



Innovatie Aardwarmte 2021

Inventarisatie van innovatiebehoeften
en huidige stand van zaken



Voorwoord

‘The value of an idea lies in the using of it’ was het motto van Thomas Edison, één van de grootste uitvinders uit de 19de eeuw. Dat motto geldt wat ons betreft ook voor de toepassing en ontwikkeling van aardwarmte. Het idee van aardwarmte is relatief simpel, de uitvoering is soms weerbarstig en de technische uitdagingen die zich voor doen kunnen complex en multidisciplinair zijn. Dat maakt de aardwarmtesector bij uitstek een sector waar innovatie van essentieel belang is. Innovatie is nodig om aardwarmte in Nederland verder te ontwikkelen en te versnellen.

In de afgelopen 15 jaar is er door de aardwarmtesector al veel geïnnoveerd. Ondernemers in de aardwarmtesector hebben specialisten, wetenschappers en technici uit verschillende disciplines bij elkaar gebracht om aardwarmtesystemen te ontwerpen en te bouwen. Dit heeft in 2020 6,2 petajoule aan duurzame warmte opgeleverd, voornamelijk in de glastuinbouw. Deze hoeveelheid energie staat gelijk aan het jaarlijks verwarmen van 117.500 woningen, een indrukwekkende hoeveelheid.

Ook de overheid heeft niet stil gezeten, via innovatieprogramma's, subsidies en kennisontwikkeling legden zij de

basis voor een vruchtbaar innovatieklimaat. Dat heeft de afgelopen jaren waardevolle onderzoeksprojecten, demonstraties, relevante onderzoeksrapporten en internationale kennisuitwisseling opgeleverd. Hierdoor was het mogelijk om een versnelde leercurve te doorlopen. Nederland werd daardoor in één decennium leidend op het gebied van de toepassing van aardwarmte in de tuinbouwsector in Europa.

Ondanks deze indrukwekkende resultaten is er de komende decennia nog meer dan voldoende werk te verrichten. Er zijn grote ambities voor aardwarmte in de

gebouwde omgeving, de glastuinbouw en de industrie. Om met aardwarmte in groeiende mate bij te dragen aan de klimaatdoelstellingen is innovatie een essentiële voorwaarde. Innovatie biedt de mogelijkheden om risico's te verminderen, de leveringsbetrouwbaarheid van installaties te vergroten, de kostprijs van warmte te reduceren en om aardwarmtebronnen beter in te passen in complexe warmtenetten. Om innovatie verder te laten floreren in deze sector is het belangrijk dat de juiste randvoorwaarden aanwezig zijn. Een van deze randvoorwaarden zijn een veilige aardwarmtewinning voor mens en milieu en een goede en evenwichtige samenwerking tussen ondernemers, overheid en kennisinstellingen. Beiden zijn hierbij essentieel.

De Innovatie Inventarisatie Aardwarmte 2021 is een van de acties uit het Masterplan Aardwarmte in Nederland en geeft een gedetailleerde 'tussenstand' van de ideeënrijkdom die leeft binnen het bedrijfsleven en andere instanties die betrokken zijn bij het winnen, transporteren en afleveren van aardwarmte. Innovatie is immers ook creativiteit, waardoor aanvullende nieuwe ideeën zullen blijven ontstaan. De inventarisatie is tot stand gekomen op basis van meer dan 30 interviews. Het biedt het bedrijfsleven



en onderzoeksinstellingen een goede basis om vervolgacties te ondernemen en ideeën gezamenlijk verder uit te werken. Daarnaast geeft het beleidsmakers en partijen, betrokken bij kennisontwikkeling en stimulering van innovatie, een goed beeld van de actuele innovatiebehoeften waar zij hun beleid op kunnen afstemmen.

Energie Beheer Nederland en Geothermie Nederland hebben intensief samengewerkt aan de totstandkoming van de Innovatie Inventarisatie Aardwarmte 2021. Zij zijn alle geïnterviewden zeer erkentelijk voor de tijd en openheid die zij tijdens het opstellen van deze rapportage beschikbaar hebben gesteld. Zonder deze open houding was het niet mogelijk geweest een dergelijk brede inventarisatie uit te voeren. Wij danken de expertgroep voor hun waardevolle input en de nuttige discussies die ontstonden gedurende het proces, waardoor structuur en kwaliteit van het document verbeterd zijn. De expertgroep heeft de rol gehad om suggesties te leveren op hoofdlijnen en onderschrijft het belang van een innovatie inventarisatie die gebaseerd is op behoeften uit het veld. De groep bestond uit Marit Brommer (IGA), Paul Ramsak (RVO), Hans Bolscher (Geothermie NL) en Koenraad Elewaut (ECW). Het projectteam heeft zowel alle suggesties vanuit de expertgroep als

de geïnterviewden en de werkgroepen van Geothermie Nederland meegenomen. Wij hopen dat dit rapport het bedrijfsleven zal inspireren om verder te gaan met innoveren en dat het zal bijdragen aan tastbare innovaties die ten gunste zijn aan een voorspoedige energietransitie. Daarbij sluiten wij ons volledig aan bij de woorden van Edison: The value of an idea lies in the using of it.

Hans Bolscher

Voorzitter
Geothermie Nederland

Herman Exalto

Programma
Manager Geo-energie EBN



Samenvatting

Geothermie Nederland en Energie Beheer Nederland (EBN) brengen met de Innovatie Inventarisatie Aardwarmte 2021 de actuele innovatiebehoefte in de 'aardwarmtemarkt' in kaart. Dit is één van de acties uit het Masterplan Aardwarmte in Nederland. Een tweede aanleiding voor dit rapport is het verzoek van het ministerie van EZK aan EBN om een langjarige innovatieagenda voor aardwarmte op te stellen.

Innovatie is de afgelopen 15 jaar van cruciaal belang geweest voor de snelle ontwikkeling van de toepassing van aardwarmte in Nederland. Ook de komende jaren blijft innovatie onmisbaar in het realiseren van de ambitie van de aardwarmtesector en de overheid: op een duurzame, doelmatige, veilige en maatschappelijk verantwoorde manier aardwarmte opschalen om zo een wezenlijke bijdrage te leveren aan een duurzame warmtevoorziening. Deze innovatie inventarisatie is een noodzakelijke stap om toe te werken naar een actieplan waarin innovatie de ontwikkeling van aardwarmte verder versterkt en versnelt. Onderdeel hiervan is het komen tot een betere coördinatie van kennisontwikkeling en de stimulering van innovatie.

De doelen van dit rapport zijn:

- Innovatiebehoefte met alle relevante marktpartijen inventariseren,
- Voor deze innovatiebehoefte een inschatting maken van de verwachte impact op de haalbaarheid, veiligheid, kostenreductie of waardeketenoptimalisatie.
- Een nevendoeel is om marktpartijen een overzicht bieden van actuele innovatiekansen

Deze inventarisatie is primair gemaakt voor marktpartijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling en exploitatie van aardwarmteprojecten, hun partners en exploitanten van warmtenetten, consultants, servicebedrijven, onderaannemers, leveranciers, dienstverleners, etc. Secundair

is deze inventarisatie interessant voor partijen die zich bezighouden met kennis en innovatie relevant voor de gehele aardwarmteketen en voor maatschappelijke partijen, beleidsmakers en organisaties die betrokken zijn bij aardwarmteprojecten of het stimuleren en faciliteren van innovatie.

De innovatiebehoefte zijn opgehaald uit interviews met een groot aantal partijen uit verschillende doelgroepen. De opgehaalde inzichten zijn gebundeld en geanalyseerd door het projectteam. De resultaten zijn besproken met een expertgroep en met drie werkgroepen van Geothermie Nederland: Ondergrond, Engineering en Operators. Ook hebben alle geïnterviewde partijen de gelegenheid gekregen om commentaar te geven op het concept-rapport.

De nadruk in de inventarisatie ligt op technische innovaties. Om zo veel mogelijk ruimte te kunnen geven aan alle aangedragen onderwerpen is ervoor gekozen om ook doorsnijdende thema's mee te nemen, inclusief niet-technische innovaties en innovatie gerelateerde randvoorwaarden.

Innovatie is continue in beweging. De komende jaren zullen nieuwe innovaties toegepast worden om aardwarmteprojecten rendabeler en tegelijkertijd veilig en





verantwoord uit te voeren. Door projecten in nieuwe geologische gebieden te ontwikkelen, op andere dieptes of door warmte te leveren aan andere type afnemers zullen er nieuwe technische en organisatorische vraagstukken ontstaan. Het is belangrijk dat resultaten van innovaties snel worden gedeeld en dat nieuwe vraagstukken vlot worden opgepakt. Dat vraagt om een blijvend goed innovatieklimaat, het regelmatig updaten van deze innovatie inventarisatie en het doorlopend onderhouden van een actueel overzicht van ervaringen en kennis met betrekking tot innovaties.

Resultaten

Het resultaat van dit project bestaat uit een aantal onderdelen:

- Een overzichtstabel met daarin de inventarisatiethema's op een algemeen abstractieniveau. Deze thema's zijn zo opgesteld dat ze zijn te vergelijken met bestaande Europese innovatieagenda's.
- Per onderwerp is beoordeeld welke effecten de innovatie kan hebben op vier criteria die bijdragen aan de ambities van de sector. Te weten: de versterking en de versnelling van de sector (o.a. veiligheid); de kostprijs van

warmte over de gehele levensduur; publieke acceptatie (o.a. milieu en leefomgeving); de termijn waarop de innovatie breed kan worden toegepast (haalbaarheid).

- Voor ieder thema is de huidige stand van zaken uitgewerkt, inclusief concrete ideeën voor verdere ontwikkeling binnen de thema's. (Deze uitwerkingen zijn beschikbaar door te klikken op het desbetreffende onderwerp in de tabel).



Conclusies en aanbevelingen

De gesprekken met circa 30 organisaties in combinatie met de analyse van de thema's die daaruit zijn gedestilleerd geven aanleiding tot de volgende conclusies en aanbevelingen.

Conclusies

- Bij de partijen leeft een scala aan ideeën voor (vervolg) innovaties en demonstraties.
- De potentie om mede door innovatie de doelen van de sector te verwezenlijken is gerechtvaardigd: op vrijwel alle criteria wordt een positief effect verwacht.
- De opgehaalde innovatiebehoeften bevinden zich vooral vanaf het mid-TRL tot hoog TRL niveau.
- Innovaties die bijdragen aan de integratie van het gehele warmtesysteem/warmteketen worden nadrukkelijk gevraagd door geïnterviewden die werken aan projecten in de gebouwde omgeving.
- De innovatiebehoeften in Nederland sluiten goed aan bij de thema's uit GEOTHERMICA en de Europese onderzoeksagenda ETIP-DG. Enkelen sluiten ook goed aan bij ETIP-RHC.

- Uit het inventarisatieoverzicht blijkt dat naast technische innovaties ook innovaties op maatschappelijk of organisatorisch vlak nodig zijn om aardwarmte op korte termijn verder te kunnen versnellen.

Aanbevelingen

- Stel op basis van deze innovatie inventarisatie een gezamenlijk actieplan innovatie aardwarmte op met ondernemers, onderzoekspartijen, onderwijs en overheid.
- Verbeter de mogelijkheden voor vooronderzoek om te komen tot onderzoeksvragen die goed aansluiten bij de behoeften uit de markt.
- Bouw verder aan de kennis- en innovatie community die is ontstaan rond de toepassing van aardwarmte
 - Kennisportal met afgeronde en lopende onderzoeken
 - Verbeteren aansluiting tussen wetenschap en marktpartijen.
- Kijk naar de mogelijkheden om innovaties te testen die niet direct gedemonstreerd kunnen worden in een commercieel aardwarmteproject.
- Verken in meer detail de behoeften aan innovaties die verder van commerciële toepassing af zitten (laag TRL-niveau) en die kunnen bijdragen aan de versterking van de sector.

- Werk de behoeften aan innovaties gericht op de integratie en flexibiliteit van aardwarmte in de gehele warmteketen verder uit.
- Om innovatie te laten floreren is het belangrijk om de randvoorwaarden voor innovatie goed te organiseren. Voorbeelden hiervan zijn onder andere passende wet- en regelgeving, duidelijke wettelijke kaders, tijdige vergunningverlening en experimenteerruimte voor innovatie.

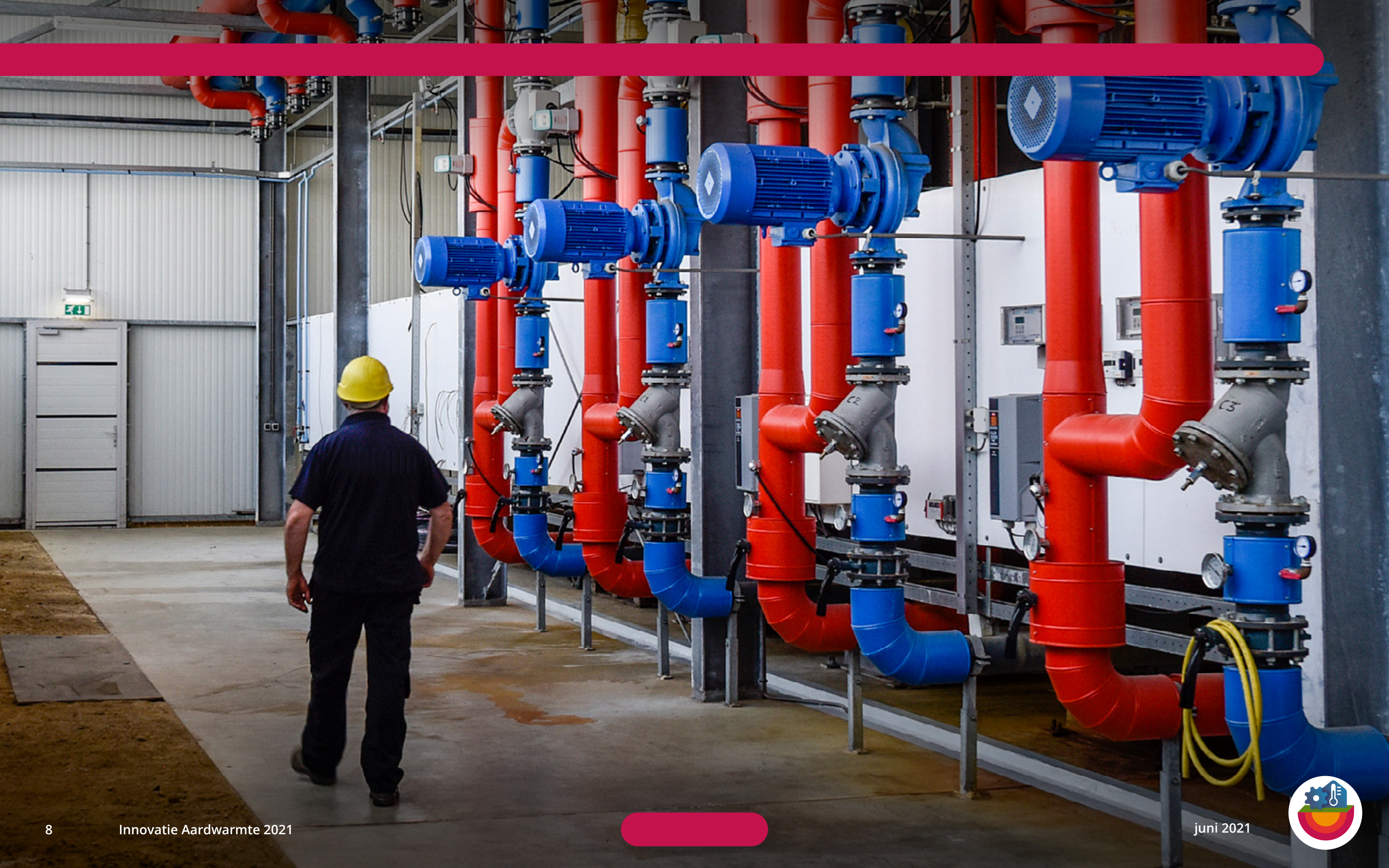
Vervolg

Deze inventarisatie zal de basis gaan vormen van een 'levend document' dat regelmatig een update krijgt om de actuele stand van zaken op het gebied van innovatie weer te geven. Hoe dit verder vorm gaat krijgen wordt in de komende tijd door de betrokken partijen en de markt verder uitgewerkt als vervolgactie binnen het Masterplan Aardwarmte in Nederland.



Inhoudsopgave





1. Inleiding



1.1 Aanleiding

De transitie naar een duurzaam energiesysteem is in volle gang. Een steeds groter deel van onze energie komt uit hernieuwbare bronnen maar om te zorgen dat Nederland klimaatneutraal wordt, is een snelle opschaling op alle terreinen noodzakelijk. Niet alleen voor elektriciteit, maar ook voor warmte zijn duurzame alternatieven nodig om de huidige fossiele bronnen te vervangen. Een belangrijk duurzaam alternatief voor warmte is aardwarmte, ook wel geothermie genoemd.

Aardwarmte heeft veel potentie om duurzame warmte te leveren aan de gebouwde omgeving, glastuinbouw en (lichte) industrie. Hiervoor is echter wel opschaling nodig en de sector. Om de aanzienlijke opschaling van aardwarmte in Nederland te realiseren op een veilige, verantwoorde, duurzame en kosteneffectieve manier heeft de aardwarmtesector enkele jaren geleden een actieplan opgesteld, het Masterplan Aardwarmte in Nederland (zie [tekstbox](#)). Om de ambities te kunnen realiseren staan er in het Masterplan kernacties opgesteld. Eén van de kernacties is het inventariseren van innovatieonderwerpen die de meeste potentie hebben om bij te dragen aan de beoogde versnelling en de ambities uit het Klimaatakkoord. Innovatie biedt mogelijkheden om risico's en kosten op een veilige manier verder te reduceren, projecten op te schalen en voor betere aansluiting bij eindgebruikers en andere warmtebronnen te zorgen door de waardeketen te optimaliseren. Ook kan innovatie de toepasbaarheid van de technologie verder verbreden. De aardwarmtesector in Nederland maakt een dynamische ontwikkeling door en heeft belang bij een gedegen inventarisatie en een verdiepende analyse van de innovatiebehoeften in de gehele warmteketen. Het ministerie van EZK heeft EBN gevraagd om een langjarige innovatieagenda op te stellen

om tot betere coördinatie van de ontwikkeling van kennis en de structurering van innovatie te komen ([Beleidsbrief Geothermie 28 mei 2020](#)). Deze opdracht en de acties uit het Masterplan hebben in een brede samenwerking geleid tot deze inventarisatie die wordt onderschreven door de sector en het ministerie. Hiermee wordt voortgebouwd op de innovatieroutekaart uit 2018 om kennis- en innovatieactiviteiten zo gericht mogelijk te organiseren, zodat ze doelgericht bijdragen aan de bredere opgaven van de energietransitie.

In de aardwarmtesector werken operators intensief samen met toeleveranciers en experts van adviesbureaus en kennisinstellingen. Een goed beeld van de innovatiebehoefte en -kansen zal deze bedrijven stimuleren om hun innovaties verder te ontwikkelen. De markt heeft behoefte aan innovaties die in de praktijk toepasbaar zijn en het (energetische) rendement en de betrouwbaarheid van de installaties vergroot en/of die op korte of lange termijn tot kostenvoordelen kunnen leiden. Een veilig en verantwoorde ontwikkeling is hiervoor een randvoorwaarde. Ook uit onderzoeks- en kennisinstellingen komt het signaal dat zij baat hebben bij een actueel en helder beeld van de innovatiebehoeftes van de markt zodat zij daar hun expertise gericht op in kunnen zetten.



1.2 Doel van de innovatie inventarisatie

Het doel van deze innovatie inventarisatie is om de actuele innovatiebehoefte in de 'aardwarmtemarkt' in kaart te brengen. Het is een verdere uitwerking en concretisering van de innovatieroutekaart met de innovatiebehoefte uit 2018. Hierbij richt deze innovatie inventarisatie zich met name op de eerste twee doelen beschreven in de korte termijn actie van het Masterplan:

- Innovatiebehoefte met alle relevante marktpartijen prioriteren,
- Voor de geprioriteerde innovatiebehoefte een (financiële en haalbaarheids) afweging maken welke de grootste impact op veiligheid, kostenreductie of waardeketenoptimalisatie kunnen behalen op welke termijn.

Een nevendoeel is - door in gesprek te gaan met marktpartijen over hun innovatiebehoefte - deze behoefte te actualiseren, verder te stimuleren en waar mogelijk te activeren. Deze inventarisatie wil daarmee marktpartijen een overzicht bieden van actuele innovatiekansen. In dit rapport worden verschillende doelgroepen bediend. Individuele bedrijven kunnen in de beschrijvingen van de losse innovatiethema's de stand van zaken vinden en richtingen voor verdere ontwikkeling. Tegelijkertijd biedt het een overzicht van de samenhang tussen de verschillende thema's en het effect op het realiseren van langjarige missies voor gezamenlijke ontwikkeling van innovaties.

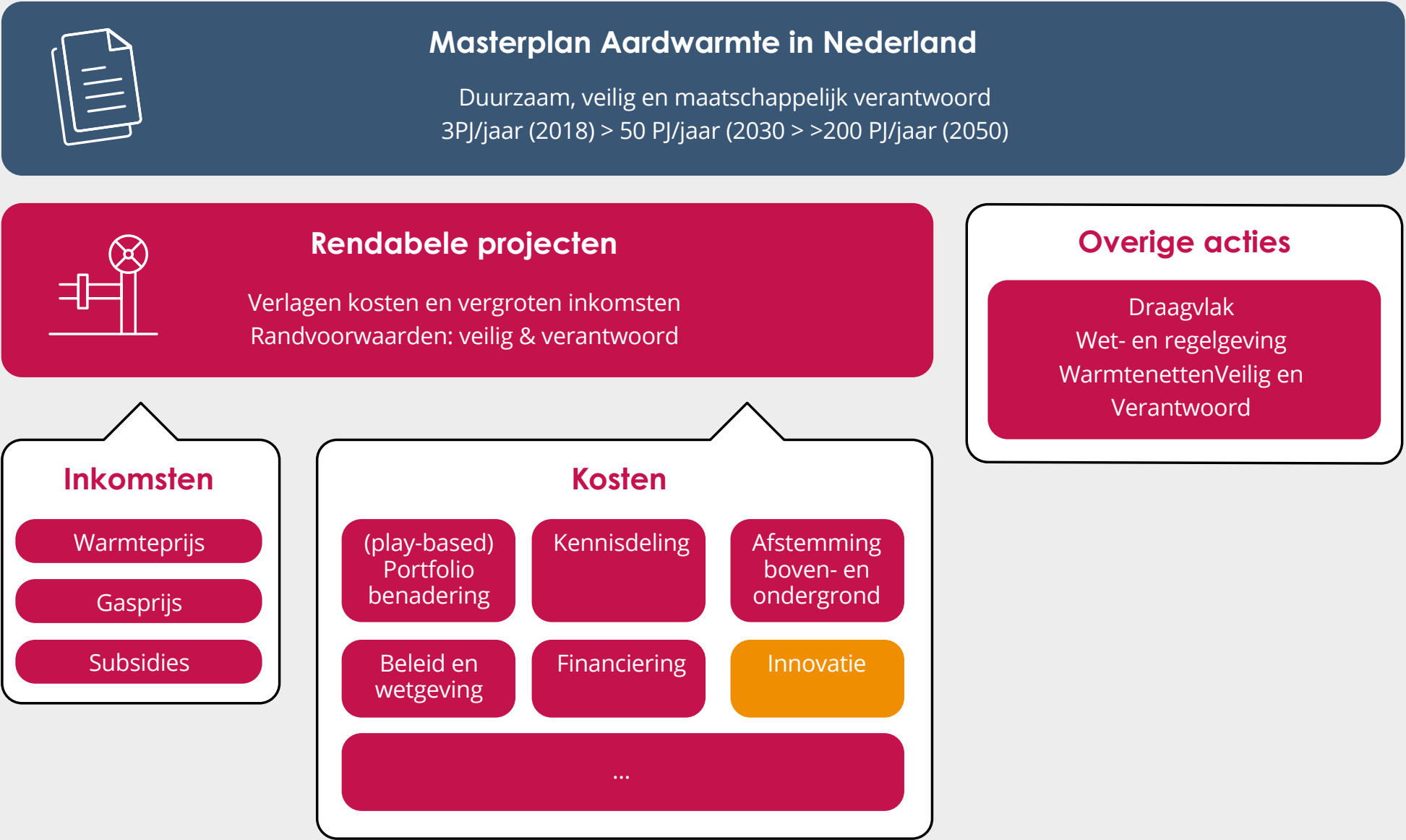


Het Masterplan Aardwarmte in Nederland

Het Masterplan Aardwarmte in Nederland beschrijft de potentie van aardwarmte en de daarvoor nodige opschaling. Het document vormde een bron van input voor de doelstellingen in het Klimaatakkoord. Het Masterplan beschrijft randvoorwaarden om op een duurzame, veilige en maatschappelijk verantwoorde manier aardwarmte op te schalen om zo een belangrijke bijdrage te leveren aan een duurzame warmtevoorziening.

Om de ambities uit het Masterplan Aardwarmte in Nederland te realiseren zijn rendabele aardwarmteprojecten nodig die op termijn zonder subsidie kunnen. Dat vraagt om een integrale aanpak om zowel inkomsten te vergroten als kosten per eenheid warmte te verlagen in samenhang met acties voor passende wet- en regelgeving; veilige en effectieve operationele activiteiten; robuust maatschappelijk draagvlak; aansluiting op warmtenetten; en innovatie. Figuur 1 laat zien dat innovatie één van de noodzakelijke elementen is om de ambities van de sector te verwezenlijken.

¹ De huidige productie van aardwarmte in Nederland was in 2020 6,3 petajoule per jaar (Geothermie Nederland, 2021). Het Masterplan Aardwarmte schat in dat in potentie 50 petajoule per jaar in 2030 en 200 petajoule per jaar in 2050 kan worden geproduceerd. Recent, is in meer detail de potentie voor aardwarmte onderbouwd (Berenschot 2020). Met deze sector-ambitie zijn de doelstellingen uit het klimaatakkoord voor geothermie (15 PJ in 2030 en 110 PJ in 2050) te realiseren.



Figuur 1 - Samenhang tussen de acties uit het Masterplan en de elementen die bijdragen aan rendabele projecten



Beleidsbrief Geothermie

28 mei 2020

Naast de actie uit het Masterplan met betrekking tot innovatie is er nog een tweede aanleiding voor dit rapport. Op 28 mei 2020 is door de Minister van Economische Zaken en Klimaat een beleidsbrief naar de Tweede Kamer verstuurd over de voortgang van aardwarmte. In deze brief is ook een paragraaf gewijd aan het aanjagen van (technische) innovatie.

“Om de in het Klimaatakkoord gestelde doelen te bereiken, en de daarvoor gewenste versnelling in de ontwikkeling van geothermie te behalen, is een adequate aansturing van kennis en innovatie nodig. Het laatste decennium is er veel onderzoek gedaan op het gebied van aardwarmte. Onder andere in door RVO gesubsidieerde programma's (GEOTHERMICA, TKI's, Horizon2020) en in de Kennisagenda Aardwarmte.

