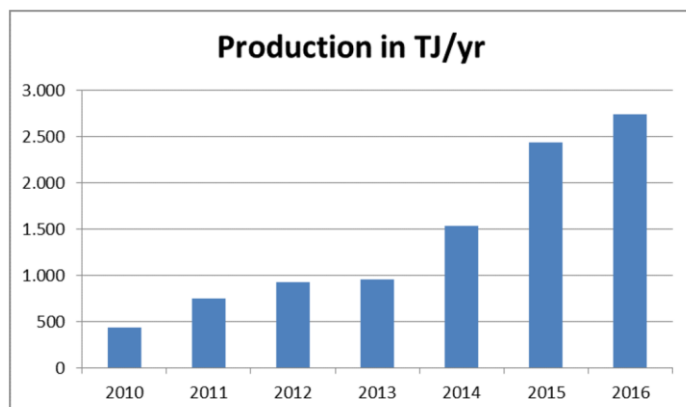
De ‘reguliere’ diepe geothermiemarkt ontwikkelt zich op dit moment snel. Dit laat zich het best illustreren aan de hand van de figuren waarin de ontwikkeling in de afgelopen jaren is weergegeven:

Figuur 48 - Ontwikkeling van het aantal doubletten in de tijd



Bron: Platform Geothermie.

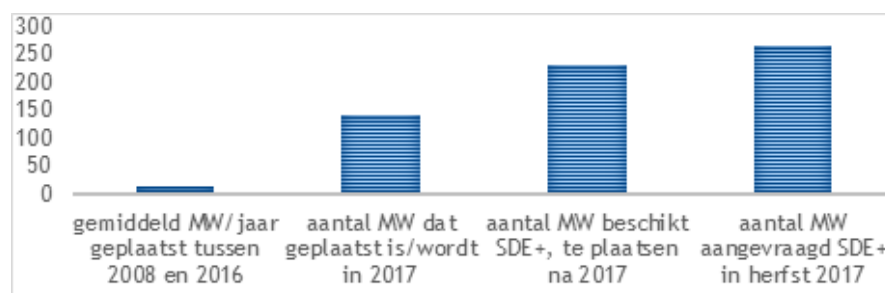
Figuur 49 - Ontwikkeling van het aantal TJ/jaar dat door geothermie wordt geleverd in NL



Bron: Platform Geothermie.

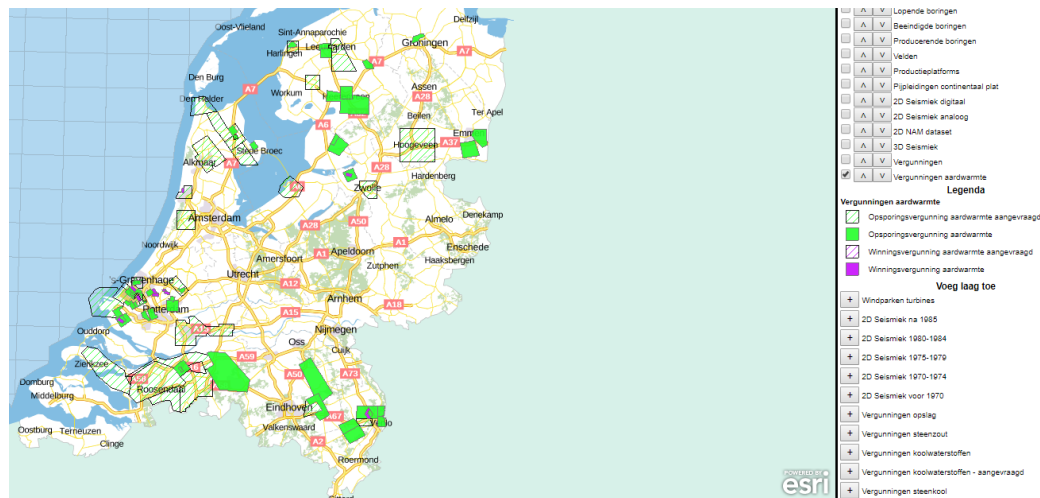
De verwachting is dat de ontwikkeling zich in de komende jaren gaat doorzetten. Dat is enerzijds gebaseerd op de toegewezen en aangevraagde SDE+ subsidie, en anderzijds op de nieuw aangevraagde opsporingsvergunningen.

Figuur 50 - Ontwikkeling van de markt in de nabije toekomst. Geplaatst, toegewezen en aangevraagd SDE+ budget geothermie in beschikbaar vermogen MW thermisch.



SDE+ kan alleen aangevraagd worden voor projecten die al een opsporingsvergunning hebben. In Figuur 51 is een kaart opgenomen (van NLOG.nl) waarin staat aangegeven waar de aangevraagde vergunningen liggen (status 21-11-2017).

