

RAPPORT

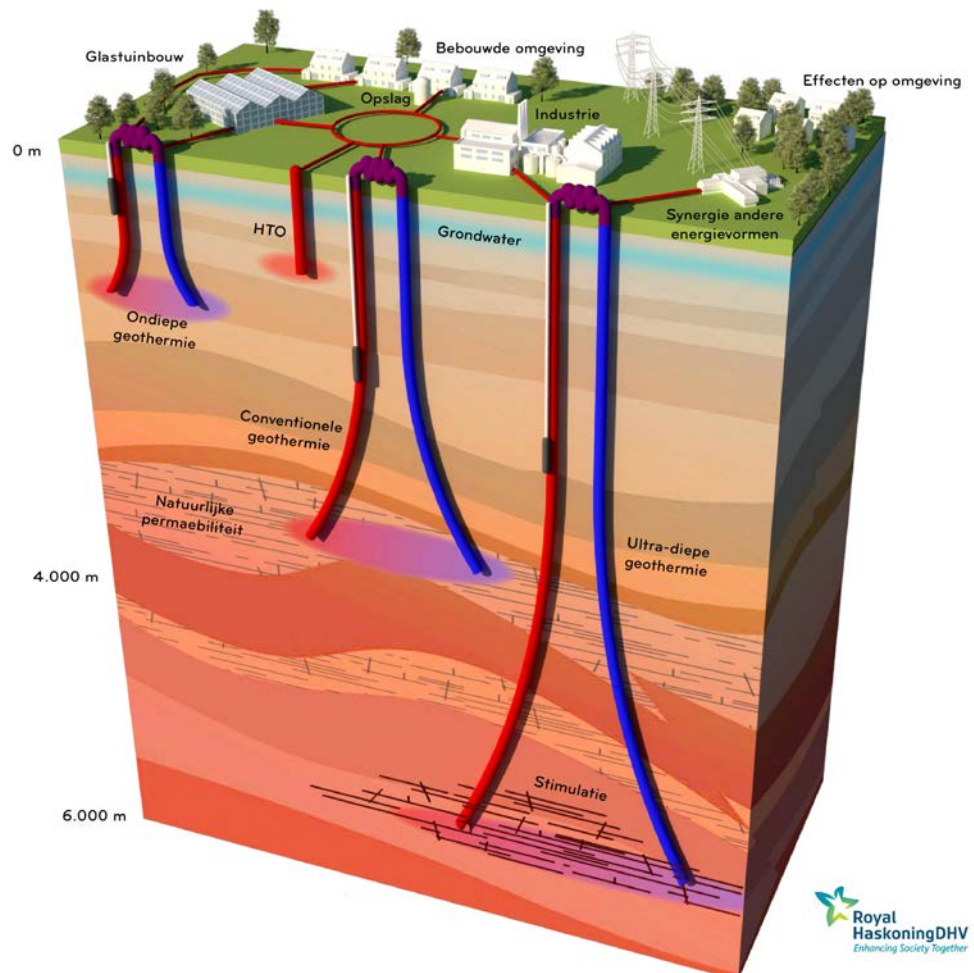
Innovatie Roadmap Geothermie Nederland

Klant: EBN

Referentie: BF9701_I&B_RP_180509

Versie: 0.1/Finale versie

Datum: 4 juni 2018



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Innovatie Roadmap Geothermie Nederland

Ondertitel: Innovatie Roadmap Geothermie Nederland
Referentie: BF9701_I&B_RP_180509
Versie: 0.1/Finale versie
Datum: 4 juni 2018
Projectnaam:
Projectnummer: BF9701
Auteur(s): Rael Steffens, Job Last, Bert Loonstra, Bob Vergoossen

Opgesteld door: Rael Steffens, Job Last, Bert
Loonstra, Bob Vergoossen

Gecontroleerd door: Taco Hoencamp

Datum/Initialen: 4 juni 2018

Goedgekeurd door: Taco Hoencamp

Datum/Initialen: 4 juni 2018 THOE

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Toekomstvisie	3
2 Randvoorwaarden en verwachte ontwikkelingen	4
3 Kennis en innovatie	6
3.1 Aanpak inventarisatie	6
3.2 Overzicht lopende onderzoeken	6
3.3 Kennis verzamelen en delen	7
3.4 Innovatiebehoefes	9
4 Impact van innovatiebehoefes	13
4.1 Impact en technische haalbaarheid	13
4.2 Overheidsbijdrage voor innovaties	14
5 Innovatie routekaart	15
5.1 Innovatie routekaart	15
5.2 Toelichting op routekaart	17
5.3 Innovatiebehoefes niet gedekt in onderzoek	20
5.4 Eerste budget indicatie innovatiebehoefes	20

Tabellen

Tabel 1: Overzicht onderzoeksprogramma's	6
Tabel 2: Overzicht innovatiebehoefes	9
Tabel 3: Eerste budgetindicatie uitvoering innovatiebehoefes	21

Figuren

Figuur 1: Visualisatie ontwikkelingen geothermie	4
Figuur 2: Impact en technische haalbaarheid innovatiebehoefes	13
Figuur 3: Innovatie routekaart	16
Figuur 4: Jaarlijkse budget indicatie	22

Bijlagen

1. Geïnterviewde partijen
2. Overzicht recent voltooide en lopende onderzoeken

Samenvatting

Geothermie (het winnen van aardwarmte) kan in potentie een belangrijke rol spelen in de Nederlandse energietransitie. Het is echter noodzakelijk de geothermiesector op te schalen om deze potentie waar te maken. Het opschalen van een technologie staat synoniem aan het ontwikkelen van innovaties. Voor de Nederlandse overheid en EBN heeft Royal HaskoningDHV de innovatie routekaart voor geothermie opgesteld, waarin innovatiebehoefte zijn geïdentificeerd en waaruit de benodigde rol van de overheid duidelijk wordt.

De geïdentificeerde innovatiebehoefte zijn veelal gericht op het verkrijgen van 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, met hoge volumes, lage temperaturen en agressief water worden ontworpen en aangelegd. Overige innovatiebehoefte zijn gericht op het verbreden van de toepassingen van geothermie in de tuinbouw, gebouwde omgeving (bestaande en nieuwbouw) en de industrie. Verwacht wordt dat in de tuinbouw geothermie verder zal groeien in een steeds sneller tempo, waarbij een meer regionale aanpak en management van de warmtereservoirs steeds belangrijker wordt.