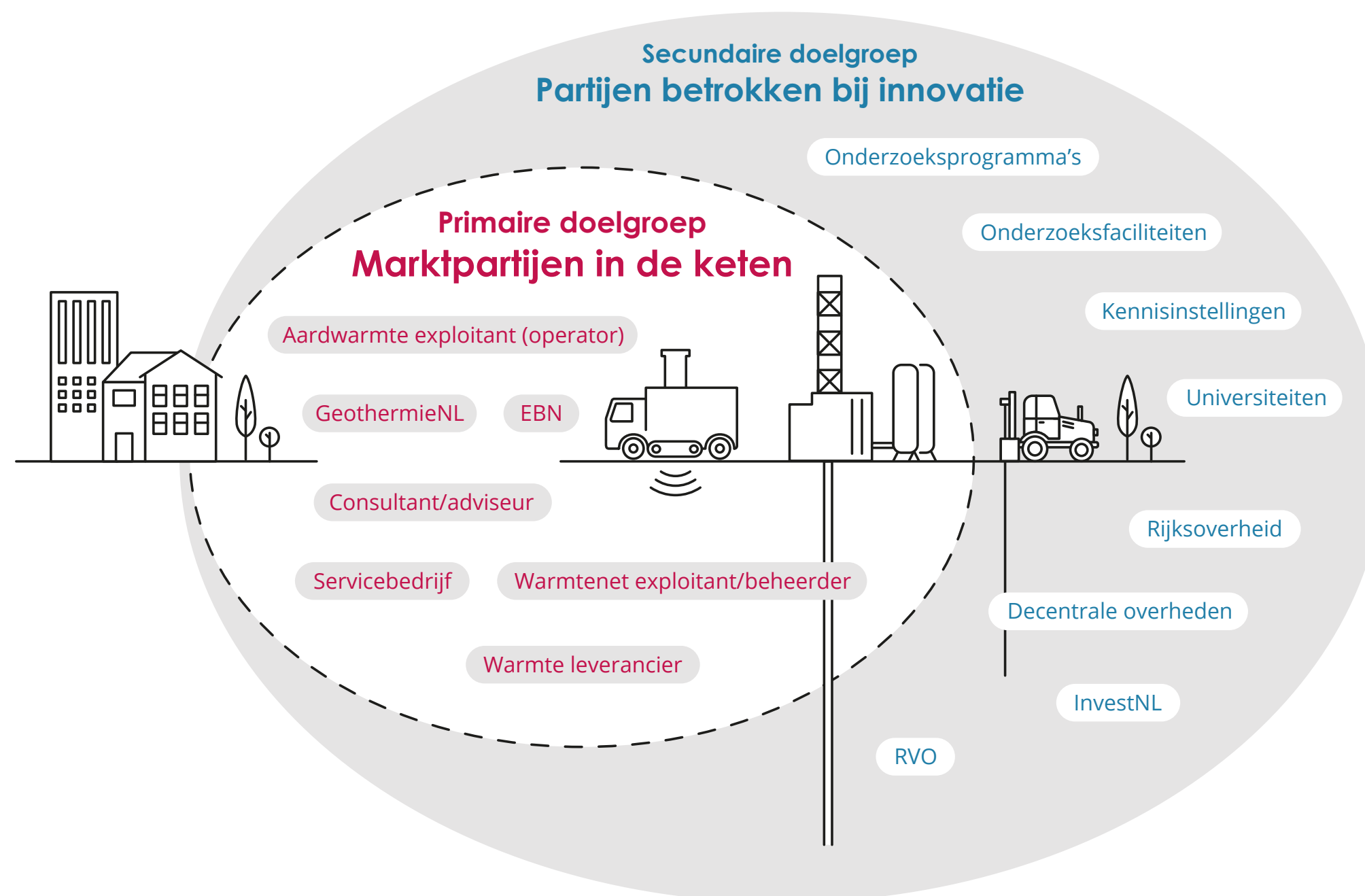
Om tot een betere coördinatie van de ontwikkeling van kennis en de structurering van innovatie te komen heb ik EBN gevraagd een langjarige innovatieagenda op te stellen. Hiervoor brengt EBN in kaart welke onderzoeken al gedaan zijn op een onderwerp, hoe deze op elkaar aansluiten, waar de hiaten nog zitten en hoe deze ingezet kunnen worden in projecten. Vervolgens brengt EBN, in overleg met de betrokken partijen, prioritering aan door onderzoeken te beoordelen op basis van de bijdrage die zij leveren aan het behalen van zowel de Klimaatdoelstellingen als het veilig en verantwoord opereren van de sector.”

De aanleiding vanuit de beleidsbrief overlapt met de actie voor innovatie zoals deze gedefinieerd is in het Masterplan. Beide acties zijn dan ook samengevoegd en leiden gezamenlijk tot het voorliggende rapport.



1.3 Doelgroep

Deze inventarisatie is primair gemaakt voor marktpartijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling en exploitatie van aardwarmteprojecten zoals exploitanten van aardwarmtebronnen (operators), hun partners (waaronder EBN) en exploitanten van warmtenetten, consultants, servicebedrijven, onderaannemers, leveranciers, dienstverleners, etc. Secundair is deze inventarisatie interessant voor andere partijen die zich bezighouden met kennis en innovatie relevant voor de gehele aardwarmteketen. Daarbij valt te denken aan kennisinstellingen en universiteiten. Tenslotte is deze inventarisatie van innovatiebehoeftes (en de analyse daarvan) relevant voor maatschappelijke partijen en beleidsmakers en organisaties die betrokken zijn bij het stimuleren en faciliteren van innovatie.

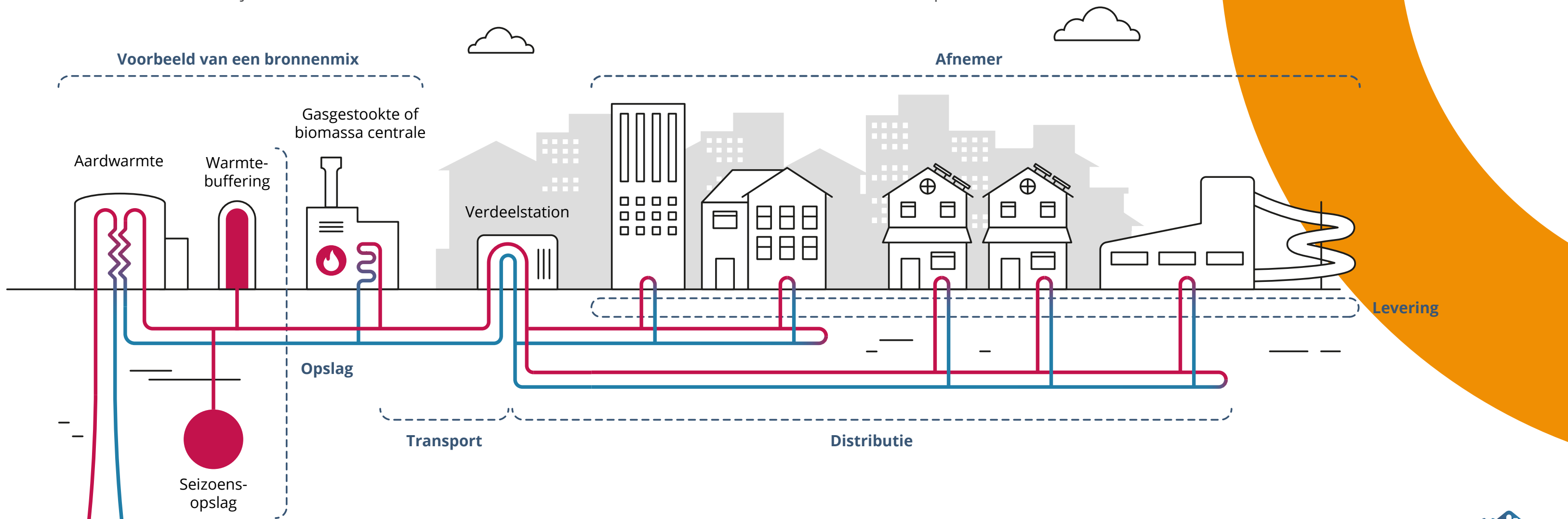


1.4 Afbakening

- De warmteketen: van de identificatie van aardwarmtebronnen tot en met het transport (niet de distributie aan huishoudens), inclusief de integratie van energiesystemen.
- Innovaties: Voor alle TRL-niveaus, gefocust op technische innovaties of doorsnijdende kennis- en innova-

tiethema's. Deze zijn aangevuld met enkele niet-technische innovatie onderwerpen en aan innovatie gerelateerde randvoorwaarden die belangrijk zijn voor de verdere ontwikkeling van aardwarmte.

- Inschatting van de effecten/impact van innovatie: een kwalitatieve beoordeling op een aantal criteria die volgen uit de ambities van de energietransitie en de ambities van de sector zoals beschreven in het Masterplan.



Aardwarmte in Nederland: waar komen we vandaan?

Nederland werd in de jaren '60 een aardgasland. In hoog tempo is destijds een fijnmazige gasinfrastructuur aangelegd en door de jaren heen is veel kennis en ervaring opgedaan over hoe olie en gas veilig en op een efficiënte manier te winnen. Het einde van de dominantie van binnenlands aardgas in het energiesysteem komt in zicht door een combinatie van maatschappelijke onvrede als gevolg van de aardbevingen in Groningen en de noodzaak om het energiesysteem CO₂-neutraal te maken in verband met de klimaatdoelstellingen. Aardwarmte kan in dat CO₂-neutrale energiesysteem een belangrijke rol spelen.

Aardwarmte is de warmte die zich op dieptes groter dan 500m onder het oppervlakte bevindt. Elke kilometer dieper neemt de temperatuur met ongeveer 30 °C toe. Bij aardwarmtewinning wordt warm water uit een daarvoor geschikte laag uit de ondergrond opgepompt. Aan het oppervlak wordt de warmte uit het water via een warmtewisselaar overgedragen aan een transportsysteem. Het afgekoelde water wordt weer terug gevoerd naar de ondergrond. Afhankelijk van de toepassing kan het transportsysteem de warmte leveren aan bijvoorbeeld een

warmtenet, maar ook aan kassen in de glastuinbouw of aan industriële processen met een relatief lage temperatuur.

In recente jaren heeft zich een relatief snelle ontwikkeling voorgedaan. Vanaf 2008 zijn de eerste aardwarmteprojecten gerealiseerd, met de glastuinbouwsector als voornaamste initiator en trekker van projecten en afnemer van duurzame warmte. De overheid stimuleert de opwekking van deze en andere vormen van duurzame energie sinds 2011 met de SDE+ regeling. Na deze succesvolle voorbeelden die door de tuinbouwsector zijn neergezet, is de belangstelling voor aardwarmte sterk toegenomen: vanuit de olie- en gaswereld, industriële warmteafnemers, energiebedrijven en vanuit nationale en lokale overheden. Tegelijkertijd ontwikkelde de sector, op basis van nieuwe inzichten, in overleg met de toezichthouder (SodM) systemen om de veiligheid van mens en milieu verder te beschermen. Ze speelde daarmee in op zorgen over veiligheid van omwonenden, de drinkwatersector en overheidsinstanties.

Voor een jonge sector zoals de aardwarmtesector is kennisuitwisseling en innovatie van groot belang. De afgelopen 10 jaar hebben er vele activiteiten plaatsgevonden die een bijdrage aan de snelle ontwikkeling van aardwarmte in Nederland hebben gegeven. Partijen zoals ondernemers,

servicebedrijven, adviseurs en kennisinstellingen wisselen ervaringen uit en zijn betrokken in diverse onderzoeks- en demonstratie projecten. Onder andere Geothermie Nederland (fusie van DAGO en het Platform Geothermie), TNO, Kas als Energiebron en Delft Aardwarmte boden een platform voor kennisuitwisseling.

Naast het leerproces dat de aardwarmtesector de afgelopen 10 jaar heeft doorlopen, is een proces van professionalisering ingezet over de gehele keten. Zo bundelen en delen aardwarmte operators, en de bredere aardwarmtegemeenschap verenigd in Geothermie Nederland, hun ervaringen en kennis. En gaf de minister van Economische Zaken en Klimaat in 2019 aan EBN het mandaat om deel te nemen in aardwarmteprojecten vooruitlopend op de aanstaande wijzigingen van de Mijnbouwwet. EBN kan met haar kennis en expertise van de ondergrond de ontwikkeling van aardwarmte versterken en waar mogelijk processen versnellen en kennisuitwisseling te bevorderen. Ondanks de verdiensten van de afgelopen 10 jaar stelt zowel het Masterplan Aardwarmte in Nederland en de beleidsbrief van 28 mei 2020 terecht dat er nog veel ruimte is voor verdere doorgroei van innovatie en kennisdeling.



Waar gaan we naar toe?

Het Klimaatakkoord geeft richting aan de verduurzaming van het Nederlandse energiesysteem. Per sector beschrijft het de opgaven en afspraken om tot een totale CO₂-reductie van 49% in 2030 te komen. De ambities in de gebouwde omgeving, industrie en land- en tuinbouw bieden kansen voor een forse opschaling van duurzame warmte. Een belangrijke rol is daarin weggelegd voor aardwarmte als bron voor duurzame warmte. Opschaling, versnelling en standaardisatie is gewenst in alle onderdelen van de aardwarmteketen. Dit zal bijdragen aan het verder verhogen van de veiligheid en het verlagen van de kostprijs per eenheid aardwarmte (GJ/MWh) en daarmee bedrijven en burgers van betaalbare en duurzame warmte te voorzien. Met een grote rol voor aardwarmte als bron voor warmtenetten in de gebouwde omgeving komt er meer nadruk op technische aspecten, zoals de aflevertemperaturen, uitkoeling en regelbaarheid, maar ook meer aandacht voor maatschappelijke aspecten: veiligheid en inpassing in de omgeving. De discussie over de toepassing van biomassa als bron voor duurzame warmte maakt dat er op dit moment weinig alternatieven zijn voor aardwarmte in collectieve warmtevoorzieningen. Overigens is de combinatie van aardwarmte als basislast en biomassa voor pieklast



een aantrekkelijk optie voor een jaarrond warmteaanbod. Het is echter nog niet bekend in welke mate gemeentes voor collectieve warmteoplossingen gaan kiezen in de Transitievisies Warmte die zij in 2021 zullen presenteren. Ondanks de onzekerheden zijn de verwachtingen voor aardwarmte onverminderd positief en dit trekt meer ondernemers naar de markt. Dit zijn partijen die interesse hebben in het verbeteren van de business case door bijvoorbeeld levering van warmte aan huishoudens en door

het toepassen van bijvoorbeeld schaal- en leereffecten. Ook het toepassen en demonstreren van innovaties trekt zowel ondernemers als experts. Voorlopig zal de 'aardwarmtemarkt' nog lang niet zo groot zijn als die voor olie en gas, maar een andere en grotere rol voor aardwarmte in de energievoorziening is niet alleen reëel, maar zelfs noodzakelijk om de doelen in het klimaatakkoord te halen.



1.5 Leeswijzer

Het hoofdresultaat van deze inventarisatie is een overzicht met innovatiethema's en een inschatting van de effecten (zie [pagina 33](#)). [Hoofdstuk 2](#) beschrijft wat de sector belangrijk vindt voor de toekomstige ontwikkeling van aardwarmte en waar - vanuit die visie - de innovaties op beoordeeld worden. [Hoofdstuk 3](#) beschrijft de gevolgde aanpak. Daarin is beschreven hoe de innovaties zijn geïnventariseerd en op welke wijze het [beoordelingskader](#) uit hoofdstuk 2 is toegepast. Om context te geven bij de resultaten die dat oplevert, geeft [hoofdstuk 4](#) een overzicht op hoofdlijnen van alle huidige innovatieactiviteiten: de betrokken organisaties en de kennis- en innovatieprogramma's.

[Hoofdstuk 5](#) presenteert het uiteindelijke resultaat: een overzicht van innovatieonderwerpen en hun verwachte impact. Per onderwerp is een overzicht beschikbaar waar-

in kort wordt ingegaan op: het doel van de innovatie, de stand van zaken, het potentieel voor ontwikkeling en een toelichting op de inschatting van het effect van de innovatie. Tevens wordt daar de relatie gelegd met lopende onderzoeksprojecten waar bekend, andere onderwerpen in deze inventarisatie en de Europese onderzoeks- en innovatieagenda van ETIP.

In [hoofdstuk 6](#) trekken we conclusies uit de resultaten van inventarisatie, alsook uit observaties die voortkomen uit de gevoerde interviews. Dit hoofdstuk sluit af met aanbevelingen voor vervolg.

Het rapport geeft de innovatiebehoeften die geïdentificeerd zijn door de marktpartijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling en exploitatie van aardwarmteprojecten. Hierin zijn de zorgen van maatschappelijke partijen die zijn opgekomen bij bestaande projecten in meegenomen. Daarnaast is het rapport mogelijk ook voor andere doelgroepen interessant. Partijen die geïnteresseerd zijn in de programmering van onderzoek zullen direct de resultaten uit [hoofdstuk 5](#), inclusief de factsheets, willen lezen. Partijen geïnteresseerd in de organisatie van het innovatielandschap, vinden aanknopingspunten in hoofdstuk 4. Partijen met specifieke inhoudelijke interesses kunnen via het overzicht (op [pagina 35](#)) doorklikken naar de voor hun relevante innovatieonderwerpen. Bijvoorbeeld door voor veiligheid te kijken naar de innovaties die daar naar verwachting het meest effect hebben.



2. Visie en beoordelingskader



2.1 Visie

Voor een klimaatneutrale en circulaire samenleving is het noodzakelijk dat burgers en bedrijven minder energie gebruiken en overschakelen op hernieuwbare bronnen voor energie, zowel voor duurzame elektriciteit als duurzame warmte. Hierbij is het belangrijk dat de energievoorziening betaalbaar, betrouwbaar, duurzaam en rechtvaardig is voor zowel burgers als bedrijven. Aardwarmte is één van de duurzame warmtebronnen die op veel plekken in Nederland dit kan bieden. Het is belangrijk dat de toepassing van aardwarmte efficiënt en doelmatig kan plaatsvinden. Hiervoor is kennisuitwisseling, innovatie en opschaling van de sector noodzakelijk.

Bij innovatie in de aardwarmtesector gaat het niet alleen om het ontwikkelen, demonstreren en implementeren van innovaties door een goede samenwerking tussen kennisinstellingen en de diverse marktpartijen actief met de ontwikkeling van projecten, maar ook om deze innovaties ten dienste te laten zijn voor de grote maatschappelijk thema's van verduurzaming, circulariteit en veiligheid. Dit vereist innovatiebeleid dat verder gaat dan alleen individuele technieken maar juist kijkt naar welke innovaties maatschappelijk gewenst en inpasbaar zijn en de grootste toegevoegde waarde genereert.

Deze innovatie inventarisatie wil aansluiten bij de maatschappelijke missies zoals die in de topsector energie zijn

gedefinieerd naar aanleiding van het Klimaatakkoord. Dat betekent dat innovatie in aardwarmte niet alleen voordeel biedt aan individuele bedrijven, maar ook bijdraagt aan de volgende maatschappelijke doelen:

- Netto CO₂-neutrale warmteproductie in de hele keten². Dat betekent op termijn ook het voorkomen of minimaliseren van de bijvangst van aardgas, of het mitigeren van de emissies die vrijkomen bij de verbranding van dat aardgas.
- Een eerlijke en betaalbare energietransitie. Rendabele en doelmatig opgezette projecten zijn daarvoor een essentiële randvoorwaarde. Opschaling leidt tot een groter aandeel schone, betaalbare warmte in de Nederlandse energieuishouding.
- Duurzaam gebruik van de ondergrond. Wat inhoudt dat de ondergrond zo lang en optimaal mogelijk gebruikt kan worden voor aardwarmtewinning. Dat vraagt om een ontwerp dat rekening houdt met een lange levensduur en regeneratie van de warmte in reservoirs.
- Een goed afvalmanagement tijdens en na de productie-fase, maar ook inzetten op circulair ontwerpen.
- Een optimaal gebruik van de bovengrond: een duurzame warmteoplossing met een zo beperkt mogelijke ruimtelijke impact.

- Veilig en verantwoord. Vanuit innovatieperspectief gaat het dan om kennisontwikkeling en -deling inclusief standaardisatie en de ontwikkeling van maatschappelijk acceptabele risiconormen;
- Eerlijke en transparante processen. Hiervoor is door de sector al de Gedragscode Omgevingsbetrokkenheid ontwikkeld. Informeren en betrekken van burgers worden daarin steeds belangrijker om draagvlak voor projecten te vergroten. Vanuit het Masterplan Aardwarmte in Nederland zijn acties geformuleerd voor het waarborgen van een landelijke en lokale dialoog en te zorgen voor een open discussie over veiligheid en risico's. Vanuit innovatieperspectief kan gedacht worden aan het op nieuwe manieren betrekken, informeren en participeren van burgers bij aardwarmte activiteiten.

Innovatie kent veel verschillende gezichten en is niet beperkt tot technologische ontwikkeling. De fase waarin de sector zich nu bevindt, is het begin van een opschalingsfase. Dat vraagt vooral om verbeteringsslagen en integratie van de ontwikkelende kennis in de praktijk. Veel van de benodigde oplossingen zijn de afgelopen 10 jaar uitgedacht en/of op andere plekken of in andere sectoren in de wereldwijd al bekend. Dat vraagt in veel gevallen om het aanpassen van bestaande technologie aan een nieuwe

² Zie TNO(2021) Whitepaper. Duurzaamheid van geothermie in warmtenetten



context, zodat de oplossingen ook voor aardwarmte toepasbaar zijn. Vervolgens zijn praktijkgerichte demonstraties en onderzoek de basis voor verdere standaardisatie.

Op de korte termijn is het zaak om verschillende technieken en methoden te toetsen, de reeds aanwezige kennisinfrastructuur te verstevigen waardoor de opgedane kennis en ervaring in de nieuwe projecten geborgd wordt. Op middellange termijn zal standaardisatie van processen en onderdelen belangrijker worden om schaalgrootte en kostenreductie te bereiken.

Voor de langere termijn blijft onderzoek naar nieuwe technologieën en concepten belangrijk. Hiervoor zijn niet alleen speur- en ontwikkelingswerk nodig, maar ook faciliteiten, ruimte en wettelijke mogelijkheden om (in Nederland) onbewezen technologieën te testen.

2.2 Beoordelingskader

De maatschappelijke doelen uit de visie zijn vertaald in vier beoordelingscriteria:

- Het effect op de versterking en versnelling van de ontwikkeling van de aardwarmtesector
- Het effect van de innovatie op de kostprijs van warmte over de hele levensduur

- Het effect van de innovatie op publieke acceptatie: o.a. milieu en leefomgeving
- De termijn waarop de innovatie breed kan worden toegepast

Voor ieder van deze criteria is op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van de omvang van het effect. In [hoofdstuk 3](#) beschrijven we hoe deze criteria concreet zijn ingevuld en hoe het effect is ingeschat. In [hoofdstuk 5](#) is een overzicht weergegeven van de verschillende innovaties waar de resultaten van de beoordeling zichtbaar zijn gemaakt.

De beoordeling van de innovatiethema's aan de hand van deze criteria moet in samenhang gebeuren. Een portfolio van innovaties is nodig om alle maatschappelijke doelen te realiseren. Daarbij is de context belangrijk. Naast een inschatting van de grootte van de effecten is daarom ook beschreven hoe deze naar verwachting gerealiseerd worden.



3. Aanpak



Om een gedragen innovatie inventarisatie op te stellen zijn innovatiebehoeften met een dertigtal organisaties besproken en ideeën opgehaald. Deze zijn gebundeld en uitgewerkt per innovatiethema (zie [hoofdstuk 5](#)). Daarnaast zijn de innovatiethema's beoordeeld aan de hand van het kader dat in [hoofdstuk 2](#) beschreven staat.

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de aanpak die is gevolgd om de innovatieonderwerpen te inventariseren, daarna wordt de methode beschreven die is gehanteerd om de innovaties te beoordelen. Tot slot wordt het proces beschreven om de resultaten te toetsen bij de stakeholders.

3.1 Inventarisatie

De innovatie inventarisatie is gebaseerd op interviews met partijen die betrokken zijn bij innovatie in de aardwarmtesector: exploitanten van aardwarmtebronnen (operators), exploitanten van warmtenetten, consultants, servicebedrijven, kennisinstellingen, waterbedrijven en de TKI's. Er zijn in totaal 30 interviews gevoerd ([zie bijlage 2](#)). De gesproken partijen zijn geselecteerd vanwege hun specifieke kennis en om een goede weerspiegeling te zijn van de sector. Daarnaast is tijdens interviews om aanvullende suggesties en contactpersonen gevraagd. Ter voorbereiding op de gesprekken is een literatuuron-

derzoek uitgevoerd ([zie bronnenlijst](#) voor een overzicht van de geraadpleegde bronnen). De interviews zijn vertrouwelijk gevoerd, waarna de innovatiebehoeften anoniem en veralgemeniseerd verder in dit rapport worden weergegeven. De interviews zijn verwerkt in gespreksverslagen die de deelnemers hebben kunnen controleren op onjuistheden en aanvullen.

Terugkoppeling en toetsing

De eerste voorlopige geaggregeerde resultaten uit de inventarisatie zijn teruggekoppeld aan de geïnterviewde partijen. Na afronding van de interviews is een voorlopig conceptrapport gereviewed en besproken met een expertgroep. De expertgroep heeft input geleverd op hoofdlijnen. Ze onderschrijft het belang van een innovatie inventarisatie die gebaseerd is op behoeften uit het veld. Derhalve hebben ze geen input geleverd op de innovatie onderwerpen. Hierna is een definitief concept opgesteld dat is teruggelegd aan alle geïnterviewden en dat besproken is met een drietal werkgroepen van Geothermie

Nederland en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

3.2 Beoordeling innovaties

De uit interviews opgehaalde innovatiebehoeften zijn gegroepeerd in een indeling per thema, die aansluit bij GEOTHERMICA en ETIP.

Van deze innovaties is het mogelijke effect geschat, mede op basis van de input van de geïnterviewden. Waar de input onvoldoende was, zijn aannames gedaan over de effecten van een innovatie op een specifiek deel van de businesscase of over de effecten op de maatschappelijke impact van een aardwarmteproject. De effecten zijn zowel semi-kwantitatief uitgedrukt (negatief, beperkt, klein of groot positief effect) als kwalitatief beschreven.

De vier criteria uit het beoordelingskader zijn als volgt geoperationaliseerd.

1. Het effect van innovaties op de versterking en de versnelling van de sector

Veilig en verantwoord is een randvoorwaarde voor het succesvol ontwikkelen van aardwarmteprojecten. Vandaar dat ook de innovaties beoordeeld worden op hun bijdrage aan de versterking van de sector. Hierbij is specifiek ge-



keken naar de impact op de veiligheid. Het uitgangspunt daarbij is dat een innovatie geen of een positieve impact moet hebben op de veiligheid van aardwarmte; een innovatie kan er niet voor zorgen dat een aardwarmteproject niet langer voldoet aan de veiligheidseisen. Vandaar dat de schaal van de bijdrage aan de versterking van de sector loopt van 'geen impact' tot een 'hoge positieve impact'. De volgende overwegingen zijn meegenomen om de impact te kunnen bepalen op de versterking:

- Invloed op het vergroten van de putintegriteit
- Invloed op het vergroten van de gezondheid en veiligheid van het personeel en omwonenden
- Verkleinen van het risico op geïnduceerde seismiciteit
- Verkleinen van de risico's op lekkage van testwater of NORM afval

Er is bij de inschatting van het effect ook rekening gehouden met de versnelling van de sectorontwikkeling. Hierbij zijn de volgende overwegingen meegenomen:

- Impact op de versnelling van de ontwikkeling aardwarmte
- De herhaalbaarheid van de innovatie;
- Kan het op grote schaal worden toegepast?
- Heeft het impact op de gehele warmte waardeketen of slechts een klein deel?
- Heeft het impact voor de gehele industrie of het is bedrijfsspecifiek?