Figuur 51 - Kaart met daarop aangegeven de aangevraagde en verleende mijnbouwvergunningen aardwarmte



Bron: NLOG.

Gezien het grote aantal vergunningen dat wel is aangevraagd maar nog niet verleend, zit er nog het een en ander aan projecten in de pijplijn. De verwachting is dat het grootste deel van de nog niet beschikte SDE+ aanvragen ‘diepe’ geothermie betreffen. Van de beschikte projecten is alleen het Zevenbergenproject lagetemperatuuraardwarmte.

Ondanks de snelle ontwikkelingen kampt de geothermiemarkt ook met knelpunten. De belangrijkste:

- SodM heeft een kritisch rapport gepubliceerd over ‘de staat van de sector’. Veiligheid- en milieuaspecten dienen beter geïntegreerd te worden in de werkwijzen binnen de geothermie wereld.
- De technische problemen die optreden bij projecten zoals corrosie van casings, scaling en verstopping zorgen voor relatief hoge exploitatiekosten en lage bedrijfszekerheid, en bij sommige projecten is een herinvestering nodig voor reparatie en/of nieuwbouw van putten.
- Bij het project van Warmtestad in Groningen is een publieke discussie ontstaan over de risico’s ten aanzien van seismiciteit en de vereiste technische kwaliteiten van de operator op dit gebied.

Deze gesignaleerde knelpunten kunnen mogelijk impact hebben op de manier waarop geothermie beleefd wordt bij het publiek en bij initiatiefnemers en investeerders, en kunnen op die manier een negatieve invloed hebben op de ontwikkeling. Inmiddels heeft minister Wiebes in een beleidsbrief geothermie acties aangekondigd om een en ander in goede banen te leiden (Rijksoverheid, 2018).

Naast de boven gesignaleerde technische knelpunten kent geothermie ook een aantal andere meer financiële en organisatorische knelpunten (IF Technology, 2016a):

- De SDE+ past op dit moment (nog) niet goed op geothermie voor de gebouwde omgeving; mede daarom zijn bijna alle projecten gerealiseerd in de glastuinbouw.
- De schaalgrootte van een diep (‘gewoon’) geothermieproject is zodanig groot (gemiddeld > 10 MW per doublet) dat er veel aangesloten woningen nodig zijn voor een rendabel project.
- Voor het veilig kunnen boren is een aanzienlijk oppervlak aan vrije ruimte nodig. Voor aardwarmteprojecten in de gebouwde omgeving kan de beschikbaarheid van plekken met voldoende ruimte een limiterende factor zijn.
- In gebieden waar weinig data zijn vanuit olie-/gasexploratie kunnen projecten heel moeilijk een beroep doen op de RNES Aardwarmte. Dat beperkt het areaal waar geothermie zich kan ontwikkelen.

- Boorkosten zijn relatief hoog en de risico's voor de investeerder op cost overruns door onvoorziene boorproblemen zijn aanzienlijk. Het is niet eenvoudig om lumpsum prijzen te krijgen voor het boorwerk.
- Veel initiatiefnemers/eigenaren van geothermieprojecten zijn geen mijnbouw ondernemers en maken slechts één geothermieproject. Dat beperkt de leercurve en maakt dat ieder project een businesscase moet hebben op p90 voor dat individuele project. Schaalvoordelen worden niet behaald.

De voordelen van lagetemperatuuraardwarmte ten opzichte van 'reguliere' geothermie liggen vooral op de volgende gebieden:

- minder zout water, dus minder problemen ten aanzien van scaling en corrosie;
- in ondiepe formaties minder risico ten aanzien van de aanwezigheid van gas; max. volume opgelost gas relatief laag, geen ontgasser nodig;
- minder ruimtebeslag boring;
- lagere boorkosten en boorrisico's, lumpsum prijs mogelijk;
- kleinere projectomvang: minder aansluitingen nodig;
- kan ook toegepast worden in gebieden waar 'gewone' geothermie geen potentie heeft, maar ondiep wel potentieel aanwezig is, eventueel als fall back-scenario.

Belangrijkste nadelen van lagetemperatuuraardwarmte t.o.v. 'reguliere' geothermie zijn:

- Het lagetemperatuurniveau van ondiepe geothermie maakt dat meestal meer warmtepompvermogen nodig is, dat beperkt de duurzaamheid van het systeem (althans zolang de gebruikte elektriciteit niet 100% duurzaam is) en verhoogt de exploitatiekosten.
- Lagetemperatuuraardwarmte is slecht geschikt voor het leveren van hogere temperaturen (> ca. 70°C).
- Het potentieel is relatief beperkt (in GJ/ha) bij gelijke dikte van de lagen.
- Lagetemperatuuraardwarmte is nog weinig gedemonstreerd en kent daardoor een iets hogere risicoperceptie ten aanzien van onvoorziene problemen; tevens is de aanbodzijde van de markt nog slecht ontwikkeld.