Levering van aardwarmte aan gebouwd gebied wordt de komende jaren een van de grootste innovatie uitdagingen. Het koppelen van geothermiebronnen aan bestaande hoge temperatuur warmtenetten in een aantal steden zal een van de eerste stappen zijn. Het toepassen van hybride systemen, met fossiele energiebronnen (aardgas, restwarmte van energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties) en duurzame energiebronnen (biomassa, groen gas en geothermie) zal ondersteund moeten worden in een aantal demonstratieprojecten. Het demonstreren wordt gevolgd door optimalisaties, zoals warmteopslag voor een betere match van warmteaanbod en -vraag, slimme netten en cascadering. Door middel van deze optimalisaties wordt de benutting van warmte gemaximaliseerd, waardoor het toepassingsgebied van geothermie verder wordt vergroot. Naast technische innovatie zal vooral sociale innovatie nodig zijn om de vraag naar duurzame aardwarmte in de gebouwde omgeving echt te laten opschalen.

Daarnaast kan het ontwikkelen van lage temperatuur aardwarmte een grote bijdrage gaan leveren aan het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Lage temperatuur aardwarmte komt vermoedelijk op de meeste plaatsen voor in Nederland en is goedkoper te produceren. De eerste projecten met lage temperatuur bronnen gekoppeld aan een warmtenet zullen ondersteund moeten worden in een aantal demonstratieprojecten. Hoge temperatuur warmtelevering aan de industrie wordt verwacht over enkele jaren. Op dit moment worden gegevens over de zeer diepe ondergrond verzameld in de lopende Green Deal Ultradiepe Geothermie, waarna een aantal demonstratieprojecten ondersteund zullen moeten worden.

Verbinding en integratie met andere energiesystemen zal in de nabije toekomst verdere aandacht vragen. Zoals het gebruik van overtollige elektriciteit voor aanvullende warmteproductie en bijvoorbeeld de koppeling met waterstofproductie. De individuele systemen zullen eerst verder ontwikkeld moeten worden alvorens aan koppeling kan worden gewerkt.

Aan een aantal knelpunten en uitdagingen wordt al gewerkt door de geothermiesector in samenwerking met de overheid in diverse onderzoeksprogramma's. De onderzoeksprogramma's zijn veelal vraaggestuurd en maken gebruik van een onderzoeksagenda. De nog ontwikkelende sector en de lange termijn van innovaties zijn nog niet goed op elkaar aangesloten. Vooral onderzoek naar korte termijn uitdagingen krijgen momenteel prioriteit. Het gecoördineerd vaststellen van de onderzoeksagenda voor onderzoek voor de Nederlandse geothermiesector en het voldoende communiceren hierover met alle betrokkenen zijn echter aandachtspunten.

Om de innovaties uiteindelijk uit te rollen in de markt is continuïteit nodig. Na de huidige onderzoeken moeten de innovatiebehoefte naar de volgende fase worden gebracht. Voor het ondersteunen van grootschalige demonstratieprojecten lijkt nog een goed instrument te ontbreken, mogelijk kan de SDE-regeling hiervoor worden aangepast.

Innovaties die nog niet direct commercieel aantrekkelijk zijn of van sector breed belang (of zelfs breder dan de sector) worden nu niet door de (nog beperkte) markt opgepakt en hebben extra stimulans van de overheid nodig. Bij deze innovaties zal de overheid naast financiële ondersteuning, ook een belangrijke rol spelen als aanjager, verbinder en regievoerder. Dit zijn het doelmatig gebruik van de ondergrond, geïnduceerde seismiciteit, het verbeteren van reservoir management, het toepassen van HT warmtelevering, het toepassen van opslag concepten, het toepassen van hybride netten en systeemintegratie tussen energievormen.

Voor het uitvoeren van de 22 geïdentificeerde innovatiebehoefte is een eerste budget indicatie opgesteld. De kleinschalige innovatiebehoefte rond technologie verbetering en pilotprojecten vergen een jaarlijks budget van 5 tot 15 miljoen euro per jaar tot 2025. Voor het uitvoeren van de grootschalige demonstratieprojecten zal vanaf 2022 tot circa 2030 een jaarlijks budget van 15 tot 25 miljoen euro benodigd zijn.

Deze rapportage geeft een eerste overzicht van lopende onderzoeken en innovatiebehoefte relevant voor de geothermie sector in Nederland. Aanbevolen wordt dit overzicht periodiek te verifiëren en bij te stellen op basis van voortgang van de onderzoeken en nieuwe behoeftes.

1 Toekomstvisie

In de toekomst speelt geothermie een belangrijke rol in de Nederlandse warmtevoorziening. Naast de bestaande conventionele geothermie wordt warmte gewonnen uit de ondiepe en zeer diepe ondergrond. De tuinbouwsector zal grotendeels door geothermie van warmte zijn voorzien. Een groot deel van de gebouwde omgeving wordt niet meer door gas verwarmd maar is aangesloten op warmtenetten. De warmtenetten worden deels door geothermie van warmte voorzien aangevuld met andere duurzame bronnen (zoals biomassa en groen gas) voor het opvangen van de piek. Ook de lichte industrie zal aardwarmte gebruiken voor het verwarmen van processen door middel van het oppompen van warm water uit de zeer diepe ondergrond (ultradiepe geothermie). Aardwarmte en restwarmte uit de industrie worden aan warmterotondes in de dichtbevolkte gebieden geleverd waarna het gebruikt wordt voor het verwarmen van de glastuinbouw en de gebouwde omgeving. Andere duurzame energiebronnen zoals wind- en zonne-energie zijn gekoppeld aan geothermie om zo de pieken in de levering als in de vraag op te kunnen vangen. Geothermie zal een betrouwbare techniek zijn die het hele jaar door de basislast warmte levert en in de zomer wordt opgeslagen in de ondergrond. In 2050 zijn circa 600 doubletten geïnstalleerd die een warmtecapaciteit leveren van circa 200 Peta joule. Hiervoor worden gemiddeld circa 20 doubletten per jaar geboord tot 2050.

Potentieel versus realiteit

Het winnen van aardwarmte (geothermie) wordt gezien als één van de oplossingen van de energietransitie. Aardwarmte is onuitputbaar, de technologie van het boren wordt al tientallen jaren uitgevoerd, de vraag is groot en alternatieven voor duurzame warmte zijn schaars. Tegelijkertijd zijn sinds het begin van deze eeuw 'slechts' circa vijftien doubletten operationeel, wordt aardwarmte bijna alleen maar aan de glastuinbouw geleverd en zijn business cases niet rond te krijgen zonder subsidie.

Stepchange – visie

De geothermiesector dient op korte termijn op te schalen en exponentieel te groeien om het potentieel waar te maken. Hiervoor is een verandering in denken noodzakelijk. Van kleinschalig denken, project per project, naar grootschalig denken door gebiedsgericht clusters van projecten te ontwikkelen. Kostenreductie door innovatie is essentieel om deze ontwikkeling mogelijk te maken.