2. Het effect van de innovatie op de kostprijs van warmte over de gehele levensduur

De impact van een innovatie op de business case is bepaald aan de hand van de Levelized Cost of Energy (LCOE), vrij vertaald naar de Netto Contante Kosten van Energie. Dit is een maatstaf voor de gemiddelde netto contante waarde van de kosten per eenheid geproduceerde energie voor een productie installatie over de gehele levensduur. In het geval van warmte kunnen we wellicht beter spreken over een Levelized Cost of Heat (LCOH) in plaats van een LCOE. De methodiek zorgt ervoor dat het speelveld van verschillende energiebronnen gelijk getrokken wordt. Door deze methodiek te gebruiken kunnen verschillende bronnen zoals bijvoorbeeld aardwarmte, aquathermie en biomassa goed met elkaar vergeleken worden; het gaat immers om de kosten per geproduceerde eenheid warmte. Door deze berekeningsmethodiek te gebruiken kan tot een eerlijke investeringsbeslissing worden gekomen over toekomstige energiebronnen. De aannames die zijn gebruikt voor deze berekening staan in [bijlage 3](#). Hierbij is een duidelijke kanttekening te maken: dit is een inschatting op een algemene business case. Iedere ondergrondse en bovengrondse situatie vraagt om een op maat gemaakt ontwerp, zodat warmteaanbod en -vraag in hoeveelheid en tijd gebalanceerd zijn. De impact per individueel project kan daarom anders zijn.

3. Het effect van de innovatie op publieke acceptatie: o.a. milieu en leefomgeving

Voor dit effect is gekeken naar zowel sociale aspecten als milieuaspecten. De laatste kunnen zowel mondiaal, nationaal als lokaal een effect uitoefenen. Er is een inschatting gemaakt of innovaties naar verwachting een netto positief effect kunnen geven ten opzichte van de huidige praktijk als het gaat om:

- CO2-footprint
- Afval en materialen
- Invloed op de levensduur van een project
- Hinder voor de omgeving
- Veiligheidsbeleving omgeving/acceptatie omgeving
- Vertrouwen in de techniek.

4. De termijn waarop de innovatie breed kan worden toegepast

De termijn waarop innovatie breed kan worden toegepast is afhankelijk van zowel het TRL-niveau van de innovatie als de haalbaarheid. Immers hoe hoger het TRL niveau, hoe korter de periode totdat een innovatie breed kan worden toegepast. Hiervoor is een inschatting gemaakt van het huidige TRL-niveau van de nieuwe technologie.



De brede toepasbaarheid van een innovatie is niet alleen afhankelijk van het TRL-niveau maar ook van de haalbaarheid van de innovatie. Deze hangt af van:

- Hoeveel investering is er nodig om de innovatie verder te ontwikkelen zowel qua financiële middelen als mankracht?
- Zijn er concurrerende ideeën?
- Is het politiek waarschijnlijk dat deze innovatie door-gang gaat vinden?
- Zijn er op technisch vlak nog vraagstukken?
- Zijn er juridische en regelgeving hobbels die nog moeten worden genomen?

Wanneer we spreken over de haalbaarheid van een innovatie, doen we geen uitspraak over de volwassenheid. De haalbaarheid moet gezien worden als een inschatting over de randvoorwaarden om een innovatie richting commerciële beschikbaarheid te brengen. Dat kunnen juridische, maatschappelijke, politieke of andere factoren zijn.



Technology Readiness Level

De volwassenheid van technologieën wordt uitgedrukt in termen van Technology Readiness Levels (TRL). Deze schaal loopt van de initiële ideevorming (TRL 1) tot aan de commerciële toepassing (TRL 9). Voor energietoepassingen wordt soms een uitgebreidere schaal gebruikt (tot TRL 11) waarin ook de opschaling is meegenomen. De TRL-schaal geeft een consistente, uniforme maatstaf om ontwikkelingsfase van verschillende technologieën te vergelijken. Het International Energy Agency geeft bijvoorbeeld voor ruim 400 individuele energytechnologieën een inschatting van de stand van techniek: <https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide>.

Vaak wordt als vuistregel aangenomen dat het ongeveer twee jaar kost om een technologie één TRL-niveau hoger te brengen. Innovatie kost dus inherent tijd. De TRL methodiek impliceert dat innovatie zich altijd lineair ontwikkelt. Dit is niet altijd geval, er zijn ook cirkelbewegingen mogelijk.

De laatste jaren komt ook steeds meer aandacht voor de maatschappelijke acceptatie die nodig is om innovaties naar de implementatie fase te brengen. Dit gebeurt bijvoorbeeld door het ontwikkelen van methodieken zoals Societal Readiness Level (SRL) of Societal Embeddedness Level (SEL).



4. Spelers en programma's



We geven hier een overzicht op hoofdlijnen van de partijen die betrokken zijn bij innovatie in de aardwarmtesector en een beknopt overzicht van innovatieprogramma's die momenteel lopen en relevant zijn voor aardwarmte. Dit kan dienen als basis om het bestaande innovatielandschap te evalueren en om het actieplan voor innovatie, zoals genoemd in het Masterplan Aardwarmte in Nederland, verder uit te werken. Een dergelijke analyse maakt echter geen deel uit van dit rapport.

Om de verschillende partijen te beschrijven zijn de TRL niveaus (zie tekstbox) waarbinnen zij actief zijn een bruikbaar onderscheid. Ook de innovatieprogramma's en de daaraan gerelateerde financieringsinstrumenten richten zich vaak op een specifieke groep van TRL-niveaus. Daarnaast zijn er ook programma's die zich met name richten op kennisontwikkeling. Alvorens de individuele spelers en programma's te beschrijven, gaan we eerst kort in op de internationale, Europese, nationale en regionale kaders voor de ontwikkeling van kennis en innovatie.

4.1 Kaders

Internationaal

International Geothermal Association (IGA): de IGA is de mondiale branchevereniging van aardwarmtebedrijven

en heeft wereldwijd leden: landen, bedrijven en kennisinstellingen. De IGA speelt een rol bij het bekend maken en verspreiden van internationale best practices.

Europees

In de EU is onderzoek en innovatie gestructureerd rondom maatschappelijke missies. Het Europese SET plan (Strategic Energy Technology) heeft als doel om energieproductie en -gebruik in de EU te transformeren en de energietransitie te versnellen. Het plan beschrijft de acties en prioriteiten. Hierin zijn ook de ambities voor aardwarmte geformuleerd. Om dit uit te voeren is een Implementation Working Group (IWG) samengesteld die het Deep Geothermal Implementation Plan (DG-IP) verder moet brengen. Een belangrijke pijler voor deze implementatie is GEOTHERMICA. Dit is de centrale samenwerking van Europese landen (overheden/ agentschappen) op het

gebied van aardwarmte. GEOTHERMICA richt zich zowel op innovatie (funding) als op kennis en strategie. European Geothermal Energy Council (EGEC): de EGEC is de Europese brancheorganisatie voor aardwarmte. Zij heeft als een van haar doelen de ontwikkeling van aardwarmte te ondersteunen. Dit doen zij via het vormgeven van beleid, het verbeteren van bedrijfscondities en het stimuleren van meer onderzoek en ontwikkeling. De EGEC neemt regelmatig deel aan Europese onderzoeksprojecten.

Nationaal

Het topsectorenbeleid vormt een nationaal kader voor onderzoek en innovatie. Topsectoren zijn gebieden waar het Nederlandse bedrijfsleven en onderzoekscentra wereldwijd in uitblinken. Het bedrijfsleven, universiteiten, onderzoekscentra en de overheid werken samen aan kennis en innovatie om deze positie nog sterker te maken. Binnen de Topsector Energie zijn missies geformuleerd naar aanleiding van het Klimaatakkoord die vragen om gerichte innovatie door middel van een meerjarig en programma-tische aanpak. De Topsector Energie heeft deze aanpak vormgegeven in Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). De Topsector Energie bestaat uit vijf Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's). Geothermie Nederland: als brancheorganisatie van de aardwarmtesector zorgt Geothermie Nederland voor pro-



fessionalisering van de aardwarmtesector door onder andere regelmatige kennisuitwisseling en standaardisering. Geothermie Nederland levert namens de aanstormende - en reeds bestaande operators input voor de vraaggestuurde nationale kennisagenda aardwarmte. Ze is ook initiatiefnemer van verschillende toepassingsgerichte projecten en demonstraties met een innovatief karakter, in het belang van haar leden.

Regionaal

Decentrale overheden, met name provincies en grotere gemeenten, zijn vaak onderdeel van een consortium van een innovatieproject. Dikwijls is het innovatieproject dan in de demonstratiefase. Vaak zijn ook regionale ontwikkelingsmaatschappijen (ROM's) en het regionale bedrijfsleven betrokken bij dit soort gebiedsgerichte innovatieprojecten, die veelal deels met middelen uit het Europees Fonds voor de Regionale Ontwikkeling (EFRO) worden gefinancierd en deels uit provinciale innovatie- en energiefondsen.

Het Nationaal Programma RES, uitvloeisel van het Klimaatkkoord, ondersteunt de dertig RES-regio's bij het maken van de Regionale Energie strategieën (RES'en) door kennis te ontwikkelen en delen, procesondersteuning te bieden en een lerende community te faciliteren. Daarnaast verbindt ze partijen, agendeert knelpunten en signaleert

koppelkansen om de ambities te kunnen verwezenlijken. Hier kunnen in de toekomst mogelijk nieuwe innovatie onderwerpen uit voortkomen. Zorgen die leven bij maatschappelijke partijen kunnen ook gebruikt worden voor het definiëren van innovatieprojecten.

Interbestuurlijke dealformules

De samenwerking tussen de nationale overheid en de regio's heeft de afgelopen jaren vorm gekregen in interbestuurlijke dealformules als City Deals, Green Deals, Regiodeals en Woondeals. Een relevant voorbeeld is de Green Deal Aardgasvrije wijken. Deze deal wil de ontwikkeling van aardgasvrije wijken versnellen. Samen met de 31 gemeenten en 5 netbeheerders wordt in geselecteerde wijken het proces naar aardgasvrij in gang gezet, en wordt gezamenlijk gezocht naar mogelijkheden voor versnelling en oplossingen voor eventuele barrières.

4.2 Kennis- en innovatieprogramma's

Innovatie (technologisch, maar ook sociaal) en kennisopbouw gaan in de aardwarmtesector hand in hand. De meeste innovatie- en kennisprogramma's hebben een duidelijke focus op innovatie dan wel kennisontwikkeling,



bij enkelen is het niet altijd duidelijk. We bespreken hier daarom eerst de innovatieprogramma's, gevolgd door een beschrijving van de kennisprogramma's. We hebben ons daarbij beperkt tot de kennisprogramma's die ondersteunend zijn aan de uitrol van aardwarmte in Nederland.

In de beschreven kennis- en innovatieprogramma's lopen op moment van schrijven van deze inventarisatie enkele tientallen onderzoeken gericht op aardwarmte. Waar genoemd in de interviews, zijn lopende onderzoeken genoemd bij de bijbehorende innovatiebehoeften (Bijlage III). Op verschillende plekken worden overzichten gegeven van lopende en afgeronde onderzoeken en innovatieprojecten op het gebied van aardwarmte:

- [Topsector energie](#); deze database omvat niet alleen de TKI onderzoeken, maar ook die van de HER(+) en DEI (+)
- [GEOTHERMICA database](#). De individuele projecten kunnen ook teruggevonden worden onder 'projects'.
- Horizon 2020 en Horizon Europe projecten worden opgenomen in de [CORDIS database](#) waar alle EU-onderzoek en innovatieprojecten in worden geregistreerd.

Innovatieprogramma's

Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI; TRL 4 t/m 6)

Binnen het [MOOI programma](#) van RVO gaat het om multidisciplinaire samenwerkingsverbanden met vernieuwende

mkb'ers (midden- en kleinbedrijf) en belanghebbenden. Samen werken zij aan integrale oplossingen voor concrete uitdagingen uit het Klimaatakkoord. De onderwerpen in het programma dragen bij aan de missies van de MMIP's. Binnen dit programma maakt aardwarmte onderdeel uit van het thema gebouwde omgeving, met als subthema collectieve warmte- en koudevoorziening.

Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI) Topsector Energie (TRL 5 t/m 7)

Vanuit de Topsector Energie zijn er twee programma's waar aandacht wordt besteed aan aardwarmte: [TKI Nieuw Gas](#) kent het programma Geo-Energie en [TKI Urban Energy](#) kent het programma MMIP 4 Duurzame Warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (incl. glastuinbouw). De TKI-programma's zijn vraaggestuurd en vergen de participatie van een operator/marktpartij. De typische verdeling is 50/50 financiering, eigen bijdrage en overheid, zijn afhankelijk van het TRL-niveau. Vaak zijn ook kennisinstuten bij deze programma's betrokken.

DEI+ (TRL 6 t/m 9) en HER+ (TRL 5 t/m 8)

De RVO-programma's DEI+ en HER+ richten zich op Demonstratie van Energie-Innovaties ([DEI+](#)), respectievelijk Onderzoek & Ontwikkeling & Demonstratie van innovaties die tot een reductie van de kosten, dan wel een verbetering van de efficiëntie of bredere toepasbaarheid van Hernieuwbare Energietransitie ([HER+](#)) kunnen leiden voor 2030. Beide programma's zijn ook open voor aardwarmte en ondersteunen op dit moment diverse voor Nederland relevante innovatie- en demonstratietrajecten.

GEOTHERMICA (TRL 5 t/m 9)

Het [GEOTHERMICA](#)-programma is een samenwerking tussen 16 Europese lidstaten, hun regio's en de EU op het gebied van aardwarmte. Het gaat hier zowel om gezamenlijke strategievorming, kennisuitwisseling, alsook het organiseren van gezamenlijke calls (nationaal en EU geld). GEOTHERMICA focust op drie technische thema's, te weten: identificatie en beoordeling van geothermische bronnen, ontwikkeling van geothermische concepten en technologie (zoals boren, materialen en apparatuur) en slimme integratie van aardwarmte in het energiesysteem en operatie. Ook worden hier vier doorsnijdende thema's behandeld, te weten: Milieu, sociale en economische duurzaamheid; data/statistiek en kennisdeling; Publiek bewustzijn, onderwijs, en versterking van de sector; en Beleid, financiën & risico mitigatie, wetgeving.





Horizon 2020 / Horizon Europe (TRL 1 t/m 8)

Het [Horizon 2020](#)-programma (en de opvolger [Horizon Europe](#)) ondersteunt een aantal Europese aardwarmteonderzoeken waar ook Nederlandse partijen in deelnemen. Net als het onderzoek binnen de Nederlandse topsectoren, zijn de Europese programma's gericht op het verwezenlijken van maatschappelijke missies. De Europese Commissie stelt deze programma's vast en gebruikt ze als input voor de door de sectoren aangedragen onderzoeksagenda's. Voor aardwarmte zijn hiervoor twee onderzoeksagenda's van belang, die zijn opgesteld door twee European Technology and Innovation Platforms (ETIP); [ETIP Deep Geothermal](#) en [ETIP Renewable Heating and Cooling](#). Deze agenda's worden opgesteld door vertegenwoordigers uit de industrie, academia, onderzoeksinstituten en branche organisaties.

Kennisprogramma's

Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM)

Het [KEM-programma](#) van het ministerie van EZK is gericht op het opbouwen van onafhankelijke kennis voor het oplossen van onderzoeksvragen die spelen bij SodM, het ministerie van EZK en bij andere deelnemers in het maatschappelijk debat over de (schadelijke) effecten van mijnbouwactiviteiten. Het KEM is gericht op het opbouwen van onafhankelijke kennis voor het oplossen van onderzoeksvragen die SodM heeft vanuit zijn taken als toezichthouder.

DeepNL

DeepNL wil bijdragen aan een beter begrip van het gedrag van de diepe ondergrond, onder invloed van de activiteiten die de mens daarin onderneemt. Daarnaast wil het programma de onderzoeksgemeenschap in Nederland rondom deze thematiek versterken en de onderlinge samenhang vergroten. De looptijd van het onderzoeksprogramma is van 2017 tot ongeveer 2025. Het totale budget bedraagt 23,75 miljoen euro, waarvan 15 miljoen afkomstig is van de NAM en 5 miljoen van NWO. Verder is er een PPS-toeslag van 3,75 miljoen beschikbaar gesteld via TKI-Gas. Het budget wordt op hoofdlijnen verdeeld over twee calls, naast de financiering van kleine projecten en programma-activiteiten zoals bijeenkomsten en communicatie.

SCAN

Het [SCAN programma](#) dat door EBN en TNO wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van EZK is gericht op het ontwikkelen van kennis van de ondergrond. Binnen het programma worden data verzameld van de ondergrond in Nederland in gebieden waar nu onvoldoende data beschikbaar is om de potentie van aardwarmte met voldoende zekerheid te kunnen inschatten. Binnen dit programma worden nieuwe gegevens verzameld door het uitvoeren van seismisch onderzoek, worden bestaande gegevens herbewerkt en worden in de toekomst weten-



schappelijke boringen voorzien om ook de eigenschappen van de aardlagen te kunnen bepalen.

UDG

In het [Ultradiepe Geothermie \(UDG\) programma](#) werken verschillende partijen samen om de kennis over ultradiepe aardwarmte in Nederland te vergroten en toepasbaar te maken.

Kennisagenda Kas als energiebron

De [Kennisagenda Aardwarmte](#) is een kennis/innovatieprogramma van Kas als Energiebron en werd gefinancierd door LTO Glaskracht Nederland, de ministeries LNV en EZK. Er zijn 31 onderzoeken uitgevoerd binnen dit programma.

Het programma loopt sinds 2014 tot heden, waarvan tot 2018 onder de vlag van Kas als Energiebron en de laatste jaren is het programma onder beheer gekomen van EBN. Het programma heeft een vraaggestuurd karakter en er wordt daarom samengewerkt met Geothermie Nederland, Glastuinbouw Nederland, TNO-AGE, SodM, RVO en de ministeries LNV en EZK.

De Kennisagenda Aardwarmte is in 2021 afgrond. De kennis- en innovatie ontwikkeling wordt nu vervolgd door EBN met het programma Kennis en Innovatie Roadmap Aardwarmte (KIRA), gefinancierd door het ministerie van EZK. Het doel van het KIRA-programma is het coördineren

van vraaggestuurd onderzoek voor aardwarmte en het creëren van meer overzicht en meer balans tussen vraag en aanbod van innovatie. Dit programma heeft geen structurele financiering en zal dan ook eindig zijn.

4.3 Uitvoering van onderzoeks- en innovatieprojecten

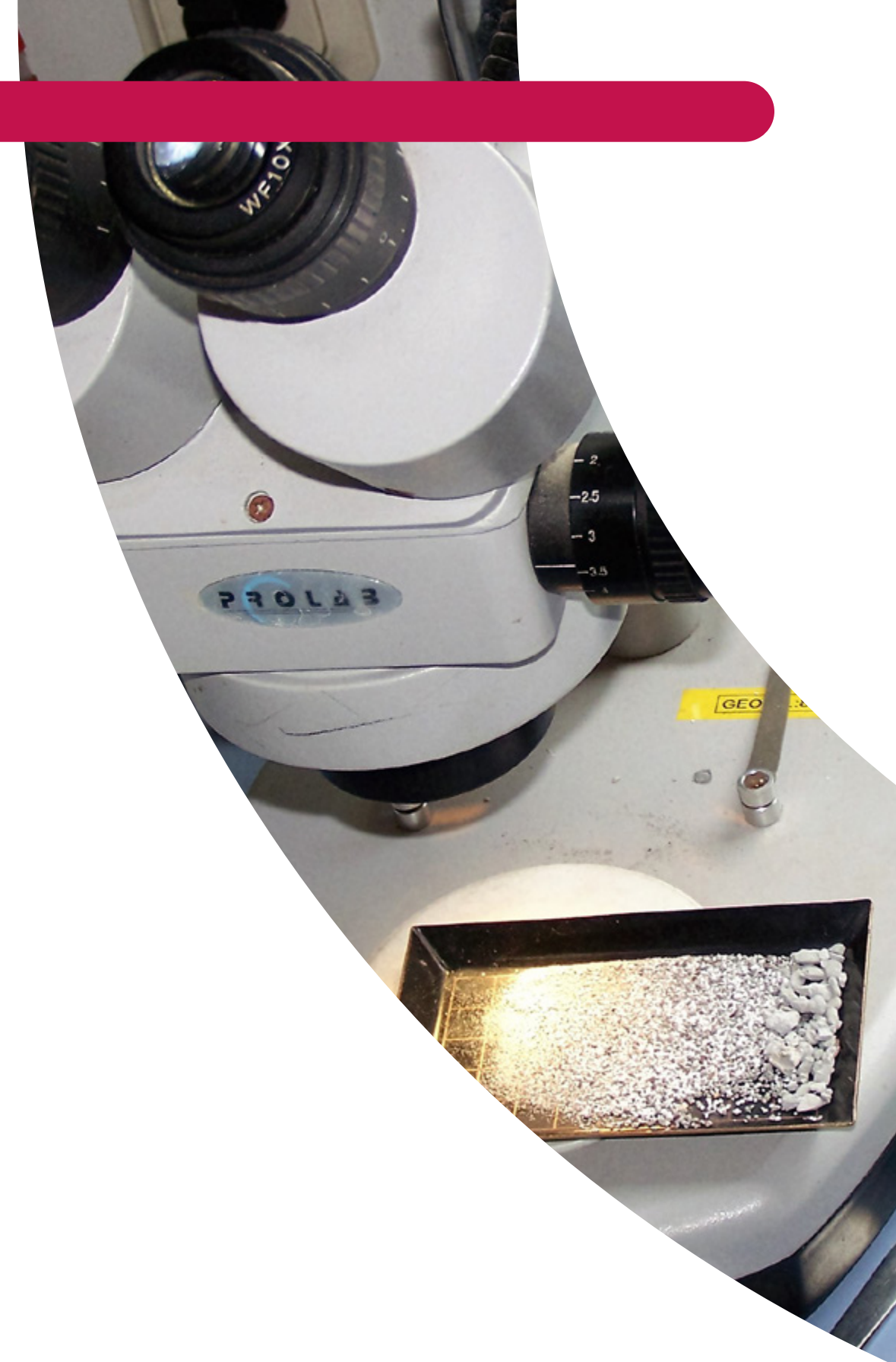
Het uitvoeren van de innovatieprojecten wordt vaak gedaan door consortia. Hierin zijn een aantal partijen actief:

Bedrijfsleven

Bedrijven zoeken alleen of in samenwerking met leveranciers, consultants of kennisinstellingen naar oplossingen die de bedrijfsvoering verbeteren en voeren innovatieprojecten uit.

Belangrijke spelers voor innovatie zijn de bedrijven die zelf actief zijn in de aardwarmtesector:

- Bij alle aardwarmte operators vindt er continue innovatie en vernieuwing plaats van technieken, methoden en tools op basis van de behoeften uit de dagelijkse praktijk. Deze innovatie heeft daardoor een praktisch karakter. Alleen of in samenwerking met leveranciers, consultants of kennisinstellingen wordt gezocht naar oplossingen die de bedrijfsvoering verbeteren. In een





aantal gevallen wordt hierbij gebruikgemaakt van (generieke) subsidies of fiscale instrumenten. De kennis die wordt opgedaan vindt zijn weg verder in de sector, zo wordt deze besproken binnen werkgroepen van Geothermie Nederland. Uitwisseling van kennis en informatie vindt vooral plaats op informele basis.

- Leveranciers en consultants leveren hun expertise aan aardwarmte operators en nemen deel aan onderzoeksprogramma's waar van toepassing. Zij leren ook binnen projecten en tussen projecten, en werken op deze manier aan innovaties als servicebedrijven. Grote leveranciers werken zelf vaak aan innovatie, al dan niet in opdracht van een aardwarmtebedrijf.

TNO

TNO is de TO2 instelling die voor aardwarmte het meest relevant is. Zij krijgen structurele financiering van de rijksoverheid om een bijdrage te leveren aan het oplossen van maatschappelijke vraagstukken, het versterken van het concurrentievermogen via de topsectorenaanpak en voor het uitvoeren van een aantal wettelijke taken. TNO ontwikkelt technologieën en methoden om aardwarmte te versnellen (TRL 4-9). Aardwarmte valt onder de TNO Roadmap Gebouwde Omgeving. TNO definieert samen met stakeholders 4-jarenprogramma's die ieder jaar worden bijgesteld op basis van de veranderingen in de (publieke en private) markt en op basis van continue stakeholder-

consultaties, waaronder in de topsectoren. Deze programma's hebben een maatschappelijke doelstelling en worden onder andere afgerekend op de betrokkenheid van publieke en private stakeholders en de financiële hefboom die daarmee bereikt wordt.

Universiteiten en Hogescholen

Voor fundamenteel onderzoek aan de universiteiten in Delft, Utrecht, Amsterdam, Twente, Groningen en Eindhoven is vooral NWO een belangrijke financier. Tot op heden is vooral de TU Delft actief op het gebied van aardwarmte gerelateerde onderwerpen. Naast fundamenteel onderzoek vindt op universiteiten en hogescholen ook toegepast onderzoek plaats.

KWR

KWR stelt met onderzoek, kennis en innovatie de watersector in staat gezond, duurzaam en efficiënt om te gaan met water. Ondergrondse thermische energieopslag en -productie is een van de thema's onder Geohydrologie. In het kader van het Deltaprogramma wordt door KWR grondwateronderzoek uitgevoerd in relatie met omgevingseffecten. Hier worden ook aardwarmte gerelateerde onderwerpen onderzocht.



Deltares

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Als toegepast kennisinstituut draagt Deltares bij aan de ontwikkeling van innovatieve technieken en het winnen van duurzame energie uit water en ondergrond en is actief in de hele warmteketen.

Rijswijk Center for Sustainable Geo-Energy

Naast de kennisinstellingen, universiteiten en hogescholen beschikt Nederland over een unieke onderzoeksfaciliteit: het Rijswijk Center for Sustainable Geo-Energy (RCSG). Het RCSG bevindt zich in het voormalige 'boorput onderzoeks- en testcentrum' van Shell in Rijswijk. Bedrijven die actief zijn op het gebied van aardwarmte kunnen gebruik maken van het geavanceerde laboratorium. Alle faciliteiten zijn aanwezig om onder hoge druk en temperatuur te testen en experimenteren met nieuwe boortechnieken en materialen. Bijna alle ondergrondse condities in Nederland kunnen worden nagebootst. Wereldwijd bestaan er slechts enkele vergelijkbare centra.

Het is mogelijk dat er in de toekomst nog meer onderzoeksfaciliteiten specifiek gericht op aardwarmte zullen ontwikkelen, bijvoorbeeld in Delft of Utrecht.

Internationale kennisinstellingen en geologische diensten
Er zijn ook internationale kennisinstellingen en geologische diensten actief zoals GFZ, VITO, ÍSOR, GZB en BRGM.

4.4 Financiering van onderzoeks- en innovatieprojecten

Onderzoek en innovatie in aardwarmte wordt hoofdzakelijk gefinancierd vanuit het bedrijfsleven, de Europese Commissie en de nationale overheid.

Bedrijfsleven

Bedrijven investeren in eigen onderzoek en innovatie, waar dat nodig en kansrijk is. Ook zijn zij betrokken bij demonstraties met een duidelijke innovatieve component. Regelmatig nemen zij deel of initiëren zij onderzoek met kennispartijen en (internationale) experts en doen ze aan kennisdeling via Geothermie Nederland.

Nationale overheid

De financiering vanuit de nationale overheid loopt met name via de ministeries EZK, OCW, BZK en LNV.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK)

Het ministerie EZK financiert toegepast onderzoek en innovatie in Nederland om de concurrentiekracht te bevorderen en richt zich op een aantal topsectoren, waarvan

Energie er een is (Topsector Energie). De regelingen en programma's op energiegebied hebben als doel de energietransitie te versnellen.

De regelingen en programma's van EZK worden uitgevoerd door RVO. Daarbij gaat het onder andere om de innovatieprogramma's MOOI, DEI+ en HER+, waarbinnen ook innovatieprojecten op het gebied van aardwarmte gesteund kunnen worden. In Europees verband neemt RVO namens Nederland deel in de samenwerking GEOTHERMICA, die zich richt op gezamenlijke strategievorming, kennisuitwisseling, alsook het organiseren van gezamenlijke calls met betrekking tot aardwarmte. Partijen die actief zijn op het gebied van onderzoek en innovatie kunnen bij RVO hun ideeën laten toetsen en mogelijk een verzoek indienen voor subsidie. Tevens kunnen partijen bij RVO terecht met vragen over aardwarmte en innovatie in het algemeen.

Het kabinet trekt de komende 5 jaar € 20 miljard uit voor investeringen die bijdragen aan economische groei. Het geld uit het Nationaal Groeifonds gaat naar kennisontwikkeling, infrastructuur en onderzoek, ontwikkeling en innovatie. Zo wil de rijksoverheid zorgen voor de volgende generaties in Nederland zodat ook zij goede zorg, goed onderwijs en een leefbare omgeving hebben. De projecten moeten een minimale projectomvang van € 30 miljoen hebben. Het Nationaal Groeifonds is een initiatief van de



ministeries van Economische Zaken en Klimaat en Financiën. Zij beheren gezamenlijk het fonds namens het kabinet. Er is een onafhankelijke commissie ingesteld die de projecten beoordeelt en adviezen geeft. Het kabinet besluit of aan projecten geld wordt toegekend.

Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW)

Het ministerie van OCW richt zich op het stimuleren van kwalitatief goed fundamenteel onderzoek. De Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) investeert, in opdracht van OCW, in kwaliteit en vernieuwing in wetenschap en onderzoek met aandacht voor door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek, onderzoek gericht op maatschappelijke uitdagingen en de onderzoekeninfrastructuur. NWO financiert onderzoek voor excellente onderzoekers en onderzoeksprojecten op de TRL-niveaus 1 tot en met 3.

Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK)

In het interbestuurlijke Programma Aardgasvrije Wijken (PAW) werken het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, het Interprovinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten samen om gemeenten en betrokken partijen aan het zo goed mogelijk ondersteunen van de aardgasvrije opgave. Dit gebeurt via een Kennis- en leerprogramma (KLP)

en grootschalige proeftuinen waarvan er inmiddels 46 zijn gestart. Het KLP en de proeftuinen zorgen voor een vliegwiel zodat gemeenten samen met de betrokken partijen op een steeds grotere schaal in staat zijn te starten met de wijkgerichte aanpak.

Onder het PAW valt ook de Transitievisie Warmte. Dit is een beleidsdocument dat een eerste richting geeft aan de aanpak van het isoleren en aardgasvrij maken van de gebouwde omgeving. Iedere gemeente moet voor het einde van 2021 een Transitievisie Warmte hebben vastgesteld.

Landbouw en voedselkwaliteit (LNV)

Het ministerie van Landbouw en voedselkwaliteit (LNV) richt zich op het stimuleren van kennisontwikkeling en kennisdeling in de landbouwsector. De eerste aardwarmte operators waren ondernemers in de glastuinbouwsector die de warmtevraag van hun kassen duurzaam wilden opwekken. Deze ontwikkeling wordt gestimuleerd vanuit het bredere LNV-programma 'Kas als Energiebron'. De laatste aardwarmte onderzoeken zijn inmiddels afgerond binnen dit programma. De stimulering voor toekomstige aardwarmte onderzoeken met toepassing in tuinbouw, gebouwde omgeving en industrie wordt voortgezet binnen KIRA gefinancierd vanuit EZK.



Nationaal Groenfonds

Het Nationaal Groenfonds verstrekt leningen aan organisaties en ondernemingen die zich inzetten voor de verbetering van de kwaliteit van onze groene leefomgeving. Ook de energietransitie, en daarmee ook aardwarmte, vallen onder deze doelstelling. Er is daarnaast nog een regeling voor innovatie die gericht is op de verbetering van de kwaliteit van de groene leefomgeving.

Europese Commissie

De Europese Commissie financiert onderzoek en innovatie via het Horizon 2020 programma. Dit Europese onderzoeksprogramma verandert vanaf 2021. De opvolger van het huidige programma wordt Horizon Europe, een zevenjarig subsidieprogramma. Het doel is om wetenschap en innovatie in het bedrijfsleven en de academische wereld te stimuleren. Zo kunnen zij het concurrentievermogen van Europa vergroten. Belangrijke thematische pijlers zijn maatschappelijke uitdagingen, industrieel leiderschap, excellente kennisbasis.

European City Facility (EUCF)

Het doel van de EUCF is het ondersteunen van Europese gemeenten en lokale overheden bij de ontwikkeling van investeringsconcepten met betrekking tot de implementatie van activiteiten uit hun klimaat- en energieactieplannen. Het uiteindelijke streven van de EUCF, die is opgezet

met steun uit het Europese R&D-kaderprogramma Horizon 2020, is bouwen aan een substantiële pijplijn van duurzame energie-investeringsprojecten in Europese gemeenten. De EUCF heeft een voorkeur voor aanvragen van samenwerkende gemeenten/lokale overheden. Te ondersteunen activiteiten kunnen onder meer (technische) haalbaarheidsstudies, marktanalyses, belanghebbende-analyses, juridische, economische en financiële analyses, risicoanalyses en coördinatie- en organisatieactiviteiten omvatten. De ondersteuning voor het ontwikkelen van een investeringsconcept bestaat uit een vast subsidiebedrag van € 60.000.

Europees Innovatie Fonds (TRL 6 t/m 8)

Het Europees Innovatie Fonds, gefinancierd uit het ETS systeem, is een van werelds grootste programma's voor de demonstratie van innovatieve technologieën om de CO2-footprint te verkleinen. Twee onderwerpen zijn van belang voor aardwarmte; innovatieve hernieuwbare energieproductie en energieopslag.

Europees Fonds voor de Regionale Ontwikkeling (EFRO; TRL 3 t/m 7)

Vanuit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO) kunnen projecten gesubsidieerd worden die zich richten op innovatie en het leveren van een bijdrage aan de koolstofarme economie. In grote lijnen sluit het 'lands-

delenbeleid' aan op de regionale uitwerking van het Nederlandse topsectorenbeleid. Daarin is per regio bepaald in welke sectoren dit landsdeel wil uitblinken. Bedrijven, kennisinstellingen en overheden kunnen vanuit het programma EFRO subsidie en financiering aanvragen voor projecten. Het EFRO-programma wordt in Nederland uitgevoerd in vier regio's. Elke regio bepaalt hoe het beschikbare subsidiebudget ingezet wordt. Het programma is breed toegankelijk voor diverse soorten organisaties, maar betrokkenheid van bedrijven en mkb in projecten is van groot belang.

Interreg (TRL 5 t/m 8)

Interreg is een verzameling van interregionale subsidieprogramma's die als doel hebben Europa sterker te maken en de economische verschillen tussen regio's en lidstaten te verkleinen door het ondersteunen van samenwerkingsprojecten. In 79 programma's werken landen en regio's samen aan innovatie en onderzoek op tal van gebieden, zoals innovatie, transport milieu en duurzame energie. Er is momenteel een onderzoeksproject specifiek op aardwarmte waaraan partijen uit Nederland, Duitsland, België en Frankrijk deelnemen. Dit programma heeft zich ontwikkeld en is de nieuwe calls richten zich inmiddels vooral op demonstraties.



5. Innovatiebehoefte en impact



We presenteren in dit hoofdstuk het overzicht van innovatiebehoeften die gedurende dit project aangedragen zijn. Deze zijn afkomstig van en bedoeld voor de aardwarmtesector. In de tabel zijn de innovatiethema's en de bijbehorende onderwerpen weergegeven. Dit overzicht kan gebruikt worden als hulpmiddel om innovaties te prioriteren. De onderwerpen uit de tabel zijn individueel in meer detail uitgewerkt.

De indeling van technische innovatieonderwerpen volgt de indeling van bestaande innovatie agenda's GEOTHERMICA en de Strategic Research and Innovation Agenda van ETIP uit 2018 om aansluiting bij lopende programma's te vergemakkelijken:

- A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen
- B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)
- C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

Onderwerpen die al de technische innovatie onderwerpen raken, dan wel niet-technisch van aard zijn of aan innovatie gerelateerde randvoorwaarden betreffen worden behandeld in

- D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen inclusief niet technische innovaties en aan innovatie gerelateerde randvoorwaarden

Innovatie is een creatief proces, er worden altijd nieuwe dingen bedacht en uitgevonden. In dit hoofdstuk geven we eerst een samenvatting van de onderwerpen en hun impact in de tabel op bladzijde [\(blz. 39\)](#). De tabel geeft een overzicht van hoofdonderwerpen waarvan per innovatieonderwerp een beschrijving beschikbaar is in meer detail door het onderwerp aan te klikken. De beschrijving volgt een vaste indeling zoals aangegeven op de volgende pagina. De beschrijving is ook in [bijlage 1](#) terug te vinden. De nummering van de innovatie onderwerpen is willekeurig en geeft geen prioritering van de onderwerpen aan. In [bijlage 4](#) is weergegeven hoe de onderwerpen gerelateerd zijn aan de indeling en onderwerpen van GEOTHERMICA, ETIP-DG en ETIP-RHC.

De tabel kan gebruikt worden als een hulpmiddel om innovaties te prioriteren, waarbij wordt opgemerkt dat alle hier genoemde onderwerpen aandacht behoeven.



Afhankelijk van de rol in de warmteketen en de rol in het innovatielandschap kunnen partijen daarbij hun eigen afweging maken. Voor individuele bedrijven kan de tabel en het potentieel voor ontwikkeling per onderwerp dienen als een 'keuzemenu'. Voor gezamenlijke acties door consortia is de tabel een hulpmiddel om de volgende stappen te zetten in innovatieprogramma's. Voor beleidsmakers en kennisinstellingen geeft de tabel handvatten voor de programmering van onderzoek.

Bij het prioriteren van innovaties zijn de volgende overwegingen van belang. Van alle innovatiethema's wordt ingeschat dat ze direct of indirect bijdragen aan het verhogen van de maatschappelijke waarde van aardwarmte, de een meer dan de ander. Kostprijsverlaging is een van de doelstellingen die de sector zichzelf gesteld heeft. Binnen de visie op de rol van aardwarmte in een duurzame energievoorziening is kostprijsverlaging weliswaar belangrijk, maar niet het enige criterium. Om die reden zou ook een rangorde gemaakt kunnen worden op basis van veiligheid, tijd (haalbaarheid), en duurzaamheid (positief effect op mens en milieu).

Titel

Doel

Het doel waaraan de innovatie zou moeten bijdragen

Stand van zaken

De huidige stand van zaken: Wat is het probleem waar de sector tegenaan loopt? Welke oorzaken zijn bekend? Hoe is tot nu toe met het probleem omgegaan?

Potentieel voor ontwikkeling

Wat zijn richtingen voor de ontwikkeling van innovatieve oplossingen? Hier zijn in de interviews reeds enkele suggesties voor gedaan welke zijn opgenomen in het rapport. De suggesties bestaan uit ideeën uit de interviews, die verder zijn aangevuld door het projectteam. Het is daarmee geen volledige opsomming van alle mogelijkheden.

Beoordeling impact

Wat is de verwachte impact van de innovatie volgens het beoordelingskader uit hoofdstuk 3?

Gekoppeld aan

Met welke innovatieonderwerpen zijn er synergiën?





Doorsnijdende -innovatie onderwerpen, inclusief niet-technische innovaties en aan innovatie gerelateerde randvoorwaarden		
€	🕒	🌿
€	🕒	🌿
€	🕒	🌿

Innovatie-effecten

- € Verlaging kostprijs over de gehele levensduur
- 🕒 Resultaten op korte termijn
- 🌿 Positief effect op milieu en leefomgeving
- 🛡️ Vergroting veiligheid en versterking sector
- Onbekend effect
- Klein effect
- ◐ Medium effect
- Groot effect



6. Conclusies en aanbevelingen



We trekken in dit hoofdstuk conclusies uit de inventarisering en beoordeling van de innovatiebehoeften voor aardwarmte in Nederland. In de gesprekken met circa 30 organisaties op basis waarvan de innovatiethema's zijn geformuleerd, zijn daarnaast een aantal observaties en aandachtspunten naar voren gekomen die direct of indirect aan innovatie zijn te relateren.

Deze inventarisatie is een eerste stap uit het Masterplan Aardwarmte op het gebied van innovatie die moet bijdragen aan het hoofddoel: Innoveren voor efficiëntere aansluiting op de warmtevraag, kosten over de gehele waardeketen en levenscyclus te reduceren en veiligheid verder te verhogen. De aanbevelingen zijn erop gericht om op basis van de huidige inventarisatie een actieplan te ontwikkelen om de innovatiebehoeftes te prioriteren en af te stemmen.

In hoofdlijnen sluiten de conclusies in dit rapport aan bij de innovatiedoelstellingen zoals geformuleerd in de Innovatie Roadmap van 2018: een robuuster aardwarmtesysteem met een langere levensduur, waarmee veilig en goedkoop warmte kan worden geproduceerd. Putten en systemen moeten meer specifiek voor de Nederlandse condities in de ondergrond, hoge volumes, lage temperaturen en agressief water worden ontworpen en aangelegd.

Conclusies

Inventarisatie en beoordeling van innovatiebehoeften:

- Bij de gesproken partijen leeft een scala aan ideeën voor (vervolg)innovaties en demonstraties (zie [bijlage 1](#)). Deze 'innovaties' betreffen zowel fundamenteel onderzoek als ook meer toepassingsgerichte innovaties. In een aantal gevallen betreft het problemen die in de praktijk ervaren worden, zonder dat daarvoor al direct een (technische/innovatieve) oplossing genoemd wordt.
- Bekijken we de innovatieonderwerpen per onderdeel in de keten, dan is te zien dat op alle criteria een positief effect wordt verwacht. De potentie om de ambities van de sector, mede door innovatie, te verwezenlijken is dus gerechtvaardigd.
- Uit de innovatiebehoeften die opgehaald zijn, valt op te maken dat deze zich vooral vanaf het mid-TRL tot hoog-TRL level bevinden.
- De geïnterviewden die werken aan projecten in de ge-

bouwde omgeving vragen nadrukkelijk om innovaties die bijdragen aan de integratie van het gehele warmtesysteem/warmteketen. Daarbij moet niet alleen gedacht worden aan het afstemmen van verschillende duurzame bronnen, maar ook verschillende afnameprofielen (in tijd, hoeveelheid en temperatuur). Hierbij is een koppeling maken tussen afnameprofielen van gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie kansrijk voor aardwarmte.

- De innovatiebehoeften in Nederland sluiten goed aan bij de thema's uit GEOTHERMICA en de Europese onderzoeksagenda ETIP-DG. Sommige onderwerpen zijn te nadrukkelijk gericht op elektriciteitsproductie waardoor het lastig is om de onderwerpen voor warmtelevering in de Nederlandse situatie daar eenduidig aan te kunnen koppelen. Enkele innovatiebehoeften sluiten ook goed aan bij de Europese onderzoeksagenda ETIP-RHC.
- Uit het inventarisatieoverzicht blijkt dat naast technische innovatie ook innovatie op maatschappelijk of organisatorisch niveau nodig is om aardwarmte op korte termijn verder te kunnen versnellen. Het creëren van voldoende gebundelde duurzame warmtevraag is hiervan een goed voorbeeld.



Observaties en aandachtspunten uit de circa 30 gesprekken:

- In de afgelopen jaren zijn er vele onderzoeken en projecten uitgevoerd met een duidelijke kennis- en innovatiecomponent. Het stimuleringsbeleid van de overheid heeft hier een positieve impuls aan gegeven. Daarnaast heeft het bedrijfsleven (operators, experts, adviseurs, leveranciers, etc.) veel gedaan aan toegepast onderzoek, innovatie en demonstratie. Daarbij hebben marktpartijen gebruik gemaakt van diverse onderzoeks- en demonstratiesubsidies voor innovatie. Het betreft vooral stimuleringsregelingen die beschikbaar zijn voor Nederlandse bedrijven en door RVO worden beheerd.
- De innovatievraag verschilt in de verschillende toepassingsgebieden. In de glastuinbouw in gebieden met goede watervoerende aardlagen is deze vaak van hoog TRL-niveau en heel specifiek. Tegelijkertijd is de innovatiebehoefte voor de toepassing in bestaande of nieuwe warmtenetten of in gebieden zonder goede watervoerende lagen (bv closed loop) van een veel lager TRL-niveau en vaak nog diffuser. Het is belangrijk dat de verschillende TRL-niveaus voldoende aandacht krijgen.
- Het is belangrijk dat de aangedragen innovaties een verdere uitwerking krijgen en dat hiervoor zowel een goed investerings- als ook stimuleringskader is. Financiering van degelijk vooronderzoek is noodzakelijk. In het vooronderzoek wordt de status van kennis in ande-

re toepassingsgebieden verzameld en onderzocht en worden de toepasbaarheid en kennishiaten vastgesteld. Op basis daarvan kunnen technieken vervolgens in grote onderzoeksprojecten onderzocht worden. Doordat ook bij de lage TRL-niveaus een bijdrage uit de markt gevraagd wordt, de middelen in de markt beperkt zijn en niet altijd een duidelijk verband is met de toegevoegde waarde voor de markt, is het moeilijk onderzoeken op dat TRL-niveau te financieren. Voor niet-technische onderwerpen kan het lastig zijn om aansluiting te vinden bij lopende innovatieprogramma's.

- De geothermische marktpartijen werken regelmatig samen met bedrijven uit de omliggende Europese landen. Ook toeleveranciers en buitenlandse adviesbedrijven zijn actief in Nederland en bieden relevante kennis en innovaties aan binnen de ontwikkeling van aardwarmteprojecten. De samenwerking tussen internationale marktpartijen bij project overstijgende onderwerpen kan verder worden verbeterd. De samenwerking bij lagere TRL niveaus beperkt zich veelal tot de Europees gefinancierde projecten met kennisinstellingen.
- Voor nieuwe toetreders tot de aardwarmtemarkt is niet altijd duidelijk waar welke kennis over innovatie beschikbaar is, welke innovaties al opgepakt zijn of worden en hoe ze hun innovatie ideeën makkelijk verder kunnen brengen.



- De vrije beschikbaarheid van voldoende data om verder onderzoek mee te kunnen doen en zo de aardwarmtesystemen verder te kunnen innoveren wordt door verschillende partijen als een gemis ervaren. Dat kan zowel geologische data als ook technische data van geothermische installaties of warmtenetten betreffen. Ook kennisinstellingen doen een beroep op de beschikbaarheid van data die gegenereerd worden tijdens de boorfase en van draaiende geothermische systemen.
- Onderzoeksinstellingen geven aan dat het van belang is dat de marktpartijen hun innovatiewensen naar voren brengen en actiever bij (Europees) onderzoek betrokken worden. De aansluiting tussen de marktpartijen en de kennisinstellingen voor lagere TRL onderzoeksonderwerpen kan sterk worden verbeterd zodat de resultaten toepasbaar zijn voor marktpartijen.
- Voor een aantal innovaties is het niet mogelijk om deze in de introductiefase direct al te combineren met commerciële winning van aardwarmte. Dat betekent dat er een manier gevonden moet worden om deze innovaties toch te testen in de praktijk om verder ontwikkeling mogelijk te maken. In de regelgeving en toezicht moet ruimte zijn om deze innovaties en demonstraties in experimenteel verband uit te voeren. Ook dient hier geografisch ruimte voor te zijn.
- In algemene zin vinden de geïnterviewden het moeilijk om een totaalbeeld te vormen van het 'innovatieland-

schap' in de aardwarmtesector en missen zij een meer centrale aansturing (en samenhang) van de kennis- en innovatieontwikkeling in de sector. Per subsidieregeling of per innovatieprogramma kan een overzicht worden gemaakt, maar de onderlinge samenhang tussen regelingen en programma's ontbreekt.

- Voor MKB partijen in de sector met vaak nog relatief beperkte omzet, ontbreekt het aan mensen en middelen om vooronderzoeken te definiëren en uit te voeren om de eigen lange termijn innovatiebehoefte specifiek te maken, en zich te verdiepen in de diverse subsidieregelingen en programma's.
- In hoofdlijnen sluiten de conclusies in dit rapport aan bij de innovatiedoelstellingen zoals geformuleerd in de Roadmap van 2018: een robuuster aardwarmtesysteem met een langere levensduur, waarmee veilig en goedkoop warmte kan worden geproduceerd. Putten en systemen moeten meer specifiek voor de Nederlandse condities in de ondergrond, hoge volumes, lage temperaturen en agressief water worden ontworpen en aangelegd.

Aanbevelingen

In voorgaande hoofdstukken is een overzicht gegeven van de innovatiebehoefte in de aardwarmtesector. Daarmee is een basis gelegd voor een aanbeveling uit het Masterplan: "ontwikkel een actieplan om de innovatiebehoefte te

prioriteren en af te stemmen". Deze inventarisatie is een eerste stap. Een vervolgstap die voorzien wordt, is het beoogde innovatie actieplan zoals benoemd in het Masterplan.

Bij het ontwikkelen van dit overzicht zijn diverse inzichten naar voren gekomen over de wijze waarop innovatie nu verloopt en wordt vormgegeven. Met het geboden overzicht kan door betrokken partijen verder gewerkt worden aan een prioritering en aanscherping van de innovatie-inspanningen in de aardwarmtesector. We geven daarbij enkele aanbevelingen voor vervolg over hoe innovatie kan bijdragen aan een vitale aardwarmtesector.

Stel op basis van deze innovatie inventarisatie een gezamenlijk actieplan innovatie aardwarmte op met de ondernemers, onderzoekspartijen, onderwijs en overheid en bepaal gezamenlijk welke onderwerpen op welke termijn verder moeten worden gebracht. Hierbij is het belangrijk dat er wel ruimte blijft voor innovatie op alle onderwerpen, ook voor de lager geprioriteerde. Voor een succesvol innovatiebeleid is het van belang dat de verschillende onderdelen van het innovatieproces & keten, van bron tot eindgebruiker, en in het beleidskader & instrumenten (wet en regelgeving, financiële prikkels) integraal te overzien en in samenhang te sturen zodat de gezamenlijke inspanningen het meeste resultaat op leveren. Aansluiting tussen de verschillende fases van innovatie





inclusief het vooronderzoek, benodigde randvoorwaarden voor succesvolle innovatie en aandacht voor de niet-technische innovatie en zorgen van maatschappelijke partijen zijn daarin belangrijk. Dit onderwerp van gezamenlijke sturing en prioritering kan een belangrijk onderdeel vormen van het gesprek.

Verbeter de mogelijkheden voor vooronderzoek

Door de moeite die het op dit moment kost om business cases rond te krijgen, is er weinig aandacht voor niet direct toepasbare innovaties en de vereiste vooronderzoeken. Er is sprake van een vicieuze cirkel: Door krappe business case is er geen geld voor innovatie en daardoor blijft de business case krap. Een onderzoek naar de mogelijkheid om deel van de bestaande innovatiesubsidie beschikbaar te maken voor het opzetten van een gezamenlijk team dat hier namens de marktpartijen zich verdiept in het definiëren en uitvoeren van vooronderzoeken kan een uitweg bieden uit deze impasse.

Bouw verder aan de kennis- en innovatie community die is ontstaan rond de toepassing van aardwarmte.

Stel bedrijven in de gelegenheid om actief aan deze community deel te nemen. Zorg dat er gelegenheid is voor bedrijven om elkaar en kennisinstellingen te ontmoeten en met elkaar over innovatie in gesprek te gaan. Dit vraagt om een gerichte aanpak om het innovatieklimaat in de

geothermie sector te onderhouden en waar mogelijk te verbeteren. Suggesties waaraan gedacht kan worden:

- Kennis en ervaringen over innovatie zijn niet altijd snel beschikbaar voor nieuwe toetreders tot de geothermie markt. Het is wenselijk dat de informatie over reeds afgeronde en lopende onderzoeken en innovatieve projecten bijvoorbeeld op de website allesoveraardwarmte.nl, wordt uitgebreid. Een toevoeging van de omschrijving van de innovaties voor het grote publiek geeft daarnaast transparantie wat kan leiden tot vertrouwen in de techniek.
- Over veel innovatiethema's bestaat al een uitgebreide kennisbasis. De huidige inventarisatie kan aangevuld worden met een overzicht van reeds gepubliceerde onderzoeken en lopende onderzoeken in nationaal en internationaal verband. Daarbij is het belangrijk voor toekomstige innovaties dat dit systeem up-to-date blijft. Het opzetten van een kennissysteem kan de kwaliteit van toekomstige onderzoeksvragen, de impact daarvan op de aardwarmte sector, en daarmee de kans op honorering verbeteren.
- Voor de innovaties die nog niet op demonstratie of implementatie niveau zijn is het belangrijk dat er aandacht besteed wordt aan een goede communicatie tussen wetenschap en marktpartijen, zodat de focus van deze innovaties gericht blijft op het vinden van fundamentele oplossingen voor reëel bestaande problemen. Orga-



nisaties zoals Geothermie Nederland, TU Delft, TNO, EBN, of de internationale organisaties zoals IGA of EGEC zouden in gezamenlijkheid kunnen onderzoeken hoe de aansluiting tussen de marktpartijen en kennisinstellingen vergroot kan worden waardoor de innovaties goed aansluiten bij de dagelijkse praktijk van de marktpartijen.

Kijk naar de mogelijkheden voor demonstraties van innovaties die niet direct gecombineerd kunnen worden met een commercieel aardwarmte project.

Voor het grootschalig testen en demonstreren van nieuwe innovaties en technieken die niet gecombineerd kunnen worden met een commercieel project of binnen bestaande mogelijkheden zoals het Rijswijk Center is een oplossing nodig om die innovaties in de vroege introductiefase aan een grondig demonstratie onderzoek te kunnen onderwerpen. Mogelijk zijn aanpassingen nodig in de wet- en regelgeving om dit mogelijk te maken. In de windsector wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van innovatiekavels.

Verken in meer detail de behoeften aan innovaties met lagere TRL's die kunnen bijdragen aan de versterking van de sector.