Innovatie routekaart

EBN heeft Royal HaskoningDHV gevraagd in kaart te brengen welke technische innovatiebehoefte er bestaan binnen de sector en waar de overheid een rol kan en moet spelen. Hiervoor is met verschillende partijen binnen en buiten de geothermiesector gesproken. Op basis hiervan is geïnterpreteerd welke innovaties nodig zijn, waar al onderzoek naar wordt gedaan en waar onderzoek nog noodzakelijk is. In samenwerking met EBN is een innovatie routekaart naar 600 doubletten in 2050 uitgezet.

Leeswijzer

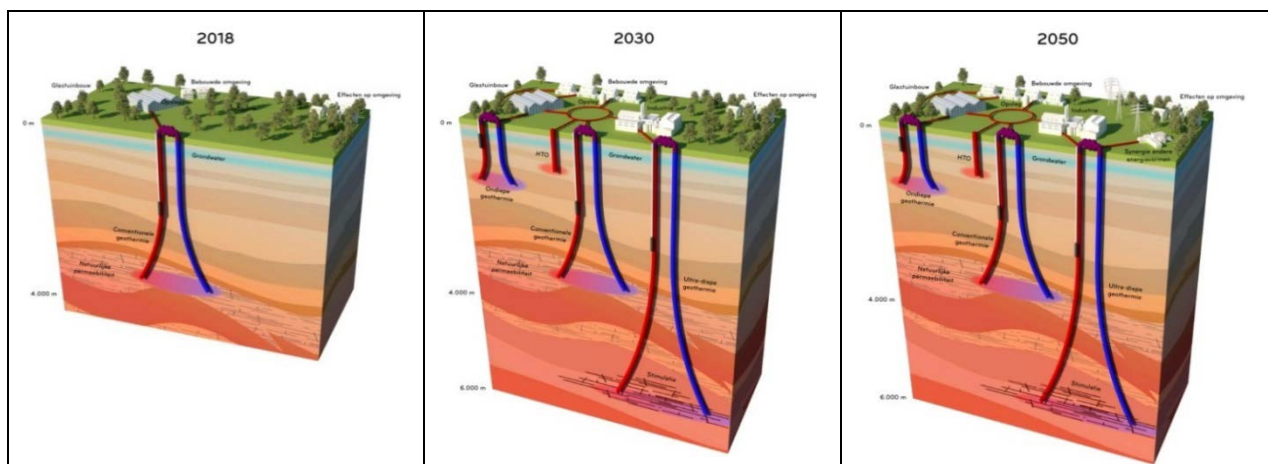
In dit rapport wordt toegelicht:

- Welke voorwaarden gesteld worden aan de opschaling van geothermie en welke ontwikkelingen de geothermiesector naar verwachting zal doormaken (**hoofdstuk 2**);
- Welke innovatiebehoefte bestaan, hoe deze worden ingevuld en op welke manier kennis wordt verzameld en gedeeld (**hoofdstuk 3**);
- Wat de mogelijke rol van de overheid is aan de hand van de impact, technische haalbaarheid en de verwachte vraaggestuurde invulling van de innovatiebehoefte (**hoofdstuk 4**);
- Hoe bovenstaande informatie in de routekaart is verwerkt en op welke manier deze geïnterpreteerd kan worden (**hoofdstuk 5**).

2 Randvoorwaarden en verwachte ontwikkelingen

Voor een succesvolle opschaling van de Nederlandse geothermiesector zijn drie voorwaarden gesteld waar de sector in de toekomst aan moet voldoen:

- 1 **Veilig en verantwoord** – het winnen van aardwarmte mag nooit ten koste gaan van de veiligheid van de omgeving, mogelijke (milieu-)effecten dienen zoveel mogelijk beperkt te worden;
- 2 **Vergroten toepassingsgebied** – voor opschaling moet een verscheidenheid aan gebruikers aardwarmte afnemen en een verscheidenheid aan dieptes in de ondergrond verkend worden;
- 3 **Kostenreductie** – het omlaag brengen van de kosten staat synoniem aan opschaling, door innovatie moeten goedkopere technieken en materialen met een langere levensduur beschikbaar komen.



Figuur 1: Visualisatie ontwikkelingen geothermie

Voor het opschalen van de geothermiesector aan de hand van de drie voorwaarden worden de volgende ontwikkelingen voorzien. Elk van deze ontwikkelingen brengt zijn eigen uitdagingen mee die door middel van innovaties aangegaan moeten worden.

- Vergroten van de toepassing van bestaande geothermie
 - Van de huidige concentratie van dubletten in het Westland naar een verspreiding van geothermie door heel Nederland;
 - Van kennis van de ondergrond in het noorden en westen van Nederland naar een bekende potentie van geothermie in heel Nederland;
 - Van enkele operators naar een breed toegepaste en gestandaardiseerde geothermie sector.
 - Van geen of een suboptimale match tussen bovengrondse vraag en ondergronds potentieel naar een optimale match.
- Ontwikkelen van meerdere soorten geothermie
 - Van de paar bekende geologische formaties waar inmiddels ervaring mee is naar de onbekendere ondiepe en zeer diepe ondergrond;
 - Van geologische formaties met een natuurlijke doorstroming naar het kunstmatig verhogen van de doorstroming in zeer diepe geologische formaties aan de hand van stimulatietechnieken;
 - Van 90 graden voor bestaande geothermie naar 30 tot 40 graden voor ondiepe geothermie en temperaturen van boven de 120 graden voor ultradiepe geothermie;

- Van bekende technologie naar technologische uitdagingen.
- Koppelen van meerdere typen afnemers aan geothermie
 - Van de bestaande toepassing van geothermie in de glastuinbouw naar toepassingen in de gebouwde omgeving (bestaande en nieuwbouw) en de (lichte) industrie;
 - Van 'eenvoudige' warmtenetten naar complexe en slimme warmtenetten met meerdere typen energiebronnen en -afnemers;
 - Van het gebruik van geothermie voor verwarming naar systeemintegratie met andere energievormen.
- Inpassing van geothermie in de omgeving
 - Van putten in landelijk gebied voor de glastuinbouw naar putten in stedelijk gebied voor de gebouwde omgeving, waarbij de impact van geothermie op de omgeving goed begrepen wordt en de nadelige effecten ervan gemitigeerd worden;
 - Van weinig problemen met seismiciteit naar een kans op trillingen, waarbij de impact van stimulatie en het injecteren van water goed begrepen wordt en de bijbehorende risico's gemitigeerd worden;
 - Van een relatief onbekende energievorm naar een publiekelijk geaccepteerde en bekende energievorm. Een open en transparante communicatie richting de bevolking en het bewust maken van de duurzame en beheersbare energievorm aardwarmte is hierbij essentieel.