De opgehaalde innovatiebehoeften zijn grotendeels gericht op technologieën met een volwassenheid die dicht

tegen commerciële toepassing aan zit, met een technology readiness level van 7 of hoger. Voor de ontwikkeling op middellange termijn is aandacht voor meer experimentele technologieën belangrijk. Het gaat daarbij niet alleen om volledig nieuwe concepten, maar ook om innovaties in key enabling technologies die aardwarmteprojecten mogelijk maken. Een aanvulling op de huidige inventarisatie is daarom wenselijk. Dit zou opgepakt kunnen worden in samenwerking met aanpalende kennisdomeinen (bijvoorbeeld chemie). Hierbij is het ook belangrijk om te kijken naar de financieringsstructuur.

Werk de behoeften aan innovaties gericht op de integratie in het energiesysteem verder uit.

De integratie van aardwarmte als bron met de gehele warmteketen is als een duidelijke innovatiebehoefte naar voren gekomen in deze inventarisatie. Het effect op de versterking en versnelling van de sector is bovendien ingeschat als groot. Waar het gaat om het potentieel voor ontwikkeling, zijn hier echter minder concrete ideeën opgehaald omdat er nog veel vragen zijn over hoe systeem integratie moet en kan plaatsvinden. Op verschillende plekken wordt hier echter al hard aan gewerkt. Een overzicht van de huidige stand van zaken en een verdieping van deze innovatiethema's - gericht op het maken van een goede connectie met de bovengrond en zeker naar de

gebouwde omgeving - kan meer ideeën opleveren voor verbetering van de gehele aardwarmteketen. Hier gaat het nadrukkelijk ook om verbinding en integratie met totaál andere technische en niet-technische vakgebieden en andere bedrijven door de integratie met andere warmtebronnen, in een warmtenet. Naast theoretische modellen is er vooral behoefte aan innovatieve praktijkvoorbeelden die als inspiratie kunnen dienen voor een bredere toepassing. Het is wenselijk dat in dit domein verschillende demonstraties worden opgezet, die niet alleen naar techniek kijken maar ook naar niet-technische aspecten zoals complexe governance en besluitvormingstrajecten in de gebouwde omgeving en realiseren van draagvlak/acceptatie van omwonenden. Hier is een mogelijke koppeling te maken met het Versnellingstraject Geothermie in de gebouwde omgeving.



7. Geraadpleegde bronnen



Geraadpleegde bronnen

DAGO (2019), Gedragscode Omgevingsbetrokkenheid bij Aardwarmteprojecten.

<https://www.dago.nu/wp-content/uploads/2019/11/DAGO-Gedragscode-Omgevingsbetrokkenheid-bij-Aard-warmteprojecten.pdf>

European Technology and Innovation Platform on Deep Geothermal (ETIP-DG). (2018). Strategic Research and Innovation Agenda.

<https://www.etip-dg.eu/publication/strategic-research-and-innovation-agenda-for-deep-geothermal/>

European Technology and Innovation Platform on Deep Geothermal (ETIP-DG). (2019). Implementation Roadmap. <https://www.etip-dg.eu/publication/implementation-roadmap-for-deep-geothermal/>

European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling (ETIP-RHC). (2020). ETIP-RHC strategic research agenda.

<https://www.egec.org/wp-content/uploads/2020/09/Geothermal-SRIA-2020-v.3-FINAL.pdf>

Heekeren, V. Van. (2020). Platform Geothermie: The Source of Holland .

PBL (2020) De Startanalyse, <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/default.aspx>

RVO website: <https://www.rvo.nl/>

Schellekens, J., Verbeek, W., van Gils, H., & den Ouden, B. (2020). Een studie naar de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron voor de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie. Berenschot. <https://kennisbank.ebn.nl/eindrapport-warm/>

Steffens, R., Last, J., Loonstra, B., & Vergoossen, B. (2018). Innovatie Roadmap Geothermie Nederland. Royal Haskoning DHV. <https://kennisbank.ebn.nl/innovatie-roadmap-geothermie-nederland-2018/>

Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, & EBN. (2018). Masterplan Aardwarmte in Nederland. <https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2018/05/20180529-Masterplan-Aardwarmte-in-Nederland.pdf>

Stichting Warmtenetwerk, & Dutch New Energy Research. (2020). National Warmtenet Trendrapport 2021. <https://warmtenettrendrapport.nl/trendrapport/>

TNO. (2020). Duurzaamheid van geothermie in warmtenetten (Nummer December). <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/duurzame-ondergrond/naar-een-energie-producerende-gebouwde-omgeving/versnelde-verduurzaming-lokale-warmtevoorziening/duidelijkheid-duurzaamheid-geothermie/>

TNO, & EBN. (2018). Play-based portfoliobenadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie. <https://www.nlog.nl/rapporten>



8. Bijlagen



8.1 Bijlage 1

Beschrijving innovatie- onderwerpen op hoofdlijnen

Per onderwerp uit het innovatieoverzicht is een beschrijving op hoofdlijnen beschikbaar in deze bijlage. Hierbij is de indeling aangehouden uit hoofdstuk 5. Deze bijlage is ook direct toegankelijk door in het innovatieoverzicht op het desbetreffende onderwerp te klikken.

#	Titel
Doel	Het doel waaraan de innovatie zou moeten bijdragen
Stand van zaken	De huidige stand van zaken: Wat is het probleem waar de sector tegenaan loopt? Welke oorzaken zijn bekend? Hoe is tot nu toe met het probleem omgegaan?
Potentieel voor ontwikkeling	Wat zijn richtingen voor de ontwikkeling van innovatieve oplossingen? Hier zijn in de interviews reeds enkele suggesties voor gedaan welke zijn opgenomen in het rapport. De suggesties bestaan uit ideeën uit de interviews, die verder zijn aangevuld door het projectteam. Het is daarmee geen volledige opsomming van alle mogelijkheden.
Beoordeling impact	Wat is de verwachte impact van de innovatie volgens het beoordelingskader uit hoofdstuk 3?
Gekoppeld aan	Met welke innovatieonderwerpen zijn er synergiën?



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A1 Ondergrondmodel voor betere voorspelling van aardwarmteproductie over tijd

Doel

Het doel van reservoirmanagement is dat de ondergrond voor de geplande tijd (15-30) jaar succesvol wordt ingezet met een warmteproductie die in ieder geval niet minder is dan voorspeld. Dit gebeurt door een ondergrondmodel te maken waarmee voorspeld wordt wat de warmteproductie zal worden nadat de putten zijn geboord. Dit model wordt na het boren en testen van de putten bijgewerkt. Tijdens productie wordt gecontroleerd of de verwachte warmteproductie behaald wordt. Als het afwijkt of af gaat wijken, kan dit vroegtijdig gesignaleerd worden en de oorzaak sneller worden achterhaald. Dit vergroot de kans op langjarig succes én vermindert zowel kapitaaluitgaven (CapEx) als risico's van projecten. Ook helpt dit met het plannen van vervolgdoublingen en zodoende het optimaal benutten van de beschikbare ruimte.

Stand van zaken

Ondergrondmodellen kunnen worden uitgesplitst in statische modellen (geologische en geomechanische modellen) en dynamische modellen (reservoir engineering modellen). Hierbij geldt dat het geologisch model

de basis vormt voor de andere twee type modellen. De huidige ondergrondmodellen worden gebruikt om het project te realiseren en de juiste voorspellingen te doen voor productieprofielen. De modellen lijken slechts beperkt gebruikt te worden in de productiefase. Bijvoorbeeld om het resultaat van de boringen te gebruiken om het model aan te scherpen en gedurende de productie het reservoir mee te monitoren (History matching). Door een goed ondergrondmodel te maken, passend bij de geologische situatie en de ondergrond risico's in een gebied en daarin verbeteringen aan te brengen op basis van actuele data, kunnen vroegtijdig eventuele problemen (zoals verstoppingen, snellere doorbraak van koud water, seismiteit) worden opgespoord en de productie worden geoptimaliseerd. Tevens kunnen uitbreidingen (bijvoorbeeld extra putten) en nieuwe ontwikkelingsstrategieën (bijvoorbeeld converteren van injector naar producer, tijdelijk uitzetten t.b.v. opwarming van het reservoir, etc.) bepaald worden.

Binnen zowel de wereldwijde aardwarmtesector en ook de olie- en gassector is het gebruik en up-to-date houden van dergelijke modellen gangbaar. In Nederland wordt dit voor de aardwarmtesector slechts mondjesmaat toegepast.



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A1 Ondergrondmodel voor betere voorspelling van aardwarmteproductie over tijd

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Toegankelijke, betaalbare software voor dynamische reservoir modelering met een goede connectiviteit met de geologische en geomechanische modelering softwarepakketten. Inbouwen learning loop voorspelde – aangetroffen porositeit en permeabiliteit. Hierbij is het belangrijk dat de grafische gebruikersomgeving goed aansluit bij de eindgebruikers van de software.
- Ontsluiting en analyse van data: data acquisitie, gekoppeld aan real-time productie-analyse, inclusief tussentijds testen.
- Onderzoek naar waarom de aangetroffen permeabiliteit afwijkt van de vooraf ingeschatte permeabiliteit.
- Onderzoek naar eenduidige methodiek voor de inschatting van permeabiliteit op een toekomstige projectlocatie in zowel een gebied met veel als met weinig beschikbare ondergrond data.

Beoordeling impact

De impact van het maken en monitoren van een model van de ondergrond wordt als groot gezien. Door middel van goed reservoir management kan de levensduur worden verlengd. De kostprijs van warmte neemt af doordat de ondergrondse warmte optimaler wordt gewonnen. Het vroegtijdig opsporen van operationele issues verlaagt de operationele kosten. Bij eventuele problemen kan sneller een handelingsperspectief worden bepaald waarbij alle gegevens worden meegenomen. De enige mogelijke beperkingen zijn dat het opstellen van een ondergrondmodel initieel geld kost zonder dat er zekerheid is over de positieve effecten.

Gekoppeld aan

A2 - Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

A3 - Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen

D6 - Overeenstemming acceptabel niveau seismiciteit



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A2 Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

Doel

Doelmatig gebruik van de ondergrond. Dit leidt uiteindelijk tot (maatschappelijke) kostenreductie doordat de warmte uit de ondergrond optimaal benut wordt en suboptimale planningen worden voorkomen.

Stand van zaken

Op de wat langere termijn wordt doelmatig gebruik van de ondergrond belangrijk. In sommige gebieden speelt dit nu al. Er is een toenemende noodzaak voor regie bij het uitgeven van concessies. In sommige gebieden wordt het druk in de ondergrond, met name in het westen van het land. Dat vereist planning op regionaal niveau, in de richting van een regionaal meervoudig veld ontwikkelplan, waarbij diverse potentiële ontwikkelingsscenario's van de ondergrond in combinatie met de (toekomstige) warmtevraag van de bovengrond geëvalueerd worden over de gehele levenscyclus van de asset. Onderdeel hiervan zijn ook de mogelijkheden van warmteopslag en de invulling van de benodigde piekvraag. Op basis van bijvoorbeeld economische criteria wordt het beste scenario geselecteerd. Een voor-

beeld van een onderzoeksprogramma waarin meerdere scenario's worden uitgewerkt is binnen MOOI.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- High level optimalisatie om interferentie met aangrenzende putten te voorkomen.
- Overzicht benutting ondergrond lange termijn en regionale regievoering ("3D bestemmingsplan") om doelmatig en planmatig gebruik van de ondergrond te realiseren.

Beoordeling impact

Het is een bekende techniek uit o.a. de internationale aardwarmte industrie, maar het vergt een lange termijn visie. Door de huidige opdeling van de ondergrond in meerdere kleine vergunningen en de langzame ontwikkeling van gebundelde duurzame warmtevraag, wordt de termijn waarop dit gerealiseerd kan worden als relatief lang gezien. De impact van een meervoudig veldontwikkelingsplan op de kostprijs is afhankelijk van de grootte van het portfolio. Bij de aanname dat vijf projecten in een portfolio zitten en dat deze ook na elkaar worden ontwikkeld, is



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A2 Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

een kostenafname voor de boringen van 20-25% te verwachten. Bij het niet achter elkaar boren is zo'n 10% afname van de investeringskosten te verwachten doordat de projecten in samenhang worden ontwikkeld (TNO en EBN, 2018).

Gekoppeld aan

- A1** - Ondergrondmodel voor betere voorspelling van aardwarmteproductie over tijd
- A3** - Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen
- D1** - Heldere wet- en regelgeving

A3 Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen

Doel

Doelmatiger gebruik van de ondergrond door optimalisatie van de methode voor toekenning van licentie bij winningsvergunning.

Stand van zaken

Bij winningsvergunning worden volgende de 'Franse methode' cirkels rond een put getrokken om de potentiële effecten op het reservoir aan te geven. Cirkels doen echter geen recht aan de diverse reservoirafhankelijke stromingspatronen. De huidige wijze van het uitgeven van winningsvergunningen zorgt voor een niet-optimale benutting van de ondergrond en kan ertoe leiden dat te grote of juist te kleine gebieden worden uitgegeven ten opzichte van de optimale benutting van de ondergrond voor warmte. Het wordt steeds drukker in de ondergrond en er zijn nu al voorbeelden van projecten die elkaar beïnvloeden. Bij beïnvloeding van de burens in de vorm van 1 graad temperatuurdaling op de grens van de cirkel, kan de vergunning al ingetrokken worden. Dat moet geschat worden op basis van theoretische modellen en is er bij alle partijen overeenstemming



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A3 Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen

nodig over het ondergrondmodel. Dat maakt de methode kwetsbaar voor juridische conflicten.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Meer putten in de ondergrond is op korte termijn misschien rendabel, maar op langere termijn (~100 jaar) kunnen we de ondergrond beter optimaliseren. Hier kan een reservoir- en beheersmodel met puttenconfiguratie en optimalisatie van debiet en uitkoeling voor de lange termijn voor ontwikkeld worden.
- Verbetering van de 'Franse methode' voor effect inschatting reservoir, waarbij het effect van breuken (open dan wel sealing) meegenomen wordt.
- Verken de mogelijkheden voor gezamenlijk operatorschap zoals gebruikelijk bij de olie- en gassector.

Beoordeling impact

Een licentiegebied gebaseerd op de eigenschappen van de ondergrond vergroot de mogelijke inzet van de ondergrond in de duurzame warmtelevering. Beperkingen worden gezien in de haalbaarheid op korte termijn, omdat veel vergunningsgrenzen reeds zijn bepaald en er nog geen eenduidig model is waarbij het effect van breuken op productie adequaat meegenomen wordt.

Gekoppeld aan

A1 - Ondergrond model voor betere voorspelling
aardwarmteproductie over tijd

A2 - Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik
van de ondergrond

D1 - Heldere wet- en regelgeving



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A4 Nieuwe concepten voor winning aardwarmte

Doel

Aardwarmte inzetten in lagen in de ondergrond waar de huidige concepten onvoldoende gebruik van maken of waar van nature geen doorlaatbare laag (aquifer) aanwezig is

Stand van zaken

Closed-loop-systemen: Closed-loop-systemen maken gebruik van een configuratie waarbij ze het gebruik van ondergronds water vermijden. Loops zijn makkelijker te standaardiseren en op te schalen. Ze zijn minder afhankelijk van de geologie en daarmee breder toepasbaar en ze zijn in potentie minder risicovol en meer schaalbaar. Ze zijn daardoor aantrekkelijker voor investeringen. Zulke systemen zijn nog relatief jong en vragen zeker om 10 jaar ontwikkeling en experimenteren.

Ondiepe geothermie: Er is een behoefte aan lage-temperatuurwarmte, rond de 30-40 graden, voor nieuwbouwwoningen. Nu zijn er hoge verwachtingen voor warmte uit oppervlaktewater of afvalwater. Ondiepe geothermie kan daar ook wat bieden. In veel gebieden zal conventionele geothermie bovendien nog niet makkelijk te realiseren zijn. Ondiepe geothermie biedt daar mogelijkheden. Een eerste lage-temperatuur aard-

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

UDG: Ultradiepe geothermie is het gebruik van de diepe ondergrond op meer dan 4 km diepte voor productie van warmte. In andere landen wordt elektriciteit gewonnen uit deze warmte, maar deze potentie wordt gezien de relatief lage temperatuurgradiënt en de Nederlandse elektriciteitsstarieven hier niet als optie gezien. Binnen het Programma Ultradiepe Geothermie wordt in Nederland door verschillende partijen toegewerkt naar een eerste pilot.

Eén put concepten: Zowel binnen Nederland als daarbuiten zijn verschillende concepten voor de winning van aardwarmte met één put ontwikkeld. Of de hiermee aangenomen reductie in CAPEX in balans is met het te behalen vermogen van de put, is op dit moment nog onduidelijk.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Testen en doorontwikkelen van het closed-loop concept



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A4 Nieuwe concepten voor winning aardwarmte

- Testen en optimaliseren van putontwerpen voor ondiepe geothermie
- Vervolg van Programma Ultradiepe Geothermie bij positieve resultaten
- Uitwerken van één-putsconcepten
- Concepten voor combinatie van CO₂-opslag en aardwarmte

Beoordeling impact

Het is onzeker op welke termijn deze innovaties toepast kunnen worden. De verwachting is dat er eerst demonstratieprojecten nodig zijn. Nieuwe concepten kunnen echter goed bijdragen aan het winnen van aardwarmte uit formaties die nu nog geen positieve business case hebben.

Gekoppeld aan

B2 - Verhogen productiviteit in marginale velden door putconcepten

B3 - Verhogen productiviteit in marginale velden door reservoir stimulatie

A5 Hergebruik van aardwarmtebronnen

Doel

Slim hergebruik van putten, reservoir of well site waar mogelijk

Stand van zaken

In het verleden is er op verschillende plekken gekeken naar het hergebruik van bestaande olie- en gasputten voor aardwarmte. De business cases komen vaak negatief uit doordat de putten een kleine diameter hebben, er onduidelijkheid is over de kwaliteit van de boringen, of de warmtevraag in de omgeving zich niet leent voor aardwarmte. Hergebruik van bestaande aardwarmteboringen lijkt nog niet aan de orde, maar het is interessant om hier in een vroeg stadium rekening mee te houden.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Het is belangrijk om na te denken over wat potentieel hergebruikt kan worden en wat er voor nodig is.

Mogelijke opties zijn:

- Hergebruiken oude olie- en gasputten voor de winning van



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A5 Hergebruik van aardwarmtebronnen

aardwarmte, eventueel op andere dieptes of via andere concepten zoals closed loop. Het succesvol hergebruik van de putten is afhankelijk van de situatie en de specifieke put. Well sites van oude putten zijn in de gebouwde omgeving waarschijnlijk wel geschikt voor hergebruik omdat ze in de buurt van warmteafnemers liggen. De uitdaging hierin is vooral de juridische haalbaarheid.

- Hergebruik van uitgeproduceerde aardwarmteput in een ondieper reservoir.
- Lessons learned vanuit [Nexstep](#) (National platform for re-use and de-commissioning vertalen voor de aardwarmtesector.
- Hergebruik van de locatie om vanaf daar nieuwe putten te boren. Het warmtenet is dan al aangesloten op deze well site én de locatie is al een mijnbouwlocatie. Gedeveerd boren vanaf dezelfde locatie is dan een optie.
- Putten zouden ook hergebruikt kunnen worden voor data- en monitoringsputten. Dit kan zowel met oude gas- als geothermieputten gedaan worden.

Beoordeling impact

Het hergebruiken van een bestaande locatie heeft vooral een positieve impact omdat de locatie reeds gebruikt wordt als mijnbouwlocatie. Dit verkort de doorlooptijd van een nieuw project. Een al bestaande aansluiting op het warmtenet op diezelfde locatie verhoogd de impact. Afhankelijk van de situatie kan het resulteren in een aangepast (duurder) ontwerp van de putten.

Gekoppeld aan

N.v.t.



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A6 Data acquisitie putten optimaliseren

Doel

De juiste data kan zorgen voor het verkleinen van de ondergrond onzekerheid bij een winningsplan. Ook zorgt meer data acquisitie voor een verkleining van de onzekerheid bij vervolprojecten. Daarom is het belangrijk om data acquisitie verder te optimaliseren.

Stand van zaken

Bij huidige boringen wordt relatief weinig data verzameld. De data die verzameld wordt beperkt zich veelal tot de noodzakelijke gegevens om het boorproces te sturen en de veiligheid te kunnen garanderen. Meer gegevens van de ondergrond zorgen ervoor dat het reservoir optimaal gemanaged kan worden. Ook kunnen gegevens ervoor zorgen dat nieuwe plays in de toekomst kunnen worden ontwikkeld. De injectiedruk is een belangrijke parameter bij de aanvraag van een winningsvergunning en bepaald veelal het debiet wat maximaal mag worden geïnjecteerd. Door meer data te acquireren bij het boren, kan een goede onderbouwing geleverd worden voor de voorgestelde injectiedruk. Er is nu echter vaak te weinig data voorhanden om een (statisch) ondergrondmodel te maken. Bij onvoldoen-

de data wordt een extra veiligheidsmarge aangehouden wat vaak nadelig is voor het debiet.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Best practices opstellen van benodigde metingen voor een optimaal reservoir management en input voor winningsvergunningen.
- Verzamelen van data over ondiepere lagen.
- Slimmere dataverzameling, bijvoorbeeld met machine learning. De ICT ontwikkelt zich hard maar zelflerende systemen hebben veel data nodig om effectief te worden.
- Data acquisitie goedkoper en efficiënter maken door bijvoorbeeld verdere tool of methode ontwikkeling.

Beoordeling impact

Data-acquisitie an sich is geen innovatie maar omdat dit relatief weinig wordt toegepast in Nederlandse projecten is het hier wel opgenomen. De methode van data-acquisitie kan natuurlijk wel verder geïnnoveerd worden waardoor het meer data oplevert specifiek voor aardwarmte. De impact wordt gezien als groot. Dit omdat de kosten hiervoor



A. Voorspellen en beoordelen van aardwarmtebronnen

A6 Data acquisitie putten optimaliseren

relatief laag zijn en de winning geoptimaliseerd kan worden. Door het data acquisitie programma op maat te maken voor de vragen die je beantwoordt wil hebben zorgt voor een lagere kostprijs van de warmte. Meer kennis van de ondergrond geeft bijvoorbeeld een betere inschatting van veilige productieparameters, zoals de injectiedruk. De impact van de maximale injectiedruk op een business case kan groot zijn. Daarnaast is de impact hiervan op vervolgprojecten in dezelfde regio hoog.

Gekoppeld aan

D1 - Heldere wet- en regelgeving

D2 - Kennis- en datadeling

D5 - Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen waar mogelijk



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B1 Methoden om het boorproces te versnellen

Doel

Verkorten van de boortijd en zo verlaging van de kosten, onder de voorwaarde veilig en verantwoord.

Stand van zaken

Het boorproces is het meest kostenintensief onderdeel van een ontwikkeling van een project in de ondergrond. Om deze reden wordt binnen de aardwarmtesector, maar ook binnen de olie- en gassector, gezocht naar manieren om het boorproces te versnellen zodat het aantal dagen en daarmee de kosten verlaagd kan worden.

- Casing boren, is een methode die uit de olie- en gasindustrie komt. Door de casing direct bij het boren al in te brengen wordt veel tijd bespaard én kan de stabiliteit van het boorgat beter gegarandeerd worden. De methode kan voor aardwarmte mogelijk geoptimaliseerd worden als gevolg van de grotere casing diameters in aardwarmte.
- Boorproces versnellen door (delen) te automatiseren.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Smart casing met geïntegreerde monitoring.
- Overzicht van best practices
- Het toepassen van automatisering en artificial intelligence

Beoordeling impact

Aangezien het boorproces kostenintensief is, worden de investeringskosten verlaagd als er sneller geboord kan worden. Daarnaast verlaagt sneller boren de impact van het realiseren van de boring op de omgeving doordat er minder lang overlast is. Ook kan het een positieve impact hebben op de veiligheid van de sector doordat er minder mensen of handelingen nodig zijn op de boorvloer.

Gekoppeld aan

D5 - Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen waar mogelijk



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B2 Verhogen productiviteit door putconcepten

Doel

Tegen beperkte extra kosten, meer warmte produceren.

Stand van zaken

Met radial drilling/jetting kan de productie van een put verhoogd worden. Het probleem met jetting is dat er geen controle is over de richting: de weg van de minste weerstand wordt gekozen en in Nederland is dit meestal omhoog. Bij radial drilling stuur je de richting van het extra gat en is er meer controle. Er zijn diverse studies geweest en nog lopende projecten met een hoog TRL-niveau (o.a. CAGE, HIPE, SURE) naar de toepasbaarheid van radial jetting met gemengde resultaten. Het is nog onvoldoende te zeggen in welke situaties deze techniek kansrijk is.

Multilaterals kunnen een oplossing zijn om tegen lage kosten meer debiet te onttrekken door een sidetrack te boren op relatief korte afstand van het hoofdgat waardoor het contactoppervlak tussen de boring en het reservoir vergroot wordt. Dit is een bekende techniek in de offshore olie en gas. Het is technisch complex en het is de vraag of de ontwerpen (kosten-) effectief zijn in vergelijking tot het zetten van een extra reguliere boring in Nederland op land. In het project RESULT wordt hier een antwoord op ge-

zocht; dit onderzoek is nog in de opstartende fase.

Horizontale boringen kunnen door het grotere contactoppervlak van de put met het reservoir zorgen voor een hogere productie. In de huidige aardwarmteprojecten in Nederland is dit slechts enkele keren toegepast. In de olie- en gasindustrie is dit, ook in Nederland, een gangbare techniek. Het is belangrijk om duidelijkheid te hebben waarom de productie op een locatie marginaal is en welk concept dan het beste kan worden toegepast.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Uit de interviews lijkt het dat er consensus is over nut en noodzaak van radials, maar nog niet over de kansrijkheid van deze techniek in de praktijk. Dat kan verder onderzocht worden, al lijkt radial jetting een steeds lagere kans van slagen te hebben. De toepasbaarheid van radial drilling in Nederland dient ook onderzocht te worden. M.b.t. multilaterals ligt het voor de hand om voort te bouwen op de uitkomsten van RESULT.

Beoordeling impact

De tot nu toe uitgevoerde demonstratieprojecten voor radials zijn nog niet heel hoopgevend. Mochten verdere demonstratieprojec-



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B2 Verhogen productiviteit door putconcepten

ten dichter komen bij de theoretische studies, is kostenreductie en optimaler gebruik van de ondergrond zeker mogelijk. Multilaterals hebben een hogere impact op de kostprijs van aardwarmte, doordat er op voorhand meer zekerheid geven over het extra debiet wat daaruit volgt. De herhaalbaarheid kan groot zijn. De techniek moet echter nog bewezen worden in Nederland.

Gekoppeld aan

A5 - Nieuwe concepten voor winning aardwarmte

B3 Verhogen productiviteit door reservoir stimulatie

Doel

Tegen beperkte extra kosten, meer warmte produceren

Stand van zaken

Er zijn meerdere manieren om een reservoir te stimuleren. Hydraulische stimulatie lijkt op basis van huidige onderzoeken economisch waardevol en veilig. Maar de aardwarmtesector is voorzichtig en er zijn beperkingen vanuit het toezicht. Het onderwerp ligt gevoelig, zeker bij drinkwaterbedrijven en omwonenden. De afgelopen decennia is een groot aantal gasputten in Nederland gefract zonder problemen, zowel op land als onder de Noordzee. Dit toont aan dat het veilig kan. Het gaat daarom vooral om maatschappelijk draagvlak, een helder risicokader en een onderbouwd verhaal naar de omgeving wat belangrijk is om dit breder te kunnen oppakken. Internationaal wordt gewerkt aan het ontwikkelen van groene vloeistoffen. Het is echter de vraag of dat de bezwaren gaat wegnemen. Een andere methode is zuren of chemisch stimuleren waarbij bijvoorbeeld kalk- of kleideeltjes oplossen doordat er een stof wordt toegevoegd aan het water dat in het reservoir stroomt.