3 Kennis en innovatie

3.1 Aanpak inventarisatie

Voordat de route naar opschaling van geothermie uiteen kan worden gezet is het noodzakelijk de huidige innovatiebehoefte te inventariseren. Hiervoor is met vijftien partijen uit de geothermiesector gesproken, bestaande uit kennis- en onderzoeksinstituten, operators, aannemers, adviesbureaus, afnemers en overheid. In bijlage 1 is de lijst met geïnterviewde partijen opgenomen.

Voor het ophalen van de innovatiebehoefte is tijdens de interviews het hele systeem doorlopen, van aanleg van de put tot het afnemen van de warmte. De opgehaalde innovatiebehoefte zijn verdeeld over de drie onderdelen van de waardeketen:

- **Exploratie & Realisatie** – Onder Exploratie & Realisatie vallen alle innovaties met betrekking tot het uitvoeren van geologisch onderzoek tot het installeren en testen van de put;
- **Productie** – De productiefase begint wanneer de put warmte gaat produceren en eindigt wanneer de put gesloten wordt. Alle innovaties rond operationele aspecten vallen onder dit onderdeel;
- **Afname & Systemintegratie** – Onder Afname & Systemintegratie vallen alle innovaties die te maken hebben met het afnemen, transporteren, opslaan en eventueel verwerken van de warmte. De afname begint wanneer de warmte de winningslocatie verlaat en eindigt bij de warmtegebruiker.

3.2 Overzicht lopende onderzoeken

Allereerst is een inventarisatie gemaakt van de onderzoeken en onderzoeksprogramma's die relevant zijn voor de ontwikkeling van geothermie en warmtenetwerken in Nederland. In tabel 1 zijn de meest relevante onderzoeksprogramma's in Nederland en de EU weergegeven.

Tabel 1: Overzicht onderzoeksprogramma's

Type onderzoek	Onderzoeksprogramma	Typische subsidie omvang per project*
Kennis vergaren en delen	Kennisagenda aardwarmte: Kas als energiebron	€10-50k
Fundamenteel (TRL 1-3)	Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)	€300-1.000k
Toegepast (TRL4-6)	Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI/RVO) TKI-Urban Energy TKI-Nieuw Gas (Geo-Energie) TKI-Energie en Industrie	€100-300k
Toegepast (TRL4-6)	Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM)	Niet bekend
Toegepast (TRL4-6)	Horizon2020 EU	€2-20M
Pilot-Demonstratie (TRL6-9)	GEO THERMICA EU+NL (RVO)	€1-10M
Toegepast & Demonstratie (TRL7-9)	Demonstratie Energie Innovatie (DEI; RVO) Hernieuwbare Energie (HE; RVO)	€1-6M
Verdere uitrol (TRL 9)	Mogelijk via Subsidie Duurzame Energie (SDE+; RVO)	>€10M

* Projectomvang is meestal (aanzienlijk) groter dan subsidieomvang. Hoe hoger het TRL niveau, hoe hoger de eigen bijdrage. Bij hogere TRL niveau's vaak 50% of meer.

In het algemeen kan worden gesteld dat voor ieder type onderzoek een onderzoeksprogramma beschikbaar is. Hieronder worden deze toegelicht.

- De Kennisagenda aardwarmte: Kas als energiebron richt zich vooral op kennis vergaren en delen binnen de sector en kennis uit andere sectoren analyseren en toepasbaar maken, het is een sterk vraaggestuurd programma met al diverse afgeronde onderzoeken en projecten voor de sector.
- Voor fundamenteel onderzoek aan de universiteiten van Delft, Utrecht, Groningen en Eindhoven is vooral het NWO een belangrijke financier. Geothermie gerelateerde onderwerpen zijn beperkt maar beginnen meer aandacht te krijgen.
- De RVO / TKI programma's zijn in principe vraaggestuurd en vergen de participatie van een operator/marktpartij. De typische verdeling is 50/50 financiering, eigen bijdrage en overheid. Vaak zijn ook kennisinstituten hierbij betrokken. Recent heeft de TKI Nieuw Gas de hoofdlijn Geo Energie opgestart, dit was het oude Upstream Gas. De toegankelijkheid van het TKI programma voor de operators en andere marktpartijen moet nog blijken, maar de grote eigen bijdrage kan een belemmering zijn.
- De RVO programma's DEI en HE 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 Energie (HE) kunnen leiden voor 2030. Beide programma's zijn ook open voor geothermie en ondersteunen op dit moment diverse voor Nederland relevante innovatietrajecten.
- Het Europese Horizon2020 programma heeft op onderdelen een heel duidelijke focus op het onderwerp geothermie. In het verleden was gezien het Europese karakter niet al het onderzoek even relevant voor Nederland, waar het om relatief lage temperatuur, sedimentair gesteente, hoog zoutgehalte en geen electriciteitsgeneratie gaat, in tegenstelling tot andere Europese landen. De laatste jaren zijn de geothermie onderzoeksthema's in het H2020 programma dankzij actieve beïnvloeding van de EU Agenda vanuit NL onder andere via GEOTHERMICA wel steeds meer gericht geraakt op de Nederlandse vraagstukken.
- Het GEOTHERMICA programma is een samenwerking tussen 14 Europese lidstaten en de EU op het gebied van geothermie. Het gaat hier zowel om gezamenlijke strategievorming, kennisuitwisseling, alsook het organiseren van gezamenlijke calls (nationaal + EU geld). Dit netwerk heeft vorig jaar voor het eerst een call gelanceerd en recent zijn een aantal onderzoeken relevant voor de Nederlandse vraagstukken toegekend.
- De SDE-regeling is een Nederlandse subsidie gericht op de basis van duurzame energie. Mogelijk kan deze subsidie en/of andere instrumenten aangepast worden voor de verdere uitrol van projecten. Op dit moment bestaat voor dit type projecten geen duidelijk instrument.

Een duidelijk overzicht van de onderzoeksagenda en innovatiebehoefte voor de gehele aardwarmte waardeketen dient centraal te worden bijgehouden en te circuleren bij de diverse onderzoeksprogramma's. Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is op diverse manieren betrokken bij de financiering van de diverse onderzoeksprogramma's, waarbij met name de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) voor de geothermiesector een grote rol speelt bij de beoordeling en financiële ondersteuning van onderzoeks en demonstratieprojecten. Een overzicht van de recent afgeronde en lopende onderzoeken is opgenomen in bijlage 2.

3.3 Kennis verzamelen en delen

De Nederlandse geothermiesector heeft duidelijk potentie, is nog relatief jong en met duidelijke kansen voor verbetering doordat vergelijkbare sectoren zoals de olie en gasindustrie al langer ervaring op doen met betrekking tot het werken in de (diepe) ondergrond. Ook de drinkwatersector is al lang actief met het

benutten en het beheer van grondwater. Er zijn vele mogelijkheden om de geothermiesector verder te laten groeien door middel van het verzamelen, uitwisselen en delen van kennis met dergelijke sectoren.

De onderwerpen die tijdens de interviews zijn benoemd en te maken hebben met het vergaren, verzamelen en delen van kennis worden hieronder toegelicht. Deze onderwerpen worden niet als innovatiebehoefte beschouwd, maar zijn daar wel sterk mee verbonden. Zowel inventarisatie van bestaande kennis aan de voorkant van innovatie trajecten als het delen en borgen van kennis aan de achterkant van innovatietrajecten is van belang en behoeft continue aandacht.

De innovatiebehoefte worden in paragraaf 3.4 beschreven.

Het verder in kaart brengen van de Nederlandse ondergrond

Het verzamelen van kennis door het schieten van nieuwe seismiek en het reprocessen van bestaande seismiek om de ondergrond in Nederland verder in kaart te brengen voor ondiepe, conventionele en ultradiepe geothermie.

Kosteneffectieve metingen tijdens het boren

Meetinstrumenten uit andere sectoren, zoals olie en gas, gebruiken voor het vergaren van kennis doormiddel van data acquisitie tijdens het boren. Voor langdurige en duurzame winning is het belangrijk om veel informatie over de ondergrond te verzamelen, bijvoorbeeld door loggen of het nemen van kernen. Het zou gewenst zijn om deze informatie te delen en beschikbaar te maken voor iedereen.

Verminderen van het energieverbruik van de installaties

Kennisoverdracht van energiebesparende maatregelen uit andere sectoren zoals de energiesector en het toepassen van deze kennis in de geothermiesector voor het verminderen van het energieverbruik van de installaties.

Verminderen en vergroenen van het gebruik van mijnbouw hulpstoffen

Kennisontwikkeling over het vergroenen van het gebruik van mijnbouw hulpstoffen en kennisoverdracht uit o.a. de olie en gassector en geothermieprojecten in het buitenland voor het minimaliseren van de chemicaliën toevoeging tegen corrosie en scaling.

Verminderen van het onderhoud aan de installaties

Verdere kennisdeling en opschaling binnen de geothermiesector voor kosteneffectief onderhoud aan de installaties. Kennisoverdracht uit de olie- en gassector en watersector over assetmanagement en grootschalige onderhoudsprogramma's voor putten en installaties.

Verwerking van mee-geproduceerde stoffen

Kennisoverdracht uit o.a. de olie en gassector voor veilige en efficiënte afscheiding van olie en gas uit de waterstroom. Technologie inzet voor verdere toepassing en het maximale gebruik van deze stoffen.

Verwerking van afvalstoffen

Verdere ontwikkeling van kennis binnen de geothermiesector over het omgaan met afvalstoffen. Kennisoverdracht uit de olie en gas en afvalsector voor afvalmanagement gevaarlijke stoffen zoals productiewater, NORM, benzeen, H₂S, kwik en andere zware metalen.

Verbeteren van het grondwatermanagement

Kennisoverdracht uit de watersector over veilig omgaan met drinkwatervoorraden. Ontwikkelen gepaste monitoring en beheersmaatregelen ter bescherming van grondwatervoorraden ten gevolge van activiteiten aan het maaiveld en in de ondergrond.

Standaardisatie en vergroten toepassing van managementsystemen

Verdere standaardisatie en verbetering van de bedrijfsvoering voor het toepassen van managementsystemen in de geothermiesector.

Versnellen vraagontwikkeling duurzame warmte

Verbeteren van de communicatie en de positie van duurzame aardwarmte richting de bevolking.

Ruimtelijke ordening ondergrond

Kennisoverdracht van ruimtelijke ordeningswetgeving en procedures voor het beheer van de ondergrond. Toepassen van STRONG en andere beleidsinstrumenten om te voorkomen dat geothermieprojecten gaan interfereren met ander gebruik van de ondergrond of onderling. De ondergrond gaat steeds meer gebruikt worden en voor de veiligheid is het cruciaal dat er een goede ruimtelijke ordening in de ondergrond wordt opgesteld.

3.4 Innovatiebehoefes

Behalve het verder vergaren, verzamelen en delen van kennis zal ook technische innovatie moeten plaatsvinden voor het bereiken van de potentie van 600 doubletten in 2050. Voor het wegnemen van de knelpunten en het vinden van oplossingen voor uitdagingen zal verdere innovatie nodig zijn. Dit kan fundamenteel onderzoek zijn naar nieuwe technieken, het optimaliseren en zoeken naar nieuwe materialen en installaties met een lange levensduur, het demonstreren van geothermie als betrouwbare en betaalbare warmtebron in warmtenetten alsmede onderzoek naar synergie met andere (duurzame) energiebronnen.

Een overzicht van de innovatiebehoefes per onderdeel van de waardeketen (Exploratie & Realisatie, Productie en Afname & Systeemintegratie) is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Overzicht innovatiebehoefes

Exploratie & Realisatie	Productie	Afname & Systeemintegratie
E1: Verbeteren ESP en toepassen alternatieve productiemethodes	P1: Verbeteren waterinjectie	A1: Toepassen combinatie aardgas en geothermie
E2: Verbeteren boortechnieken	P2: Verlengen levensduur van de put	A2: Demonstreren lage temperatuur levering
E3: Verbeteren reservoir stimulatie	P3: Kosteneffectieve abandonnering	A3: Maximale benutting van de warmte
E4: Ontwikkelen materialen met een langere levensduur	P4: Geïnduceerde seismiteit	A4: Toepassen slimme warmtenetten
E5: Ontwikkelen fit-for-purpose putontwerpen	P5: Verbeteren reservoir management	A5: Toepassen opslag concepten
E6: Ontwikkelen diepe data acquisitie voor bebouwd gebied		A6: Toepassen hybride netten
E7: Hergebruik bestaande infrastructuur		A7: Demonstreren hoge temperatuur levering
E8: Doelmatig gebruik van de ondergrond		A8: Ontwikkelen systeemintegratie met andere energievormen
		A9: Ontwikkelen combinatie CO ₂ -opslag en warmtewinning

De innovatiebehoefes, opgehaald uit de interviews met partijen uit de geothermiesector, worden hieronder toegelicht.

Exploratie & Realisatie

- *E1: Verbeteren ESP en toepassen alternatieve productiemethodes*

Het verbeteren van de levensduur en betrouwbaarheid van de elektrische pomp (Electrical Submersible Pump, ESP) en de pomp daarmee meer geschikt maken voor de Nederlandse condities. Ook het ontwikkelen en toepassen van andere productiemethodes voor het water zoals gaslift en surface pompen die robuuster zijn en geschikter voor grote of variërende debieten dienen onderzocht te worden. Naast de benodigde technische verbetering, speelt hier ook behoefte aan een grotere

afzetmarkt. De Nederlandse markt is (nog) niet interessant voor doorontwikkeling van specifieke aanpassingen door toeleveranciers.