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B3 Verhogen productiviteit door reservoir stimulatie

Als je dit gericht doet in geschikte reservoirs, levert stimulatie veel extra debiet en dus warmte op. Het werkt door op de hele business case, bijv. ook de dimensionering van de put en het warmtenet. Om aardwarmte op te schalen, is dit een belangrijke tool, zeker in gebieden waar de reservoirkwaliteit minder is. Daarvoor zou het goed zijn om de potentie van deze techniek in een demonstratieproject uit te voeren. Voor stimulatie zou door de sector een standaard ontwikkeld moeten worden. De technieken zijn bekend van olie en gas, ook in Nederland, maar moeten in de geothermie nog bewezen worden.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)
Demonstratie van reservoirstimulatie in aardwarmte, waarbij ook gekeken wordt hoe de dialoog met de omgeving en het draagvlak kan worden verbeterd.

Beoordeling impact

De impact van reservoirstimulatie op de business case wordt hoog inge-

schat, maar de uitvoerbaarheid laag door maatschappelijke bezwaren. Dit komt door het verwachte gebrek aan draagvlak voor hydraulische stimulatie. De vraag is daarmee of de inzet van hydraulische stimulatie overal een positief effect zal hebben op de potentiële ontwikkeling van aardwarmte in Nederland.

Gekoppeld aan

D3 - Betrekken van de omgeving bij aardwarmteprojecten



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B4 Impact van testwater verkleinen

Doel

Duurzame verwerking van testwater met als resultaat minder kosten voor afvoer en het verder verkleinen van risico op lekkages aan het maaiveld.

Stand van zaken

Bij het testen van de boring is een groot bassin nodig voor de opvang van het testwater. Grond is duur en ruimte is schaars. Daarnaast bestaan er zorgen over mogelijke lekkages van deze testwaterbassins ondanks de daarvoor genomen maatregelen. Dat probleem wordt steeds belangrijker, zeker gezien de verschuiving van aardwarmte naar de gebouwde omgeving. Aanvullend daarop zijn er zorgen over de uiteindelijke verwerking en lozingsopties van het testwater. Er zijn verschillende waterbehandelingsmethodes. In het gunstigste geval kun je het testwater zonder risico weer herinjecteren. Een alternatief is bovengronds het water zuiveren, bij voorkeur met terugwinning van materialen, zodat het water makkelijk kan worden afgevoerd. Wanneer de putten minder getest hoeven te worden of te worden schoongemaakt, dan hoeft er minder gespoeld te worden. Dat is ook een manier om de hoeveelheid testwater te verminderen. De putten die via RNES verzekerd zijn, worden uitvoerig getest volgens de eisen en zij

produceren daarbij erg veel testwater. De vraag is in welke mate dit daadwerkelijk nodig is om de permeabiliteit te bepalen.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Andere manier van testen van productie/injectiecapaciteit van de putten.
- Andere eisen aan RNES verzekering stellen zodat minder water geproduceerd hoeft te worden. Testwaterbehandelingen die afvoer/herinjectie makkelijker maken
- Een mogelijke toekomstige oplossing is via andere zuiveringstechnieken zoals osmose of bevrozing.

Beoordeling impact

Het beperken van productie, opslag en afvoer van testwater zal een direct positief effect hebben op de impact op de omgeving en de kosten van het project.

Gekoppeld aan

D7 - Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B5 Optimaliseren putontwerp en putintegriteit

Doel

Verlengen levensduur putten en voorkomen en tijdig detecteren van lekkages door optimalisatie van putintegriteit met een bijbehorend monitoringsprogramma.

Stand van zaken

Het ontwerp van de eerste generatie aardwarmteputten was gedreven door een optimalisatie van productie. Inmiddels is er een tweede generatie putten waarbij putintegriteit nadrukkelijker aandacht krijgt. Zo worden hoogwaardigere materialen gebruikt en worden dubbelwandige casings geïnstalleerd. De optimalisatie van de integriteit van aardwarmteputten is uitgebreid beschreven in de "[Industriestandaard Duurzaam Putontwerp](#)". Doel van dit document is om te komen tot een zo veilig mogelijk en verantwoord putontwerp over de volledige levenscyclus, van ontwerp tot en met ontmanteling. In deze industriestandaard wordt onderscheid gemaakt in well barrier filosofie, diverse corrosiemechanismen en erosie. Tevens worden in dit document Well Integrity Management Systems (WIMS), Well Integrity Management Plan (WIMP) en het monitoren van de putintegriteit beschreven. Daarnaast wordt er uitgebreid ingegaan op de ervaringen van

de afgelopen 10 jaar in het optimaliseren van het putontwerp en de materiaalkeuze, grotendeels gebaseerd op bestaande technieken en methodes afkomstig uit zowel aardwarmte als de olie- en gasindustrie. Door de totstandkoming eind 2020 van de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp zijn belangrijke doelstellingen uit de Innovatie Roadmap van 2018 ingevuld. De nieuwe standaard wordt getoetst in de praktijk. De volgende stap is, om na jaren van stijging van de kostprijs door extra eisen, een kentering te bewerkstelligen. Deze industriestandaard is dan ook het punt vanaf waar verdere innovaties mogelijk zijn om het putontwerp verder te optimaliseren op kosten of productie zonder af te doen aan de veiligheidsstandaard. Een aantal studies naar andere materialen zoals GRE en andere alternatieve materialen zijn door de sector uitgevoerd. Door het gebruik van andere materialen en/of coatings kan het effect van corrosie van de putten worden verkleind. Het is afhankelijk van de situatie en de locatie welk materiaal het beste werkt. Dit zal de komende jaren verder onderzoek en praktijk demonstraties vragen.

Er wordt veelal uitgegaan van een maximale flow rate in de buis van 6 m/s. Dit getal is gebaseerd op een verouderde correlatie afkomstig uit de olie-industrie. Indien andere – ook algemeen geaccepteerde – richtlijnen uit de olie-industrie toegepast worden, kan deze bottleneck aangepast of zelfs verwijderd worden, met hoger debiet tot gevolg.



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B5 Optimaliseren putontwerp en putintegriteit

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Geïntegreerd concept select incl. risicoanalyse maken gedurende de ontwikkelfase om zo de putintegriteit locatie specifiek te kunnen waarborgen. Hierdoor kan ook de monitoring geoptimaliseerd worden én kosten bespaard worden tijdens de productiefase.
- Vooronderzoek naar de ontwerpcriteria van de bestaande boringen en de gehanteerde flow rate in de buis is nodig om te kijken naar verdere ontwikkelmogelijkheden.
- Onderzoek naar de mogelijkheden voor verhoging van de flow rate waarbij aangetoond wordt dat de putintegriteit behouden blijft.
- Het vergaren van voldoende data (monitoring, bemonstering) is cruciaal voor het tijdig opsporen van integriteitsproblemen én voor het waarborgen van de putintegriteit.
- Kennisdeling tussen operators onderling en met de olie- en gasindustrie kan bijdragen aan het optimaliseren hiervan.
- Alternatieve (onconventionele) methodes om corrosie in putten tegen te gaan moeten verder geëvalueerd worden. Zoals bijvoorbeeld smart casings of tubings met geïntegreerde monitoring.
- Verdere evaluatie van het gebruik van andere materialen voor boringen.

- GRE is door een aantal operators al toegepast in hun bovengrondse installaties. Ervaringen daarmee kunnen worden meegenomen bij de verdere ontwikkeling.
- Best practices opstellen en periodieke evaluatie uitvoeren van bestaande boringen voor het tijdig signaleren van vervolgonwikkeling. In ieder geval voor GRE lined casing/tubing, volledige gecoate put, cementing en lower completion
- Het verder standaardiseren van het putontwerp zoals ook gebeurd is in de warmtenetten; licht over-gedimensioneerd voor een gemiddeld projecten maar materialen zijn met centrale voorraad goedkoper in te kopen.

Beoordeling impact

Het toepassen van de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp in de nieuwe projecten zal leiden tot kostenverlaging op de termijn van de gehele levenscyclus; de CapEx zal stijgen, maar de operationele kosten voor putonderhoud zullen naar verwachting sterk dalen. Dit putontwerp kan op korte termijn uitgevoerd worden en heeft minder kans op lekkages. Verdere mogelijkheden voor kostenverlaging en optimalisering op langere termijn maakt dat deze innovatie een hoge impact heeft.



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B5 Optimaliseren putontwerp en putintegriteit

Gekoppeld aan

B6 - Verbetering productiepompen

D7 - Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

B6 Verbetering productiepompen

Doel

Betrouwbaar en goedkoper produceren.

Stand van zaken

ESP's zijn duur en gaan vaak kapot. Het is niet altijd duidelijk waardoor de verschillende ESP's in Nederland kapot zijn gegaan. Hierdoor is het ook nog niet helder wat het probleem precies is en of er een onderdeel of een materiaal vervangen moet worden. De problemen kunnen verschillende oorzaken hebben: corrosie, erosie, elektrisch falen, mechanisch falen, slijtage, beschadigingen bij installatie, menselijk falen bij operatie, menselijk falen bij fabricage, etc.

Er is een beperkt aantal leveranciers van ESP's in de wereld. De maat van de ESP's die voor aardwarmte worden gebruikt zijn veelal groter dan die voor olie en gas worden gebruikt. Echter, de markt voor aardwarmte is vooralsnog vele malen kleiner dan die voor olie en gas. ESP's worden dan ook meestal ontwikkeld voor olie en gas.

Het is goed om naar de essentie van een ESP te kijken: het gaat uiteindelijk om het omhoog pompen van bronwater. Nu is de ESP de enige



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B6 Verbetering productiepompen

optie, maar wellicht zijn er in de toekomst andere manieren om het geothermische water naar boven te halen.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Een aantal stappen moet doorlopen worden voordat ESP's geoptimaliseerd kunnen worden:

1. Transparantie van en inzage in alle data die relevant zijn voor een onderzoek naar het falen van ESP's
2. Onderzoeken wat de redenen van het falen van de ESP's zijn geweest. Hier is binnen de operators reeds een begin mee gemaakt.
3. Nadat een top 5 van meest voorkomende oorzaken geïdentificeerd is, moet onderzocht worden op welke manier deze zwakste schakels verstevigd kunnen worden.

Pas nádat de meest voorkomende redenen van falen geïdentificeerd zijn kunnen oplossingen gezocht worden. Deze kan variëren van betere materialen die bestand zijn tegen de downhole condities, training van workover crew en/of operators, eye-witnessing van assemblage, etc.

Overige stappen die hier op aan sluiten:

- Onafhankelijke partijen die assisteren/adviseren bij bijvoorbeeld tendering, assemblage, operatie of ontmanteling van de ESP kunnen ingehuurd worden.
- Alternatieven voor ESP's of de aandrijving ervan kunnen geëvalueerd worden en de ervaringen worden gedeeld in best practices. Hierbij is het belangrijk om ook de buitenlandse projecten mee te nemen.

Beoordeling impact

De onvoorspelbaarheid van de levensduur van een ESP heeft momenteel een negatieve impact op de leveringszekerheid van warmte. Dit heeft een grote impact omdat het geothermische systeem hierdoor stil kan komen te staan en de benodigde warmte dan elders dient te worden opgewekt. Een grotere betrouwbaarheid en de mogelijkheid tot gepland onderhoud of vervanging van de ESP leidt tot een kostprijsverlaging. De verwachting is dat de probleemanalyse op relatief korte termijn uitgevoerd kan worden om vervolgens de oplossingen en mogelijke innovaties te gaan onderzoeken.

Gekoppeld aan

D2 - Kennis- en datadeling



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B7 Optimaliseren bovengronds systeem en levensduur van apparatuur en componenten optimaliseren

Doel

Efficiëntere warmteoverdracht en de kosten over de gehele levenscyclus verlagen.

Stand van zaken

De bovengrondse systemen zoals die op dit moment worden toegepast bestaan uit verschillende onderdelen. De belangrijkste daarvan zijn; de filters, warmtewisselaars, booster pomp, buizen, inhibotordosering en eventueel een installatie voor het scheiden van meegeproduceerd gas en het geothermische water. Deze systemen zijn technisch behoorlijk ver ontwikkeld. OpEx-getallen van 6 ton tot 1 mln per jaar zijn gebruikelijk. Dit is erg hoog voor wat er technisch gezien gebeurt. Bovengrondse standardeisatie kan dan ook waardevol zijn al zijn die al grotendeels modulair. Een aantal onderwerpen van de bovengrondse installatie zijn meer specifiek naar voren gekomen in de interviews:

Warmtewisselaar

In de warmtewisselaar vindt de overdracht van warmte plaats tussen het opgepompte zeer zoute water en het water in het warmtenet. Lekkage door corrosie is een zorg bij warmtebedrijven. In het verleden is dit in de praktijk voorgekomen door wat achteraf een onjuiste materiaalkeuze van de warmtewisselaar bleek te zijn. De 2e generatie van het bovengrondse systeem waarin is geoptimaliseerd heeft hier minder/geen last meer van. Warmtewisselaars zijn een grote kostenpost in de bovengrondse installatie en moeten soms elke paar jaar worden vervangen. Warmtewisselingstechnologie bestaan al lang, maar nieuwe materialen waardoor de wisselaar langer mee gaat of zorgen voor een betere overdracht dragen bij aan een betere business case.

Zoutneerslag

Indien het formatiewater tegen het verzadigingspunt van zout aan zit kunnen zeer grote hoeveelheden zout neerslaan in de warmtewisselaar als gevolg van de temperatuurverlaging. Er zijn regio's in Nederland bekend waar dit een probleem is. Kosteneffectieve mitigaties met een beperkte invloed op het dalen van het vermogen, een drastische stijging van de OpEx of dat de injectiviteit van de put in gevaar komt lijken niet voorhanden, waardoor bepaalde gebieden uitgesloten kunnen lijken van geothermie.



B. Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, putafwerking, materialen en apparatuur)

B7 Optimaliseren bovengronds systeem en levensduur van apparatuur en componenten optimaliseren

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Automatisering en standaardisering, c.q. modulair inrichten
- Toepassen van levenscyclus benadering geothermiesysteem
- 24/7 service van andere opwekeenheden gebruiken
- Verkleinen van het ruimtebeslag (vooral voor de gebouwde omgeving van belang)
- Gebruik van automatisch inhibitor doseringssysteem
- Het is goed om frequenter kennis over te dragen tussen de verschillende partijen in het gehele bouwteam. Ontwikkelingen rond casings en inhibitors in de ondergrond hebben bijvoorbeeld ook raakvlak met de bovengrondse installatie en andersom.
- Warmtewisselaars die tegen extreme omstandigheden bestand zijn, die zowel betrouwbaar als efficiënt en betaalbaar zijn
- Een dubbele laag tussen de leidingen in de interface om risico op lekkage verder te verkleinen.
- Monitoringsysteem voor efficiency van warmtewisselaars. Online meet-systeem dat ziet of wisselaars vuil worden of minder presteren.

- Het ontwikkelen van een chemische additive die voorkomt dat zout neerslaat. Vooralsnog is zo'n additive niet bekend vanuit de olie- en gas industrie.
- Filterstraat verder optimaliseren zodat die aansluit bij de productie.

Beoordeling impact

De impact, van een aantal zaken die hierboven genoemd, op de business case kan groot zijn, bijvoorbeeld bij zoutneerslag. Het bovengrondse systeem kan verder gestandaardiseerd worden waardoor opschaling van aardwarmte vergemakkelijkt wordt. Door kennisdeling over het bovengrondse systeem (ook internationaal), wordt geschat dat hier op korte termijn een volgende slag gemaakt worden.

Gekoppeld aan

D7 - Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C1 Behoud van operationele kwaliteit

Doel

Voorkomen dat de productie of injectiecapaciteit terugloopt tijdens de productiefase.

Stand van zaken

Van een aantal aardwarmteprojecten is de injectiecapaciteit gedurende de productie teruggelopen. Doordat het water minder makkelijk geïnjecteerd kan worden, loopt de hoeveelheid warmte die geproduceerd kan worden terug. Dit heeft een enorme impact op de haalbaarheid van een project. De redenen van verlies van injectiviteit variëren van fines tot scaling maar kan ook veroorzaakt worden door bacteriën. Het is niet altijd even duidelijk vastgesteld wat de oorzaak in de individuele projecten precies is. Hierdoor kan het zijn dat bijvoorbeeld de bijdrage van bacteriën zich niet duidelijk aftekent. Het verzamelen van voldoende data bij het boren via logging en sampling is belangrijk voor het optimaliseren van de waterbehandeling. Door het monitoren gedurende productie kan vroegtijdige terugloop worden gesignaleerd.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Opstellen best practices op basis van de huidige ervaringen, inclusief de projecten waar de injectiviteit juist verbeterd is.
- Onderzoeken wat de rol van microbiologische activiteit is in een aardwarmtesysteem ten einde hier tijdige mitigatiemaatregelen voor te kunnen toepassen.
- Opstellen locatie specifiek monitoringsschema
- Toepassing van AI
- Simulatie van chemische en bacteriële processen in de ondergrond: hoe verandert de chemische samenstelling van het water door reacties in de ondergrond en wat doet dat met de putten?

Beoordeling impact

De zekerheid van een continue, voorspelbare warmteproductie, geeft een stabiele warmtelevering. En daardoor de zekerheid van inkomsten. De impact van injectieproblemen op de business case is groot; minder injectie is ook minder productie en dus minder warmte. Daarnaast versterkt meer kennis hierover de veiligheid van het systeem en is het van belang bij de verdere opschaling van aardwarmte.



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C1 Behoud van operationele kwaliteit

Gekoppeld aan

D7 - Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

C2 Winning van minerale producten uit het geothermische water

Doel

Optimaal gebruik maken van het geproduceerde water waardoor andere grondstoffen duurzaam gewonnen kunnen worden. Hierdoor verbetert de business case.

Stand van zaken

In Nederland wordt er naast het gebruik van het meegeproduceerde gas geen gebruik gemaakt van de overige stoffen die zich in het geothermische water bevinden. Zowel in Europa als in andere plekken in de wereld wordt veel onderzoek gedaan naar de winning van bijvoorbeeld lithiumzouten uit het geothermische water. Op enkele plekken vertaalt zich dat reeds naar demonstratieprojecten waarbij het lithium wordt gewonnen. De vraag naar lithium zal naar verwachting stijgen door een grotere vraag naar accu's en batterijen. Het is niet duidelijk hoe duurzaam de lithium is die op andere plekken via (open) mijnbouw wordt gewonnen.



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C2 Winning van minerale producten uit het geothermische water

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)
Vooronderzoek naar de huidige stand van zaken in het binnen- en buitenland en de vertaling naar de potentie in Nederland voor lithium en mogelijke andere meegeproduceerde stoffen. Daarbij dient aandacht te zijn voor de compatibiliteit van het te herinjecteren water met het formatiewater.

Beoordeling impact

De winning van mineralen is een nieuw fenomeen voor de Nederlandse aardwarmtesector. De inschatting is dat bij de productie van drie ton lithium per kwartaal (bij een concentratie van 5 g/m³), de inkomsten met 4% stijgen. Daarnaast zou het natuurlijk mooi zijn als lithium lokaal duurzaam geproduceerd kan worden in plaats via mijnbouw in andere landen.

Gekoppeld aan

B5 - Impact van testwater verkleinen

D7 - Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

C3 Warmte systeemintegratie

Doel

Optimale integratie van het warmtesysteem zodat de verschillende bronnen (waaronder aardwarmte) optimaal worden benut en de warmtelevering kan worden gegarandeerd.

Stand van zaken

Warmtenetten hebben een flinke ontwikkeling doorgemaakt. De klassieke warmtenetten worden geclassificeerd als derde generatie. Hierbij worden vanuit een centrale energiecentrale klanten voorzien van warmte op hoge temperatuur. Door het slim verbinden van de verschillende warmtenetten en -bronnen is inmiddels een vierde generatie warmtenet ontstaan. Deze netten zijn vaak centraal gevoed en worden ondersteund met een decentrale warmte invoeding van bijvoorbeeld aardwarmte. De grootschalige uitrol daarvan blijft nog achter doordat ontwerpmethodes vaak niet toereikend zijn. Hier wordt o.a. binnen WarmingUP aan gewerkt. Inmiddels wordt ook gewerkt aan een vijfde generatie warmtenetten die gebruik maken van decentrale energiecentrales bij de eindgebruikers. Een voorbeeld hiervan is het netwerk van het Mijnwater Heerlen project. Bestaande warmtenetten zijn veelal ingesteld op een afgiftetem-



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C3 Warmte systeemintegratie

peratuur van circa 90 graden (hoge-temperatuur). De temperatuur van aardwarmtebronnen is meestal lager. Hierdoor is veelal een extra bron nodig om de warmte op het juiste temperatuurniveau te brengen als de temperatuur van aardwarmte niet direct voldoende is. Met een warmtepomp kan ook het retourwater verder worden uitgeoeld, wat leidt tot een groter vermogen uit de aardwarmtebron. Dit wordt door enkele projecten reeds gedaan. Er is nog niet veel ervaring met dat soort opstellingen met warmtepompen, die vaak echt industriële custom made warmtepompen zullen moeten zijn. De verwachting is dat voor nieuwe warmtenetten in de bestaande bouw de afgiftetemperatuur circa 70 graden zal worden (midentemperatuur). Voor nieuwbouw wordt ook gekeken naar warmtenetten met lagere temperaturen. De behoefte om de temperatuur van de aardwarmtebron te verhogen zal in dergelijke netten veel minder zijn. De huidige warmtenetten hebben een relatief hoge retourtemperatuur. Als dat kan worden verlaagd, dan kan aardwarmte een groter vermogen leveren zonder dat daarvoor een warmtepomp nodig is. Verlaging van de temperatuur in bestaande warmtenetten hangt samen met de isolatie van de woningen die aan het warmtenet gekoppeld zijn. Er zijn reeds enkele lage temperatuurwarmtenetten gerealiseerd waaraan verschillende afnemers zijn gekoppeld. Hierin speelt in Zevenbergen

aardwarmte een rol. Door de ontwikkeling van lage-temperatuur netten, kunnen aardwarmteprojecten ook op kleinere dieptes worden ontwikkeld waardoor kosten en enkele technische risico's worden verkleind.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Voorstudie naar wat reeds allemaal aanwezig is.
- Definiëren op basis daarvan waar verdere ontwikkelingen mogelijk zijn die belangrijk zijn voor aardwarmte.
- Warmtepomp verbeteren waardoor COP stijgt of alternatief ontwikkelen
- Verdere ontwikkeling van lage temperatuur warmtenetten
- Verbeterde aansluiting tussen wetgeving en bijbehorende kaders met de toepassing van de warmtepomp
- Ophogen invoer-temperatuur: custom-made warmtepompen
- Betere warmteafgiftesystemen in woningen waardoor temperatuur lager kan die acceptabel zijn voor de bewoner/eigenaar
- Uitkoelend vermogen bij woningen vergroten waardoor een lagere retourtemperatuur mogelijk is
- Cascadering van de warmte zodat zoveel mogelijk van de aardwarmte benut kan worden
- Sociaal/organisatorisch: Methoden ontwikkelen om bewoner



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C3 Warmte systeemintegratie

een belang te geven een lage retourtemperatuur uit de woning te realiseren, bijv. via contracten.

- Modulaire inrichting van tijdelijke bronnen die na aanleg van het aardwarmtesysteem in een ander net ingezet kan worden.
- Optimaliseren van elektriciteitsproductie uit aardwarmte bij temperaturen kenmerkend voor de Nederlandse ondergrond.
- Onderzoeken naar andere toepassingen van aardwarmte, waaronder elektriciteitsproductie of levering van koeling.
- Combinatie van aardwarmte met zonthermie onderzoeken.

Beoordeling impact

De integratie van aardwarmte in het warmtesysteem versterkt de mogelijkheden voor het gebruik van aardwarmte in de gebouwde omgeving. Door verdere integratie kan aardwarmte zo optimaal mogelijk worden gebruikt. Met de komst van vijfde generatie warmtenetten, lijkt deze optie op korte termijn goed haalbaar. De inzet van aardwarmte in warmtenetten, verhoogt de duurzaamheid van het net en draagt dus sterk bij aan de klimaatdoelen.

Gekoppeld aan

C4 - Flexibele warmtelevering uit aardwarmtebron vergroten



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C4 Flexibele warmtelevering uit aardwarmtebron vergroten

Doel

De bijdrage van aardwarmte binnen de warmteketen optimaliseren waardoor aardwarmte goed ingezet kan worden. Aardwarmte meer flexibel inzetbaar en meer schaalbaar maken.

Stand van zaken

De topsector energie definieert systeemintegratie als: het proces van integratie tussen schakels en spelers in de energiewaardeketens, tussen verschillende energiedragers, tussen actoren in de waardeketen en met aanpalende sectoren in het systeem, waardoor oplossingen voor knelpunten worden geboden en waardoor er kansen ontstaan voor nieuwe producten en diensten. Het is belangrijk om aardwarmte meer flexibel inzetbaar te maken. De regelbaarheid is belangrijk voor de economische waarde. Daarnaast is aardwarmte momenteel beperkt schaalbaar. De vraag is dus: hoe flexibel kan aardwarmte zijn? Dat kan op verschillende manieren: harder/zachter pompen, uitzetten in de zomer, seizoensopslag.

Opslag: In het geval van aardwarmte gaat het met name om de aansluiting op flexibele (seizoens-)warmtevraag. Bijvoorbeeld door warmteopslag.

Binnen WarmingUP (WINDOW) worden dergelijke concepten onderzocht. In dit programma worden proefboringen naar seizoenswarmteopslag onderzocht en worden demonstratieprojecten voorbereid. Vraagsturing is een belangrijk deel van WarmingUP. Je investeert in de capaciteit die nodig is voor de koude dag en de dagpiek. Als je dat in kan perken, is dat waardevol. Lokale buffers op huis- en wijkniveau worden ook bekeken. De huidige projecten bij tuinders hebben allen reeds een buffer.

Regelbaarheid van aardwarmte: W aardwarmte niet alleen als basislast, maar ook als middenlast ingezet kan worden ingezet, dan wordt de inzetmogelijkheden van aardwarmte verder vergroot. Zo komen dan ook gebieden waar de warmtevraag onvoldoende is om aardwarmte in de basislast in te zetten in aanmerking voor de ontwikkeling. Op technisch vlak zijn hier nog een aantal openstaande vragen die in samenhang met een business case evaluatie verder uitgedacht kunnen worden.

Inzet van aardwarmte voor andere doeleinden tijdens perioden zonder warmtevraag: bijvoorbeeld koeling of elektriciteitsproductie. Dat laatste wordt in het buitenland veelvuldig toegepast, echter is het omzettingsrendement van warmte naar elektra erg laag waardoor het kosten-efficiënter is om de warmte direct te gebruiken. Binnen het project GeoSmart wordt hier door diverse buitenlandse partijen reeds aan gewerkt.



C. Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem

C4 Flexibele warmtelevering uit aardwarmtebron vergroten

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Voor Hoge Temperatuur Opslag (HTO) kijken na WINDOW wat de nog openstaande vragen zijn. De interferentie met drinkwater is hierbij een van de aandachtspunten indien dat onvoldoende in WINDOW wordt onderzocht.
- In verband met de beschikbare ruimte in de gebouwde omgeving: ondergrondse HT opslagsystemen voor korte termijn opslag voor een warmtenet verder ontwikkelen.
- Haalbaarheid ETES (Electrical Thermal Energy Storage) met seizoensopslag in HTO's bij industriecluster.
- Vraagsturing (slimme netten, 5e generatie warmtenetten).
- Frequency controller / ESP lagers of geschakelde ESP's.
- Opschaling, bij meer projecten aan eenzelfde net kunnen boringen elkaars back-up zijn en is er meer regelcapaciteit beschikbaar.

Beoordeling impact

De integratie van aardwarmte in het warmtesysteem versterkt de moge-

lijkheden voor het gebruik van aardwarmte in de gebouwde omgeving. Door verdere integratie kan aardwarmte zo optimaal mogelijk worden gebruikt. Met de komst van vijfde generatie warmtenetten, lijkt deze optie op korte termijn goed haalbaar. De inzet van aardwarmte in warmtenetten, verhoogt de duurzaamheid van het net en draagt dus sterk bij aan de klimaatdoelen.

Gekoppeld aan

A2 - Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

C3 - Warmte systeemintegratie



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D1 Heldere wet- en regelgeving

Doel

Voorspelbare, zorgvuldige en snelle afhandeling van de vergunningaanvragen. Heldere wettelijke kaders.

Stand van zaken

De aardwarmtesector is sterk gereguleerd. Vanuit de Mijnbouwwetgeving zijn diverse vergunningen vereist voor een aardwarmteproject. Op basis van de omgevingswet is daarnaast een omgevingsvergunning verplicht. Bovendien is er nog andere wet- en regelgeving die van belang kan zijn. Het proces van vergunningverlening is lang en complex. De Mijnbouwwetgeving is momenteel nog niet ingericht op de opsporing en winning van aardwarmte. In de aanstaande wijziging van de Mijnbouwwet worden aanpassingen gemaakt op het gebied van aardwarmte.

De huidige uitvoering van de vergunningprocedure en de interactie met adviseurs en aanvragers van de vergunningprocedure, leidt bij veel projecten tot vertragingen. Sommige projecten raken daarmee zo sterk vertraagd dat ze buiten de SDE-subsidietermijn komen.

Een complete analyse van het vergunningenproces valt buiten het bestek van deze innovatieagenda.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

In een ideale situatie is er een systeem van passend beleid en daarbij aansluitende wet- en regelgeving, toezicht en handhaving ontwikkeld waarin de verschillende onderdelen complementair aan elkaar zijn. Voldoende kennis en kunde van de vergunningaanvragers is daarvoor een randvoorwaarde. De vergunningen zullen – tot op zeker hoogte – altijd complex blijven, omdat de activiteit én de ondergrond complex, deels onzeker en risicovol is.

We geven hier een aantal suggesties op basis van de gesprekken die gevoerd zijn, waarbij we aantekenen dat dit zeker geen uitputtende opsomming is. Verkorten van doorlooptijden en verbeteren van de voorspelbaarheid van het vergunningenproces door:

- Ruimte voor het testen van innovaties.
- Tijdig aansluiting van wetgeving op nieuwe innovaties.
- Standaardisatie van de eisen die gesteld worden aan de onderbouwing van de vergunningaanvraag.
- Uitwerken van eenduidige vergunningskaders voor thermische impact en seismische impact.
- Snelle en adequate aansturing van adviseurs door EZK.
- Adviseurs (SodM en TNO-AGE) gaan gesprek direct aan met



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D1 Heldere wet- en regelgeving

- aanvrager bij vragen waarbij EZK geïnformeerd wordt;
- Ontwikkeling van formats voor aanvragen vergunningen.
 - Ontwikkelen eenduidige toetsingscriteria.
 - Computer system (artificial intelligence) voor snelle/automatische behandeling vergunningen en winningsplannen.
 - Complete, ontvankelijke en goed onderbouwde aanvragen.
 - Heldere wettelijke kaders rondom ondiepe aardwarmte en hoge temperatuur opslag; de eisen moeten passend zijn bij het diepte- en locatieafhankelijke risico van een boring.

Beoordeling impact

Versnelling van het proces van vergunningverlening, maakt dat de wet- en regelgeving beter aansluit bij de operationele situatie. Een snellere doorlooptijd leidt tot snellere uitvoer van projecten, meer draagvlak bij de omgeving en een effectieve inzet van de SDE++ subsidies.

Gekoppeld aan

- A3** - Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen
- C3** - Warmte systeemintegratie
- C4** - Flexibele warmtelevering uit aardwarmtebron vergroten
- D6** - Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D2 Kennis- en datadeling

Doel

Kennis en datadeling leidt tot betere projecten:

- Projecten kunnen sneller, veiliger, met minder risico's en goedkoper ontwikkeld worden
- Bekende fouten kunnen vermeden worden
- Kennis- en innovatiegelden worden optimaal ingezet

Stand van zaken

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen data- en kennisdeling.

Datadeling: In het verleden is beperkt data verzameld bij aardwarmteprojecten. Vanwege de Mijnbouwwetgeving wordt alleen de ruwe data publiek beschikbaar gesteld. Ook de niet ruwe data die commercieel gevoelig kan zijn is interessant omdat daar veel van geleerd kan worden en wat als basis kan dienen voor verdere innovatie. Een voorbeeld hiervan zijn meetgegevens tijdens productie.

Kennisdeling aardwarmte: Er vindt - ook internationaal - weinig kennis- en data-uitwisseling plaats in de aardwarmtesector. Er is geen "mindset to share" tussen alle deelnemers van en tussen projecten. Het aantal actieve partijen is klein en er zit relatief veel tijd tussen projecten.

Kennisdeling overige industrieën: Operationele vraagstukken, bijv. rond scaling en corrosie kunnen voor een groot deel worden verholpen door het toepassen van of voortborduren op de kennis en expertise die er al is, bijvoorbeeld bij de huidige projecten of in de gas- en olie-industrie. Veel technologie wordt misschien binnen Nederland niet gebruikt omdat het hier niet nodig was, maar is ergens ter wereld al eens toegepast. Doordat die kennis reeds aanwezig is, kan de technologie vanaf dat punt verder ontwikkeld worden om het beter toepasbaar te maken voor de geothermie. Op publieke acceptatie kan veel geleerd worden van andere duurzame technieken bijvoorbeeld de zon- en wind industrie.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Datadeling aardwarmte:

- Om de onzekerheden in de verkenningsfase te verkleinen is meer ondergrond data nodig en data van hogere kwaliteit die snel beschikbaar komt ten behoeve van andere projecten.
- Definiëren van standaarden voor bijvoorbeeld database definities, diensten en data modellen.
- Centrale database met productiedata die gedetailleerder en meer divers zijn dan de huidige databases (b.v. NLOG).



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D2 Kennis- en datadeling

- Centrale database met reservoir, geomechanische en thermische eigenschappen.
- Inbouwen van een putanalyse waarbij de voorspelde met de aangetroffen porositeit en permeabiliteit vergeleken wordt en de resultaten daarvan terugvloeien voor de ontwikkeling van nieuwe projecten.
- Ontwikkeling van een geothermisch informatieplatform, dat diensten levert voor open access data-harvesting, datamining en datamanagement (bijv. Grafieken, statistische tools, etc.)

Kennisdeling aardwarmte:

- Verbeteren van uitwisseling van kennis en ervaring door betere ontsluiting en deling van kennis en ervaring. Dit geldt voor zowel de Nederlandse sector als voor internationale sectoren.
- Subsidiëren van degelijk vooronderzoek waarbij via desktop research en bezoek aan buitenlandse projecten de status van kennis in andere toepassingsgebieden wordt verzameld en onderzocht, de toepasbaarheid en hiaten van kennis worden vastgesteld, alvorens technieken in grote onderzoeksprojecten te onderzoeken.
- Centrale database opzetten en beheren van problemen en oplossingen.
- Centrale communicatie over lopende onderzoeksprojecten.

- Delen van kennis en ervaringen uit het buitenland, opbouwen van internationaal netwerk met operators, warmtebedrijven, etc.
- Verbeteren kennisdeling tussen operators en EBN en operators onderling.
- Delen door EBN van veralgemeniseerde, geanonimiseerde kennis uit de projecten (net zoals de BOON benchmark bij de olie- en gasindustrie).

Kennisdeling met andere industrieën:

- Ontsluiten en delen van operationele informatie (welke apparatuur wordt gebruikt en waarom) als input voor de centrale database van problemen én oplossingen.
- Ontsluiten en delen van ervaringen en best practices uit andere industrieën. Bijvoorbeeld rond cementing maar ook voor andere dagelijkse operationele problemen.
- Een overzicht maken van de technologische synergiën en verschillen tussen de olie&gas en geothermie sector.

Beoordeling impact

Zoals we de afgelopen jaren ook al gezien hebben, is de impact van data- en kennisdeling op alle terreinen groot. De verwachting is dat bij de toekomstige ontwikkelingen van aardwarmte-exploratie en



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D2 Kennis- en datadeling

-winning nog veel kennis verkregen kan worden uit de eerdere projecten als zowel de internationale geothermieprojecten en de olie- en gasindustrie.

Gekoppeld aan

A1-D8 van deze innovatie inventarisatie

D3 Betrekken van de omgeving bij aardwarmteprojecten

Doel

Vergroten van lokaal draagvlak voor het project. Vergroten van het vertrouwen in de operator en betrokken instanties.

Stand van zaken

Weerstand is soms aanwezig op projectniveau, voornamelijk in de opstartfase van projecten als er nog veel onduidelijk is: waar komt de locatie, hoe ziet dat eruit, wat merk ik ervan, welke risico's loop ik? Dit komt enerzijds door weinig kennis van aardwarmte bij burgers en anderzijds doordat nog niet alles goed geregeld is: m.n. vragen over duurzaamheid; vragen over afwegingen van alternatieven, vragen over mogelijke lekkages van putten; onduidelijkheid over overlast tijdens boren en productie; nog geen duidelijk schadeprotocol en schadefonds in geval van aardbevingen.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)
Beter organiseren van en ontwikkelen van praktische werkwijzen



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D3 Betrekken van de omgeving bij aardwarmteprojecten

voor de sociale betrokkenheid als 'voorwaarden' rondom een aardwarmteproject:

- Kennis- en informatie-uitwisseling tussen de sector en lokale bestuurders en omwonenden.
- Duidelijkheid en transparantie over wet- en regelgeving, risiconormering, risicoanalyse, schadeafhandeling.
- Duidelijkheid over nut en noodzaak van aardwarmte.
- Duidelijkheid op effect op directe omgeving qua geluid (inclusief laagfrequent geluid), licht en verkeersbewegingen.
- Eenduidige en tijdige communicatie (en betrokkenheid van omwonenden) over risico's en mogelijke overlast (licht, geluid, verkeer).
- Mogelijkheden om te participeren in een project, in wat voor vorm dan ook.
- Zo spoedig mogelijk een uitnodigend en operationeel voorbeeldproject in de gebouwde omgeving realiseren inclusief bezoekerscentrum.

Beoordeling impact

Het tijdig betrekken van de omwonenden en lokale overheden bij het

vormgeven van een project, vooral als dat gerealiseerd wordt in de gebouwde omgeving, is belangrijk. Daarnaast blijft van belang dat de omwonenden vertrouwen krijgen in het project door een goede informatievoorziening en ze vertrouwen hebben in een onafhankelijk en helder verhaal over de risico's en kansen.

Gekoppeld aan

D1 - Heldere wet- en regelgeving

D6 - Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D4 Gebundelde duurzame warmtevraag ontwikkelen

Doel

bestaande warmtevraag bundelen en aansluiten waardoor het met aardwarmte verduurzaamd kan worden.

Stand van zaken

Voor het succesvol inzetten van aardwarmte in de gebouwde omgeving zijn warmtenetten noodzakelijk. In gebieden waar die nog niet aanwezig zijn, moet nog een net worden ontwikkeld en hiervoor is aansluiting van voldoende warmtevraag van belang. Bij de aanleg van een net is de aangesloten warmtevraag vaak nog niet voldoende hoog om er een relatief grote aardwarmtebron op aan te kunnen sluiten. Het boren van een aardwarmtedoublet is dan door beperkte transport- en leveringsmogelijkheden niet rendabel door onderbenutting van de capaciteit (vollooprisico). Bij onvoldoende gebundelde warmtevraag zal de aanleg van warmtenetten met aardwarmte als bron niet plaats vinden. Het bij elkaar brengen van voldoende warmtevraag is daarom cruciaal.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Beleid:

- De noodzaak duidelijk maken tot diversiteit van het toekomstige energiesysteem en het voorkomen van afwenteling op elektriciteit, daarmee ook de rol van warmte onderkennen en de ontwikkeling van warmtenetten stimuleren door gericht beleid hierop qua financiële steunkader en wet - en regelgeving.

Technisch/organisatorisch/sociaal:

- Innovatieve methodieken om de warmtevraag sneller en slim in kaart te brengen en te ontsluiten.
- Werkwijzen om wijken snel en met draagvlak over te laten stappen naar een warmtenet (zie ook TKI Urban Energy, Programma Aardgasvrije Wijken, Warming-Up).
- Helder communiceren over de rol van aardwarmte als een van de warmtebronnen en de kansen en risico's.
- Een bezoekerscentrum en een werkend aardwarmteproject dat een wijk voorziet van warmte kan een als voorbeeldproject fungeren en een draagvlak ontwikkeling voor een warmtenet met o.a. een aardwarmtebron ondersteunen.



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D4 Gebundelde duurzame warmtevraag ontwikkelen

Beoordeling impact

Een gebundelde warmtevraag van voldoende omvang is essentieel voor de mogelijkheid om aardwarmte te kunnen ontwikkelen en te kunnen versnellen. De impact hiervan is dus groot voor de verdere ontwikkeling van aardwarmte en het behalen van de doelen voor aardwarmte zoals die gesteld zijn in het Klimaatakkoord.

Gekoppeld aan

A2 - Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

D3 - Betrekken van de omgeving bij aardwarmteprojecten

D5 Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen

Doel

Kosten reduceren over de gehele levenscyclus, verbanden zichtbaar maken die nu niet zichtbaar zijn en zo projecten verder optimaliseren. Verbeteren van kwaliteit en de (operationele) veiligheid.

Stand van zaken

Boorfase: Boortorens worden nu handmatig aangestuurd. Een groot deel van de kostprijs van boren zit bij de bemanning. Automatisering van (delen van) het boorproces kan de boorkosten sterk verminderen. IT-oplossingen zijn complex om voor elkaar te krijgen bij bestaande installaties. Als je de boorinstallatie nu opnieuw zou ontwerpen, is het eenvoudiger te implementeren.

Management en monitoring: Er zijn nu hoge operationele kosten doordat er meerdere keren per week mensen bij de put en installatie moeten zijn. Veel data worden nu nog handmatig ingevoerd. Een slag die gemaakt kan worden is het aanbrengen van sensoren en het automatiseren van de uitlezing en rapportage daarvan. Met automatisering en



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D5 Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen

beheer op afstand vermindert de noodzaak van de mensen die naar de installatie moeten. Dat scheelt kosten en geeft een betere operatie. De technieken voor automatisering van bediening en monitoring zijn beschikbaar. De implementatie vraagt vooral inzicht in de meerwaarde van automatisering en monitoring bij de gebruikers. AI kan helpen om voortijdig correlaties te zien die kunnen duiden op dat er onderhoud nodig is.

Ontwikkelfase: Bij voldoende beschikbare gegevens is er ook potentie om AI in te zetten om correlaties tussen ondergrond gegevens of putontwerpen en productie te vinden die door een menselijk brein niet worden gevonden. Deze kunnen helpen in het beter ontwerpen van nieuwe systemen. Hiervoor is echter een kritisch volume van producerende systemen nodig, dit lijkt vooralsnog te ontbreken.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- Een zo digitaal mogelijk ingericht VGM-zorgsysteem door bijvoorbeeld

het automatisch inlezen van systeemdata en aanleveren data voor rapportages/audits.

- Automatische filterwissel systemen of zelfreinigende filters.
- Het is een kleine extra stap van “automatisering in bediening en monitoring in de operationele fase” naar kennisdeling. Verdergaande automatisering van het boorproces.
- Met behulp van AI kan gezocht worden naar correlaties die bijvoorbeeld het boren beïnvloeden maar ook naar correlaties tussen ondergrond, ontwerp en productie die nu niet worden gezien. De volgende generatie AI waarbij fysica gekoppeld wordt aan data is hierbij belangrijk. Hiervoor dient eerst voldoende data aanwezig te zijn.

Beoordeling impact

De impact zit voornamelijk in het verlagen van de operationele kosten (menskracht). Tevens kan door het toepassen van AI wellicht nieuwe verbanden gevonden worden die door het menselijk brein niet gezien worden. Verwacht wordt dat door het toepassen hiervan de kosten zullen dalen en het aardwarmtevermogen per doublet zal stijgen. Ook is er meer inzicht waardoor het gevoel van veiligheid wordt verhoogd.



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D5 Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen

Gekoppeld aan

A1-C4 van deze innovatieinventarisatie
D2 - Kennis- en datadeling

D6 Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico

Doel

Een verantwoorde manier van omgaan met geïnduceerde seismiciteit binnen een project gericht op het verhogen van de veiligheid en de veiligheidsbeleving.

Stand van zaken

Momenteel zijn meerdere elementen in ontwikkeling:

- Een screening voor seismische dreiging.
- Een leidraad voor een locatie specifieke dreigings- en risicoanalyse.
- Normstelling voor veiligheid en schade.
- Schadeprotocol en onafhankelijke afhandeling van schades.
- Uitbreiding van meetnetwerken.
- Onderzoeken naar zowel ondergrondse elementen zoals meer kennis over spanningsvelden, meer metingen van snelheden en andere gesteentekarakteristieken, het karteren van breuken, begrip van thermische effecten en de hieruit volgende impact op risico-analyses (in o.a. WarmingUP en KEM) en delen van relevante kennis tussen zowel instanties als operators.



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D6 Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico

Aangezien bovenstaande relevante elementen nog in ontwikkeling zijn, is er momenteel nog veel onduidelijkheid over dat wat toegestaan wordt. Er zijn nog geen duidelijke criteria waarop een project getoetst wordt en wat eventueel aanvullende monitorings- of productiebeperkende eisen zijn. Hierdoor worden projecten suboptimaal ontwikkeld. Ook werkt onduidelijkheid hierin door in de veiligheidsbeleving van de omgeving.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Beleid:

- Een normstelling van wat een acceptabel risico is en hoe dit eenduidig kan worden bepaald.
- Onafhankelijke schade-afhandeling na een beving.

Technische innovatie ten behoeve van beleid:

- Standaarden in methodiek voor bepaling seismische dreiging en risico's. Uniforme risico bepalingsmethodiek.
- Seismisch monitoringsnetwerk dat gekoppeld is aan KNMI-netwerk en

dat toegesneden is op effecten die bij toepassing van geothermie zouden kunnen optreden. Waarbij eventueel aanwezige micro seismiciteit rond geothermie projecten eenduidig gemeten kan worden.

- Onderzoek om de risico's beter in kaart te brengen in combinatie met onderzoek naar de effecten van seismiciteit en vergelijking met andere, meer geaccepteerde, dagelijkse risico's.
- Geomechanische metingen in bovenliggende gesteentes in gebieden met te weinig geomechanische data.
- Verder onderzoek naar de invloed van het boorproces op seismiciteit
- Thermische effecten van injectie tijdens productie op gesteente en microseismiciteit.
- Definitie en kartering van breuken en van de Roerdalslenk.
- Spanningsvelden in de ondergrond.

Technische innovatie ten behoeve van operators:

- Onderzoek naar mitigerende maatregelen/ werkwijze en de toepasbaarheid van een traffic light system.

Sociale innovatie:

- Heldere en eenduidige communicatie over alle elementen (risico's en risico-evaluatie, normstelling en schadeafhandeling) van seismiciteit bij aardwarmte.



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D6 Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico

- Zekerheid van schadebetaling na een beving.

Beoordeling impact

Het ontbreken van een eenduidige risicoanalyse en heldere normstelling m.b.t. acceptabele risico's en een passend vangnet als er toch schade blijkt te zijn, is een groot obstakel bij de ontwikkeling geothermieprojecten. De impact van het maken van zowel analyse, passende normering en vangnet leidt tot een hoger veiligheidsgevoel van de omgeving in projecten en daardoor.

Gekoppeld aan

D1 - Heldere wet- en regelgeving

A1 - Ondergrond model voor betere voorspelling van aardwarmte productie over tijd

D7 Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

Doel

Aardwarmte wordt gezien als een duurzame, hernieuwbare bron. Aardwarmte heeft nu al een lagere CO₂-voetafdruk dan verwarmen met aardgas. Het doel van dit innovatiethema is om de effecten op klimaat verder te verlagen in combinatie met andere duurzaamheidsaspecten gericht op het zo lang en milieuvriendelijk mogelijk benutten van de hernieuwbare warmtebron.

Stand van zaken

Er zijn verschillende aspecten die impact hebben op de duurzaamheid van aardwarmte. In deze studie is gekeken naar de volgende aspecten:

- Goedkope verwerking en afvoer NORM afval. De verwerking van NORM-afval is duur door verandering in de wetgeving begin 2018. Dat komt deels doordat NORM-afval met een lage radioactiviteit opgeslagen moet worden in vergelijkbare locatie als hoog radioactief afval. Daar is geen systeem voor: het wordt behandeld als 'schoon' of 'vies', daartussen zit niets. Er is behoefte aan meerdere maatwerk afvoeroplossingen die een veilige en verantwoorde afvoer en opslag van



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D7 Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

dit laag radioactieve materiaal toestaan.

- Levensduur van een bron in relatie tot heropwarming van de ondergrond. Het is bekend dat de afgekoelde ondergrond rondom de injectieput weer opgewarmd wordt door warmte uit de omgeving. Er bestaan verschillende modellen die de afkoeling en opwarming op uiteenlopende wijze en met uiteenlopende resultaten voorspellen. Er is behoefte aan consensus en idealiter metingen uit de praktijk die de modellen kunnen kalibreren.
- Impact op de temperatuur van het grondwater. Het productiewater heeft een hogere temperatuur dan de ondiepe bodem. Dat heeft tot gevolg dat de ondiepe grondwaterlagen kunnen opwarmen wat effect kan hebben op de kwaliteit van het grondwater. In Nederland is nog niet bekend hoe groot dat effect is. Op dit moment loopt onder KIRA aan onderzoek waar metingen naar de opwarming van grondwater rond een aardwarmteput worden gedaan die volgens de industriestandaard is ontworpen. Uit andere industrieën zijn mogelijk reeds oplossingen beschikbaar voor het opwarmprobleem. Deze zijn echter nog niet toegepast voor geothermie.
- Hergebruik van putten, dit is beschreven in thema A5 omdat het afhan-

kelijk is van potentieel in de ondergrond.

- Opgelost gas. Bij een aantal projecten wordt het formatiewater bovengronds onder druk gehouden, zodat het opgeloste gas (CH₄, CO₂), ook wel de bijvangst genoemd, in oplossing blijft. Bij de meeste projecten wordt de bijvangst vaak in een WKK verbrand. Dit zorgt ervoor dat er meer warmte beschikbaar is en elektriciteit wordt opgewekt. Beiden versterken de business case van een aardwarmte project. Nadelig is dat door het verbranden van de bijvangst CO₂ vrijkomt. In de glastuinbouw wordt de CO₂ de kassen in gestuurd waardoor er minder CO₂ hoeft te worden ingekocht. De bijvangst van gas heeft in het recente verleden geleid tot vragen over de duurzaamheid van aardwarmte als bron voor warmtenetten. Aardwarmte kan ook met de bijvangst gas als goede bron dienen voor een warmtenet dat voldoet aan alle duurzaamheidsnormen (TNO, 2021). Dat laat niet weg dat het gebruik van het gas om een oplossing vraagt zodat de duurzaamheid van aardwarmte nog verder vergroot kan worden.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

- NORM afval: Naast aanpassingen in de wet- en regelgeving zijn er twee mogelijkheden om NORM besmet geothermisch afval



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D7 Langdurig en milieuvriendelijk benutten van de bron

te beheersen: voorkomen en afval management. Het voorkomen of reduceren van NORM afval zou bereikt kunnen worden door het gebruik van alternatieve materialen waardoor een deel van het NORM niet meer door elektro-chemische en neerslagprocessen ontstaat. Indien dat onvermijdelijk is, kunnen manieren bedacht worden om de hoeveelheid afval te reduceren. Ook is het belangrijk om verdere bewustwording en automatisering van handelingen door medewerkers van installaties te stimuleren, zodat contact en blootstelling aan lag radioactief materiaal verder beperkt wordt.

- Levensduur bron in relatie tot heropwarming: in een meervoudig veldontwikkelpunten onderzoeken wat de belangrijkste bevindingen zijn. Deze kunnen vervolgens gebruikt worden als een van de criteria bij het ontwerp van een aardwarmteproject.
- Impact temperatuur op het grondwater: Het vervolgonderzoek is afhankelijk van de resultaten van het KIRA onderzoek hiernaar. Waar aan gedacht kan worden is bijvoorbeeld onderzoek naar praktijkvoorbeelden voor mitigatiemogelijkheden uit andere industrieën en de toepasbaarheid daarvan voor aardwarmte in Nederland.

- Opgelost gas:
 - Herinjectie van de afgevangen CO₂ na verbranding van het gas met het formatiewater; onderzoeksvraag hierbij is welke geochemische effecten dit water heeft op put en formatie.
 - Hergebruik van vrijgekomen CO₂ als grondstof, bv in tuinbouwkassen.
 - Electro-chemische oplossing voor de afvalproducten bij verbranding van het opgeloste gas.

Beoordeling impact

Het langdurig en milieuvriendelijk benutten van aardwarmte heeft impact op de milieu en leefomgeving. Aardwarmte scoort reeds hoog op duurzaamheid. Dat betekent ook dat nieuwe ontwikkelingen moeten worden afgewogen niet alleen op duurzaamheid, maar ook op eventuele impact op de kostprijs van de aardwarmte.

Gekoppeld aan

B5 - Optimaliseren putontwerp en putintegriteit



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D8 Organiseren van boorcampagnes

Doel

Goedkoper realiseren van aardwarmteboringen door schaal- en leereffecten.

Stand van zaken

De schaalvoordelen die je krijgt door meerdere putten binnen een project of van verschillende projecten achter elkaar te kunnen boren zijn groot. Tot nu toe is het in Nederland beperkt gebleven tot situaties waarin de mobilisatiekosten zijn gedeeld tussen projecten. Door betere organisatie kan daar een groter voordeel uit worden gehaald. Die winst zit in het behoud van de samenwerking tussen mensen, organisatie en kennis en de steilere leercurve en optimalisatie van processen die je kan realiseren als je operaties vaker gaat uitvoeren. Binnen de aardwarmtesector zijn voor het vormen van deze zogenoemde treintjes nog geen organisatorische modellen beschikbaar. De uitdaging in het realiseren hiervan is de afwezigheid van warmteafname op grote schaal. Zonder grootschalige gebundelde duurzame warmtevraag is er geen drijfveer om grootschalige aardwarmte-boorcampagnes op te zetten.