- *E2: Verbeteren boortechnieken*
Het toepassen van andere boortechnieken en boorprocessen die leiden tot lagere kosten voor het aanleggen van een put. Bijvoorbeeld het sneller boren met 'enhanced casing installation' techniek en semiautomatisch boren met kleinere torens.
- *E3: Verbeteren reservoirstimulatie*
Het bepalen van de effectiviteit van stimulatietechnieken voor diverse Nederlandse geothermiereservoirs. Het toepassen van bestaande stimulatietechnieken uit de olie- en gasector, bijvoorbeeld chemische en hydraulische stimulatie en ook het testen van nieuwe stimulatietechnieken zoals radial jetting.
- *E4: Ontwikkelen materialen met een langere levensduur*
Materialen ontwikkelen en de juiste materiaalkeuzes maken voor de put en bovengrondse installatie, afgestemd op de samenstelling van het formatiewater in Nederland. Bijvoorbeeld composiet casings en GRE buizen voor bovengrondse installatie.
- *E5: Ontwikkelen fit-for-purpose putontwerpen*
Het verder ontwikkelen en toepassen van andere putontwerpen voor verschillende gevraagde warmtecapaciteiten en geologische formaties. Bijvoorbeeld monowells en horizontale boringen door laag permeabele lagen. Putdesign aanpassen aan veiligheidsrisico, bijvoorbeeld een extra wand als er extreem corrosief formatiewater wordt verwacht. Life cycle design, het kiezen van een putdesign met duurzamere materialen voor langere levensduur.
- *E6: Ontwikkelen diepe data acquisitie voor gebouwde omgeving*
Bestaande technieken voor het schieten van diepe seismiek (explosieven) lijken minder geschikt voor gebruik in de gebouwde omgeving. Innovatie moet daarom gericht zijn op het ontwikkelen van methodes voor het verkrijgen van diepe seismiek in bebouwd gebied en de overlast hiervan te verminderen.
- *E7: Hergebruik bestaande infrastructuur*
Het behalen van een kostenreductie door bestaande infrastructuur, o.a. uit de olie- en gasector, te hergebruiken voor het produceren of transporteren van aardwarmte. Bijvoorbeeld het hergebruik van gasputten voor aardwarmtewinning en het hergebruiken van bestaande boorlocaties.
- *E8: Doelmatig gebruik van de ondergrond*
Het verder ontwikkelen van ruimtelijke ordening in de ondergrond om de 'grondstof' geothermie op een zo doelmatig mogelijke wijze te kunnen gebruiken. Kennis uit de olie- en gasector voor het efficiënt ontwikkelen van geologische formaties kan hierbij gebruikt worden. Als voorbeeld: field development planning, het plannen van grootschalige boorprogramma's voor velden die een hoge put dichtheid vergen en watermanagement methodes, met waterinjectie en waterflooding, voor het efficiënt produceren van formaties en het voorkomen van interferentie

Productie

- *P1: Verbeteren waterinjectie*
Voorkomen dat de injectiecapaciteit terugloopt tijdens de operationele fase. Inzicht vergroten in (geochemische) processen en thermische effecten bij de injectieput en in het ontvangende reservoir. Voorkomen en monitoren van migratie van injectiewater naar andere (watervoerende) lagen.
- *P2: Verlengen levensduur van de put*
Voorkomen van processen zoals o.a. corrosie en scaling in de put en installaties die kunnen leiden tot een vermindering van de warmteproductie van de put. Inzicht vergroten in geochemische processen en het gebruik van mitigatiemaatregelen, bijvoorbeeld inhibitors en andere mijnbouwhulpstoffen.
- *P3: Kosteneffectieve abandonnering*
Maatregelen voor het afsluiten van de put vooraf meenemen in het ontwerp van de geothermieput met inachtneming van de specifieke geologische omstandigheden. Hierdoor kan abandonnering meer maatwerk en kosteneffectief worden maar toch veilig en verantwoord worden uitgevoerd. Door de maatregelen vooraf mee te nemen in het putontwerp kunnen de risico's worden verkleind. Het Nextstep programma uit de olie- en gasindustrie kan als voorbeeld dienen voor het grootschalig en zo kosteneffectief mogelijk abandonneren van putten.
- *P4: Geïnduceerde seismiciteit*
Inzicht vergroten in het ontstaan en mitigeren van geïnduceerde seismiciteit, in het bijzonder de effecten van waterinjectie op seismiciteit. Onderzoek naar het ontstaan van geïnduceerde seismiciteit door het gebruik van breuken voor water injectie. Evenals onderzoek naar de interactie tussen geothermie met andere mijnbouwactiviteiten, bijvoorbeeld geothermie nabij bestaande gaswinning.
- *P5: Verbeteren reservoir management*
Het ontwikkelen en toepassen van een integrale managementaanpak voor geologische formaties in Nederland wanneer vele doubletten van verschillende operators uit dezelfde formatie gaan produceren. De kennis en ervaring uit de olie- en gasector toepassen op geothermie voor het op elkaar afstemmen van productie- en injectieniveaus in een reservoir met meerdere doubletten.

Afname & Systeemintegratie

- *A1: Toepassen combinatie aardgas en geothermie*
Het ontwikkelen van dubbele business cases (aardgas en geothermie) voor gecombineerde en kosteneffectieve exploratie en exploitatie van putten en locaties.
- *A2: Demonstreren lage temperatuur levering*
Het ontwikkelen en demonstreren van lage temperatuur aardwarmteprojecten ondieper dan 1.500 meter. Inzicht vergroten in beweging van het koudefront en de re-heat snelheid in ondiepere lagen. Demonstreren van een lage temperatuur geothermiebron (30-40°C) aangesloten op een lokaal warmtenet voor nieuwe gebouwde omgeving.
- *A3: Maximale benutting van de warmte*
Ontwikkelen van een voorbeeldproject voor het bereiken van een maximale uitkoeling door het trapsgewijs gebruik van de warmte door verschillende warmteafnemers (cascadering). Het zoeken naar een operationele setting waarin het maximaliseren van het aantal draaiuren mogelijk is.

- *A4: Toepassen slimme warmtenetten*
Het ontwikkelen en testen van warmtenetten waarbij vraag en aanbod nauw op elkaar worden afgestemd. Betere voorspelling van de warmtevraag waardoor de warmte efficiënter geleverd kan worden. Bijvoorbeeld toepassen van aanvullende technieken zoals warmtepompen voor het afdekken van de piekwarmtevraag.
- *A5: Toepassen opslagconcepten*
Het verder ontwikkelen en demonstreren van ondergrondse opslag, bijvoorbeeld Hoge Temperatuur Opslag (HTO) in zoute aquifers en opslag in ondergrondse holtes, bijvoorbeeld in een mijnschacht of een zoutcaverne. Het goedkoper maken van bovengrondse en ondiepe warmteopslag, bijvoorbeeld het Ecovat concept.
- *A6: Toepassen hybride netten*
Demonstreren van geothermie en andere warmtebronnen (bijv. biomassa, restwarmte) gekoppeld aan één warmtenet. Demonstreren van het aanpassen van een bestaand hoge temperatuur warmtenet voor geothermie en het omgaan met een temperatuur mismatch. Diversificatie van concepten van aardwarmte levering in de gebouwde omgeving. Bijvoorbeeld combinatie van warmteproductie, warmteopslag, warmteteruglevering (bijvoorbeeld met power-to-heat) in de ondergrond.
- *A7: Demonstreren hoge temperatuur levering*
Het demonstreren van een ultradiepe geothermiebron voor het produceren van hoge temperatuur aardwarmte voor levering aan de (lichte) industrie.
- *A8: Ontwikkelen systeemintegratie met andere energievormen*
Het ontwikkelen van systemen om de geproduceerde (resterende) aardwarmte te gebruiken bij het opwekken van andere energievormen zoals waterstof. En andersom waarbij overtollige elektriciteit wordt gebruikt om de buffers en aardwarmtereservoirs opnieuw op te warmen (power-to-heat). Onderzoek naar het gebruik van een overcapaciteit aan warmte voor koeling.
- *A9: Ontwikkelen combinatie CO₂ opslag en warmtewinning*
Het ontwikkelen van een project waarbij CO₂ wordt opgeslagen in dezelfde geologische formatie die ook voor geothermie wordt gebruikt doormiddel van het toevoegen van CO₂ aan het injectiewater. Hiervoor zal een beleidswijziging nodig zijn, om opslag van CO₂ in de ondergrond op land mogelijk te maken.

4 Impact van innovatiebehoefes

4.1 Impact en technische haalbaarheid

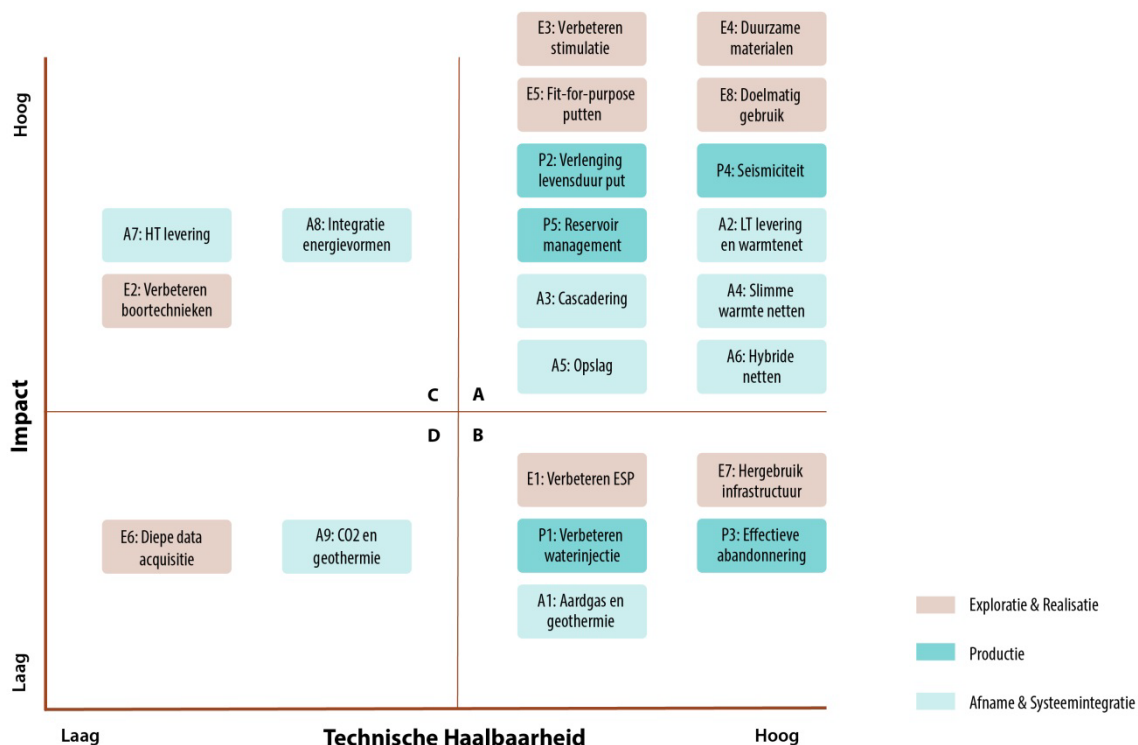
Alle uit de sector opgehaalde innovatiebehoefes kunnen bijdragen aan een versnelde opschaling van de Nederlandse geothermiesector en dienen in principe te worden uitgevoerd. Om te bepalen welke innovaties de grootste impact zullen hebben voor de opschaling tegen de minste inspanning is gekeken naar de impact en de technische haalbaarheid van de innovatiebehoefes. Op basis hiervan kan gekozen worden voor de innovaties die op de korte termijn veel kunnen bijdragen aan de opschaling, en kunnen de innovaties die ook belangrijk maar een wat lagere impact hebben later uitgevoerd worden.

De impact van een innovatie is bepaald op basis van de bijdrage aan de drie voorwaarden voor opschaling:

- Veilig en verantwoord;
- Vergroten toepassingsgebied;
- Kostenreductie.

De technische haalbaarheid van een innovatie is bepaald op basis van het TRL (Technology Readiness Level)¹ en de technische complexiteit van een innovatie voor de sector. Voor iedere innovatie is op basis van de informatie uit de interviews en het oordeel van een groep experts zijn de impact en technische haalbaarheid bepaald. Hieruit volgt een grafiek met een verdeling in vier kwadranten, zie figuur 2.

Figuur 2: Impact en technische haalbaarheid innovatiebehoefes



¹ Het Technology Readiness Level systeem geeft de mate van ontwikkeling van een technologie aan, waarbij TRL 1 staat voor technologie aan het begin van de ontwikkeling en TRL 9 voor technologie die technisch en commercieel gereed is. Onder andere de Europese Commissie heeft het TRL systeem geadopteerd en zet het in om specifieke fasen van technologieontwikkeling te stimuleren.