Potentieel voor ontwikkeling

Suggesties (niet beperkt tot deze onderwerpen)

Boorcampagnes organiseren vraagt momenteel de bereidheid van opdrachtgevers om de timing op elkaar af te stemmen en de economische voordelen te delen. Als de sector verder opgeschaald is, zijn innovatieve commerciële modellen vereist, waarbij een boormaatschappij of meerdere boormaatschappijen samen bijvoorbeeld een vijfjaarcontract heeft om een heel aantal putten te boren. Naast boorcampagnes zijn er ook mogelijkheden voor gezamenlijk materiaalinkoop.

Organisatorische modellen, bv:

- Portfolio: Eén crew die meerdere projecten in een treintje uitvoert.
- Gehele management van boortraject uitbesteden/tenderen aan team dat meerdere projecten per jaar doet
- Uitbesteden (lump sum) van werk ipv zelf doen voor 1 project
- Gezamenlijk materiaal inkoop door projecten te groeperen al dan niet in combinatie met een treintje van booractiviteiten.

Beoordeling impact

De grootste impact van een boorcampagne zit in het inzetten van personeel dat ervaring heeft met de boortoren, met elkaar en het



D. Doorsnijdende innovatieonderwerpen

D8 Organiseren van boorcampagnes

type boring. Daarnaast wordt de huurprijs van de toren lager doordat er voor een langere periode een contract kan worden aangegaan. Momenteel zitten er nog niet voldoende projecten 'in de pijplijn' waardoor het realiseren van een campagne op korte termijn niet mogelijk lijkt.

Gekoppeld aan

A2 -Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond

B5 - Optimaliseren puntontwerp en putintegriteit

D4 - Gebundelde duurzame warmtevraag ontwikkelen



8.2 Bijlage 2

Geïnterviewde organisaties

Organisatie	Rol
Aardwarmte Beheer Nederland	Operator
Aardwarmtecluster Koekoekspolder	Operator
Baker Hughes	Servicebedrijf
Deutag	Servicebedrijf
ECW Netwerk	Operator
Eneco	Warmtebedrijf
Ennatuurlijk	Warmtebedrijf
Floricultura	Operator
Huisman	Servicebedrijf
HVC	Operator
Hydreco Geomec/ENGIE Energy Solutions	Operator
IF Technology	Adviesbureau
International Geothermal Association	Overig
KWR	Kennisinstelling
PanTerra	Adviesbureau
RHDHV	Adviesbureau
RVO	Kennisfinancier
Shell Geothermal	Operator
Stadsverwarming Purmerend	Warmtebedrijf
TKI Nieuw Gas	Kennisfinancier
TKI Urban Energy	Kennisfinancier

TNO	Kennisinstelling
TNO-AGE	Kennisinstelling
TU Delft	Kennisinstelling
Tullip Energy	Operator
Vattenfall Warmte	Warmtebedrijf
VB Geo	Servicebedrijf
Veegeo	Servicebedrijf
Visser & Smit Hanab	Operator
Vitens (namens Vewin)	Overig
WEP	Servicebedrijf
Witteveen+Bos	Adviesbureau

8.3 Bijlage 3

Impact op de kosten van Aardwarmte per MWh warmte

De impact op de businesscase is bepaald aan de hand van de Levelized Cost of Energy (LCOE), vrij vertaald naar de Netto Contante Kosten van Energie. Dit is een maatstaf voor de gemiddelde netto contante waarde van de kosten per eenheid geproduceerde energie voor een productie installatie over de gehele levensduur. In het geval van warmte kunnen we beter spreken over een Levelized Cost of Heat (LCOH) in plaats van een LCOE. De methodiek wordt dikwijls gebruikt om verschillende energieproductietechnieken of projecten met elkaar te vergelijken zoals ook in de Startanalyse is gebeurd. Hierdoor kan de investeringsafweging tussen verschillende energiebronnen eerlijk worden gemaakt. Hierdoor kan de investeringsafweging tussen verschillende energiebronnen eerlijk worden gemaakt. De algemene formule voor LCOE, en dus ook de LCOH, is de volgende:

$$LCOE \text{ [€/Mwh]} = \frac{\text{Verdisconteerde kosten over levensduur[€]}}{\text{verdisconteerde geproduceerde energie over levensduur [Mwh]}}$$

Om de impact van de innovaties op de business case te kunnen bepalen is een referentiecasis gebruikt. Deze



case is overgenomen uit het Integraal Kostprijsreductie Programma Aardwarmte. De casus is gebruikt om de LCOH over de gehele levensduur van een project te bepalen. De exacte referentiecasi is uiteindelijk niet heel belangrijk om de impact van de innovaties te bepalen omdat het gaat om het percentuele verschil in LCOH afname of toename en niet om de absolute waarden. De gebruikte case heeft de volgende kenmerken:

- 1 doublet van 1 boorlocatie met een ondergrondse afstand van 1,5km tussen de putten op een diepte van 3000m verticaal.
- Warmtelevering van 95 °C aan een bestaand warmtenet met een retourtemperatuur van 55 °C

- Vermogen van 15 MWth en een COP van 15
 - De bron wordt ingezet in de basislast (6000 vollasturen)
 - Een 2e generatie putontwerp met dubbele barrière over de ondiepe formaties.
 - Een productietijd van 30 jaar
 - Een betrouwbaarheid van 95%
 - Uitgangspunten financiering: SDE+2019 met 6000u en een verhouding tussen vreemd en eigen vermogen van 70%/30%
- Voor elke innovatie is gekeken wat de extra investering is binnen een project om de innovatie toe te passen. Hierbij zijn de eventuele kosten die nodig zijn om de innova-

tie verder te ontwikkelen niet in meegenomen. Naast de investering is het ook belangrijk om te kijken op welke onderdelen in de business case de innovatie vervolgens invloed heeft. Dit kan betekenen dat er bijvoorbeeld meer warmte geproduceerd kan worden of dat er minder onderhoud nodig is. De innovaties die in hoofdstuk 5 zijn gerapporteerd bestaan soms uit meerdere verschillende innovaties die hetzelfde doel dienen. Voor het bepalen van de impact op de business case, zijn deze los van elkaar bepaald. Hieronder volgt een overzicht van de aannames die per innovatie zijn gemaakt. Het onderwerp in de tweede kolom verwijst naar het bijpassende innovatieonderwerp.

	Onderwerp	Maatregel	Omschrijving effect maatregel	Aannames voor Business Case model
1	A1	Ondergrondmodel	Een goed ondergrond model geeft beter reservoir management. DEVEX omhoog met 150000, verlaging wells plant OpEx, verhoging heat production	DevEx increase [+5%]; Consumables CapEx increase [+10%] Wells interventions and unforeseen OpEx decrease [-25%]; Heat production increase [+10%]; SDE+ production increase [+10%]
2	A2	Play based portfolio benadering (PBPB)	Door slim de boringen te plannen binnen een play kunnen risico's worden terug gebracht en dus kosten worden bespaard. Zonder het aansluitend boren van de putten.	10% kostenreductie (PBPB rapport, 2018)
3	A3	Alternatief voor Franse methode	Ipv 3 projecten kun je er vier kwijt; meer warmte kan uitgetrokken worden uit ondergrond;	OpEx decrease Wells & plant [-5%]; OpEx decrease District heating [-5%]; OpEx decrease Electricity & gas [-1%]
4	A5	Hergebruik ondiepe reservoirs na eind exploitatie	I.p.v. abandoneren, ondiepe reservoirs in put openen en gebruiken. Betekent dat je een nieuw project opstart. Voor het huidige project betekent het dat er geen Abandonnering plaats vindt	AbEx decrease [-100%]



	Onderwerp	Maatregel	Omschrijving effect maatregel	Aannames voor Business Case model
5	A5	Bestaande well pads hergebruiken	Hergebruik van bestaande wellpads waardoor wellsite niet ontwikkeld hoeft te worden en de ontwikkelfase sneller gaat omdat alle WABO etc al in place is	Cat.1 CapEx decrease [-150€k] grondaankoop, (lease van grond voor testbasins wel nodig); DEVEX [-1.5%] a.g.v. verkleinen doorlooptijd met 10%
6	A6	Verbetering meetgegevens putaanleg (bij 10 bar)	Meer gegevens meten bij het aanleggen van de putten verkleind de onzekerheid in parameters voor de winningsvergunning of het winningsplan. beter logging programma resulteert in hogere injectie druk van 20bar.	Consumables CapEx increase [+10%] dit zijn de kosten voor het loggen [500kEUR]; Unforeseen Wells OpEx decrease [-10%] (5% of wells & plant OpEx: OG16); Heat production increase [+25%]; volgt uit doubletcalc berekening SDE+ production increase [+25%] zie heat production increase Electricity OpEx increase [+30%], volgt uit doubletcalc berekening
7	A6	Verbetering meetgegevens putaanleg (bij 20 bar)	Meer gegevens meten bij het aanleggen van de putten verkleind de onzekerheid in parameters voor de winningsvergunning of het winningsplan. Beter logging programma resulteert in hogere injectie druk van 10bar.	Consumables CapEx increase [+10%], dit zijn de kosten voor het loggen [500kEUR]; Unforeseen Wells OpEx decrease [-10%] Heat production increase [+45%];volgt uit doubletcalc berekening SDE+ production increase [+45%], zie heat production increase Electricity OpEx increase [+60%],volgt uit doubletcalc berekening
8	B1	Automatisering boorproces	20% minder boortijd, 2% hogere dayrate	Wells CapEx decrease [-2%] (43% of Cat.1 CapEx); Drill rigs CapEx increase [+2%] (8% of Cat.1 CapEx)
9	B1	Versnelling boringen	Sneller boren: door diverse manieren of gebruik van andere tools etc kan er sneller geboord worden . Aanname is dat het 10% sneller kan	Consumables CapEx decrease [-10%] (23% of Cat.1 CapEx); Drill rig & management CapEx decrease [-10%] (5% of Cat.1 CapEx);
10	B2	Multilateraal	1 multilateral per put bij injector en producior erbij totaal 1000m boor-lengte extra: + 5 dagen extra boren per put+ 1000m extra materiaal	Wells CapEx increase [+30%] Wells materials CapEx increase [+15%] ; Wells maintenance increase [+50%] Heat production increase [+50%], kan niet meer ivm beperking door maximale flow welke een ESP aan kan in de putmaat; SDE+ production [+50%], zie heat production increase; AbEx increase [+25%]; Electricity OpEx increase [+90%] op basis van aannames en snelle berekening
11	B2	Casing boren	Door direct tijdens het boren de casing te plaatsen kan de tijd verkort worden. Kosten stijging: 2-3% dayrate omhoog, 14 dagen eerder klaar	Wells CapEx decrease [-20%]; Drill rigs CapEx increase [+2%]



	Onderwerp	Maatregel	Omschrijving effect maatregel	Aannames voor Business Case model
12	B2	Triplet boring	Boren van een triplet met twee productieputten ivm max flow ESP ter vergelijking multilateral	Wells CapEx increase [+50%], extra put boren+ materiaal Pumps CapEx increase [+500kEUR], tweede ESP nodig Heat production [+50%], ter vergelijking met multilateral gelijk gehouden, 100% sowieso niet aannemelijk ivm injectiedruk; SDE+ production [+50%], zie heat production increase Electricity OpEx increase [+50%]; de tweede put draait maar op half vermogen ivm injectiedruk O&M plant increase [+10%] vanwege de extra capaciteit Wells maintenance increase [+20%]; AbEx increase [+50%]
13	B3	Demonstratie reservoir stimulatie	1 propped frac: 10% meer flow, 500k meer voor ontwerp + boorkosten. Kosten Hydraulische stimulatie: 1,5M€. Aangepaste aanname uit de basecase: permeabiliteit voor Hydraulische stimulatie is slechts 40mD	Wells CapEx increase [+12%] (70% of Cat.1 CapEx); Heat production increase [+10%]; SDE+ production increase [+10%] Electricity OpEx increase [+30%]
14	B3	Radial jetting	Stel: kost 500k€, levert skin verlaging van 1 op	Cat.1 CapEx increase [+500€k]; Heat production increase [+10%] volgt uit skin verlaging van 1 uit doubelcalc SDE+ production increase [+10%] Electricity OpEx increase [+7%] volgt uit skin verlaging van 1 uit doubelcalc
15	B4	Kleinere bassinbehoefte	Andere manier van testen waardoor kleiner bassin nodig is	Wells fluids decrease [-50%], a.g.v. minder afvoer testwater; Land lease decrease [-50%]
16	B5	Verhoging max flowrate (tot 8 m/s)	Maximale flow rate in put kan verhoogd worden naar 8m/s	SDE+ production increase [+33%]; Heat production increase [+33%] Electricity OpEx increase [+90%]
17	B5	Standaardisatie	Makkelijker te boren, simpeler onderhoud aan de putten.opschaling	Wells and pumps CapEx decrease [-12%] volgt uit aanname; 25% minder boortijd; Wells interventions and unforeseen OpEx decrease [-25%] (minder onderhoud nodig);
18	B5	Integrale concept selectie	Door middel van een itegrated concept select incl risk assesment: komen tot een beter putontwerp en monitoringsplan passend bij de situatie	DevEx increase [+50kEUR or +1.6%]; Wells CapEx decrease [-1,5mEUR or -5.7%]; Well interventions OpEx decrease [-1mEUR or -50%] (11% of wells & plant OpEx: OG16)
19	B5	Vermindering boorsecties (met 1)	Aantal boorsecties verminderen met 1	Drilling CapEx decrease [-15%] (47% of Cat.1 CapEx)
20	B5	Lower completion optimalisatie	Optimalisatie lower completion: door best practices lower completion worden veel problemen voorkomen	DevEx increase [+20kEUR or +0.6%]; Well interventions OpEx decrease [-1mEUR or -100%]



	Onderwerp	Maatregel	Omschrijving effect maatregel	Aannames voor Business Case model
21	B5	Materiaalverbetering	Putten worden uitgevoerd in andere materialen waardoor minder onderhoud nodig is	Wells materials CapEx increase [+50%], aanname is dat het duurder is; Wells maintenance decrease [-50%]; Well interventions decrease [-50%]
22	B5	Corrosie bestendige coating	Coating in put en bovengrondse installatie. Let op wel hoger risico op vervanging als er ergens een krasje ontstaat	Materials & salt circuit CapEx increase [+100%]; Plant building CapEx increase [+12.5%]; Geo installations maintenance decrease [-50%]
23	B6	Magnetische pompaandrijving	CapEx blijft gelijk, idem voor levensduur	Electricity OpEx decrease [-33%]
24	B6	Aanleg database ESP	Database ESP's aanleggen en ESP guru bij GeothermieNL aannemen. Resulteerd in verhoging kosten lidmaatschap branchevereniging. €100.000 te verdelen over alle partijen	Management Wells OpEx increase [+2.5%] Unforeseen Wells OpEx decrease [-10%] ESP maintenance decrease [-40%]
25	B6	Gas lift	3x/kwartaal inkoop 50.000m3 gas (0,25€/m3). Elektra verbruik blijft gelijk ivm compressor ipv ESP. Geen ESP meer nodig	OpEx wells & plant increase van 23% Cat.1 CapEx decrease [-500k€] R14 (replacement ESP) decrease [-100%]
26	B7	Automatisering	Automatisering	Plant CapEx increase [+10%] (25% of Cat.1 CapEx); O&M OpEx decrease [-50%] (65% of wells & plant OpEx)
27	B7	Efficiëntie warmtewisselaars	Warmtewisselaars efficiënter maken --> Tverlies verkleinen naar 1 graad in bovengrondssysteem.	1 deg C hoger is 2,5% hogere warmteproductie: Heat production [+2.5%]
28	B7	Modulaire inrichting	Standaardisering + modulair inrichten zorgt voor een CapEx reductie van 20% op de installaties	Plant CapEx decrease [-10%] (25% of Cat.1 CapEx); Unforeseen wells OpEx decrease [-10%] (5% of wells & plant OpEx)
29	B7	Gebruik van zuurstofdichte materialen	GRE 50% duurder, geen vervanging nodig	Plant CapEx increase [+25%] is het resultaat van 50% increase voor de leidingen; Geo installations maintenance decrease [-50%]
30	B7	Online/automatische dosering inhibitor	20% minder inhibitor nodig. 5% hogere CapEx bovengrond	Plant CapEx increase [+5%] Consumables OpEx decrease [-20%]
31	C1	Impact analyse afname injectiviteit	Injectiviteit is na 30 jaar gradueel afgenomen tot 25% van het oorspronkelijke debiet	Heat production decrease [- 50%]; SDE+ production decrease [-50%]
32	C1	Impact analyse Zoutneerslag	Aangenomen dat elke 24u de warmtewisselaar verstopt zit. 2e warmtewisselaar nodig. Afval verwerking OpEx niet meegenomen	CapEx plant [+11%]. OpEx [+38%] aanname dagelijks onderhoud/spoelen 1000€/dg,
33	C2	Gebruik van meegeproduceerde mineralen	Door relatief weinig extra investeringen ontstaat een extra inkomsten bron.	CapEx plant [+15%].aanname ~1 M€ nodig voor bovengrondse installatie Revenues increase [+4%]; aanname Li 10 kEUR/ton, productie 3 ton/kwartaal (bij 5 g/m3 water, 300 m3/h en 1500 vollasturen)



	Onderwerp	Maatregel	Omschrijving effect maatregel	Aannames voor Business Case model
34	C3	Verhoging invoertemperatuur (tot 110°C)	Ophogen invoer temperatuur dmv warmtepomp naar 110 graden voor bestaande netten (1M€ warmtepomp)	Plant CapEx increase [+17%] is vertaling van 1M€ vd warmtepomp op de installatie; Electricity OpEx increase [+70%]; aanname COP warmtepomp van 4 Wellhead production temperature increase [+10°C]
35	C3	Vergroting bronuitkoeling	Uitkoeling bij bron vergroten dmv warmtepomp. verlaging retour temp van 55 naar 35. COP Warmtepomp = 4	Plant CapEx increase [+17%] is vertaling van 1M€ vd warmtepomp op de installatie; Electricity OpEx increase [+70%]; Wellhead injection temperature decrease [-20°C]
36	C4	Innovatie warmtepomp	Warmtepomp kost 10% minder en is 20% meer efficiënter. = COP van 4 naar 5	Plant CapEx increase [+15%] is vertaling van 900k€ vd warmtepomp op de installatie; Electricity OpEx increase [+55%]; COP =5 Wellhead production temperature increase [+10°C]
37	C4	Reguleringscapaciteit	Regelbaarheid van aardwarmte vergroten. terug te schalen naar 50% van volledige productie in zomermaanden	Plant power supply CapEx increase [+100%]; Heat production increase [+17%]; SDE+ production increase [+17%] Electricity OpEx increase [+51%]
38	D2	Centrale database put-problemen	Centrale database: inzichten in problemen met putten. verhoging kosten lidmaatschap branchevereniging. €20.000 te verdelen over alle partijen. Effectievere workovers, reductie downtime	Well interventions OpEx decrease [-10%] Unforeseen Wells OpEx decrease [-5%] , vertaling naar minder downtime
39	D2	Overdracht O&G kennis	CapEx 10% hoger, OpEx 10% lager, helpt minder workovers	Wells and pumps CapEx increase [+10%]; Wells maintenance decrease [-50%] Wells & plant OpEx decrease [-10%]
40	D3	Burgerparticipatie	Verkleinen doorlooptijd DEVEX met 10%. Naast efficiëntiewinst is er een verhoging in DEVEX van 50kEUR om dit te faciliteren.	DevEx decrease from time gains [-2%]; DevEx increase from facilitation costs [+1.5%]
41	D5	Digitalisering, AI	Processen automatiseren, digitaliseren en AI gebruiken voor processen slimmer te maken	DevEx decrease [-5%]; CapEx decrease [-5%]; Wells & plant OpEx decrease [-10%]
42	D6	Monitoring seismiciteit	Aanleg monitoringsnetwerk en monitoring gedurende productie	CapEX increase [+2%] OpEx [+3%]
43	D8	Sequentieel boren van projecten	Meerdere projecten kunnen gezamenlijk een boorcontractor inhuren waardoor kosten bespaard kunnen worden	20% kostenreductie op de boring bij treintjes van 5 doubletten (PBPB rapport 2018)



8.4 Bijlage 4

relatie met GEOTHERMICA en de Europese innovatieagenda's

Om de innovatiebehoeften uit dit rapport te kunnen relateren aan de Europese kaders, zoals besproken in hoofdstuk 4, geven we hier per innovatiethema het bijbehorende GEOTHERMICA thema en het bijbehorende onderwerp in de ETIP onderzoek- en innovatieagenda.

Innovatie inventarisatie			GEOTHERMICA	ETIP - Deep Geothermal		ETIP - Renewable Heating and Cooling	
ID	Innovatieonderwerp	Thema	Thema	Code	Topic	Code	Topic
A1	Ondergrond model voor betere voorspelling van aardwarmte productie over tijd	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	A2	Advanced investigation and monitoring technology	B1	Subsurface characterization methods and integration
A2	Meervoudig veldontwikkelingsplan voor doelmatig gebruik van de ondergrond	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	A5, B10	Assessing resource potential, Efficient resource development	B1	Subsurface characterization methods and integration
A3	Andere methode voor gebiedsbepaling winningsvergunning ontwikkelen	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	D6, B10	Establishing a legal and regulatory framework Efficient resource development	B1, C1	Subsurface characterization methods and integration, Environmental legislation, licensing, and drilling regulations
A4	Nieuwe concepten voor winning aardwarmte	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	A6	Beyond conventional resources	A4	Cost efficient closed loop technology solutions



Innovatie inventarisatie			GEOTHERMICA	ETIP - Deep Geothermal		ETIP - Renewable Heating and Cooling	
ID	Innovatieonderwerp	Thema	Thema	Code	Topic	Code	Topic
A5	Hergebruik van aardwarmtebronnen	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	D7, B10	Embedding geothermal energy into the circular economy Efficient resource development		none
A6	Data acquisitie putten optimaliseren	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	B5, A1, A2	Monitoring and logging while drilling (incl. 'looking ahead' of the bit) Improved exploration prior to drilling Advanced investigation and monitoring technology	B1	Subsurface characterization methods and integration
B1	Methoden om het boorproces te versnellen	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B1,B2	Advancement towards robot drilling technologies Rapid penetration rate technologies	none	none
B2	Verhogen productiviteit in marginale velden door putconcepten	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B7	Effective and safe technologies for enhancing energy extraction	none	none
B3	Verhogen productiviteit in marginale velden door reservoir stimulatie	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B7	Effective and safe technologies for enhancing energy extraction	none	none
B4	Impact van testwater verkleinen	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B8,D5	Total reinjection and greener power plants Establishing Financial Risk Management schemes	none	none
B5	Optimaliseren putontwerp en putintegriteit	Voorspellen en beoordelen van aardwarmte bronnen	Identification and assessment of geothermal resources suitable for direct use and power generation	B4	Reliable materials for casing and cementing	none	none
B6	Verbetering productiepompen	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B11	Enhanced production pumps	none	none
B7	Optimaliseren bovengronds systeem en levensduur van apparatuur en componenten optimaliseren	Ontwikkeling van aardwarmtebronnen (boren, voltooiing, materialen en apparatuur)	Geothermal resource development (drilling, completion, materials and equipment)	B9, B10	Efficient resource development Reducing corrosion and scaling and optimising equipment and component lifetime	none	none



Innovatie inventarisatie			GEOthermica	ETIP - Deep Geothermal		ETIP - Renewable Heating and Cooling	
ID	Innovatieonderwerp	Thema	Thema	Code	Topic	Code	Topic
C1	Behoud van operationele kwaliteit	Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem	Supply and smart integration into the energy system and operations	B7	Effective and safe technologies for enhancing energy extraction	none	none
C2	Winning van minerale producten uit het geothermische water	Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem	Supply and smart integration into the energy system and operations	C8	Exploiting mineral production from geothermal sources	A3	Combined Heat, Power and Metal extraction (CHPM) technology
C3	Warmte systeem integratie	Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem	Supply and smart integration into the energy system and operations	C	Flexible production of heat and power High-Temperature Thermal Energy Storage (HT-TES)	B4	System integration of geothermal and other renewable energy technologies
C4	Flexibele warmtelevering uit aardwarmtebron vergroten	Bedrijfsvoering, productie en (slimme) integratie in het energiesysteem	Supply and smart integration into the energy system and operations	C	" Flexible production of heat and power High-Temperature Thermal Energy Storage (HT-TES)"	B4	System integration of geothermal and other renewable energy technologies
D1	Heldere wet- en regelgeving	niet-technisch	Policy, economy & risk mitigation, regulatory framework	D6	Establishing a legal and regulatory framework	C1	Environmental legislation, licensing, and drilling regulations
D2	Kennis- en datadeling	Doorsnijdend thema	cross-cutting	D1-3	Sharing underground data - unlocking existing subsurface information Organising and sharing geothermal information Shared research infrastructures		none
D3	Betrekken van de omgeving bij aardwarmteprojecten	niet-technisch	Public awareness, education & strengthening the sector	D2	Engaging with the public and other stakeholders	C4	Public acceptance and participation for development of geothermal systems with new business models
D4	Gebundelde duurzame warmtevraag ontwikkelen	niet-technisch	Policy, economy & risk mitigation, regulatory framework	D3	Reinforcing competitiveness		none
D5	Automatiseren, digitaliseren en Artificial Intelligence (AI) toepassen	Doorsnijdend thema	cross-cutting	A1, A2, B1, B2, B10, C, E		B1	Subsurface characterization methods and integration



Innovatie inventarisatie			GEOthermica	ETIP - Deep Geothermal		ETIP - Renewable Heating and Cooling	
ID	Innovatieonderwerp	Thema	Thema	Code	Topic	Code	Topic
D6	Overeenstemming acceptabele grens seismisch risico	Doorsnijdend thema	cross-cutting	D8, D2, D3, D4	Harmonised protocols for defining the environmental and health impacts of geothermal energy and mitigation planning Engaging with the public and other stakeholders Reinforcing competitiveness Establishing Financial Risk Management schemes "	C4	Public acceptance and participation for development of geothermal systems with new business models
D7	Duurzaamheid	Doorsnijdend thema	cross-cutting	D7, D8, D3	Reinforcing competitiveness Embedding geothermal energy into the circular economy Harmonised protocols for defining the environmental and health impacts of geothermal energy and mitigation planning		none
D8	Organiseren van boorcampagnes	niet-technisch	Environmental, social, and economic sustainability				none



Colofon

Innovatie Inventarisatie Aardwarmte 2021

Een uitgave van Geothermie Nederland en EBN

Projectgroep

Nora Heijnen, EBN
Radboud Vorage, Geothermie Nederland
George Worpel, MSG
Ivo de Klerk, MSG
Jorien Schaaf, EBN
Mara van Eck van der Sluijs, EBN
Pieter Bruijnen, EBN
Eveline Rosendaal, EBN
Maartje Vermeer, EBN

Met speciale dank aan de expertgroep en de geïnterviewden.

Projectondersteuning

MSG
Ontwerp Mike Slot, De Blikfabriek
Foto's Beeldbank Geothermie Nederland

Juni 2021