- **Kwadrant A**, deze innovaties hebben een hoge impact en een hoge technische haalbaarheid. Deze innovaties hebben een hoge potentie om op korte termijn bij te dragen aan de opschaling van de geothermie sector. Het zijn dan ook veelal innovaties met een redelijk hoog TRL-niveau, waarbij de weg tot verdere uitrol in de sector kort is.
- **Kwadrant B**, innovaties in dit kwadrant hebben een hoge technische haalbaarheid maar een wat lagere potentie om een grote impact te hebben op de opschaling van de Nederlandse geothermie sector.
- **Kwadrant C**, innovaties met een hoge impact maar een lage technische haalbaarheid zijn in dit kwadrant ondergebracht. Deze innovaties kunnen een behoorlijke impact hebben op de opschaling van de sector, maar zijn lastiger te realiseren doordat het veelal integrale en dus kostbare projecten zijn met meerdere spelers en risico's.
- **Kwadrant D**, deze innovaties hebben een wat lagere technische haalbaarheid en een lagere impact. Deze innovaties zullen ook bijdragen aan de opschaling van de geothermiesector, maar dienen niet de prioriteit te krijgen boven de innovaties uit de andere kwadranten.

4.2 Overheidsbijdrage voor innovaties

Innoveren is een complex en kostbaar proces, waarvan het niet altijd duidelijk is of de kosten zich later zullen terugverdienen. Doordat de Nederlandse geothermiesector nog vrij klein is en er beperkte middelen beschikbaar zijn voor innovatie is er voor het ontwikkelen van innovaties ondersteuning van de overheid nodig.

Per innovatiebehoefte is bepaald of de geothermiesector het onderwerp zelf gaat of kan ontwikkelen, met financiële steun van de overheid in meer of mindere mate. Dit is gedaan aan de hand van de volgende indicatoren:

- Lopende vraaggestuurde onderzoeken en verbetertrajecten;
- Te verwachten inspanning;
- Zicht op een commercieel positief resultaat.

Daarnaast zijn een aantal innovatiebehoefte technisch en/of organisatorisch te complex, commercieel niet direct aantrekkelijk of dienen sector breed te worden ontwikkeld en geïmplementeerd. Bij deze innovaties zal de overheid naast een financiële rol ook een initiërende en verbindende rol moeten spelen.

5 Innovatie routekaart

5.1 Innovatie routekaart

De routekaart voor technische innovaties ter opschaling van geothermie in Nederland is hieronder weergegeven. Op basis van een inventarisatie van de belangrijkste uitdagingen en knelpunten voor opschaling zijn de innovatiebehoefes bepaald, deze zijn weergegeven op de Y-as.

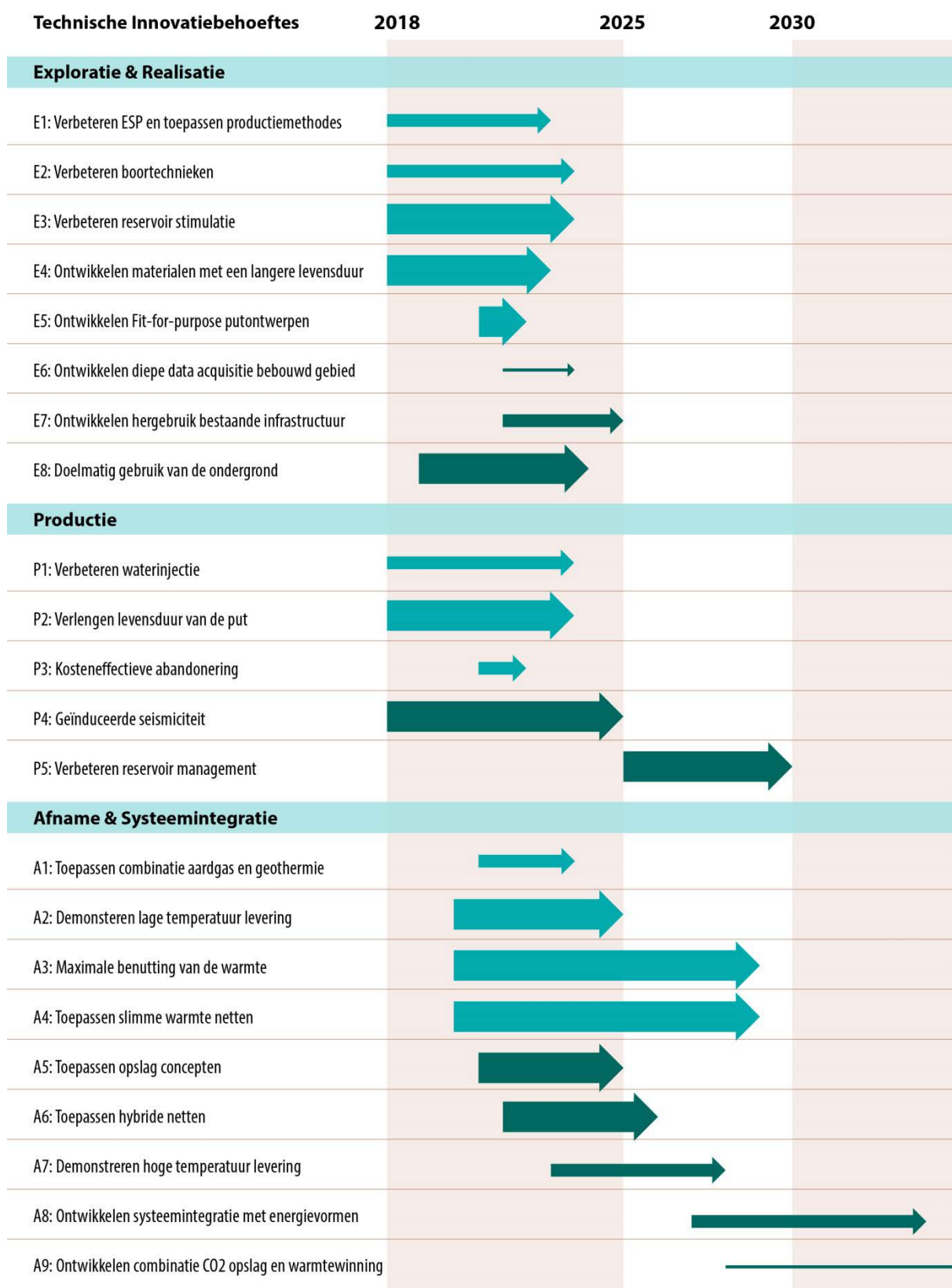
De innovatie routekaart geeft per onderdeel van het systeem de innovatiebehoefes aan, en wanneer die moeten worden opgepakt. Het uitvoeren van alle innovatiebehoefes wordt gezien als een belangrijke randvoorwaarde voor het versnellen en vergroten van het toepassen van geothermie bij de duurzame warmtevoorziening in Nederland.

Verder is gekeken naar de impact en de haalbaarheid van de innovatiebehoefes. De verwachte impact van een innovatie is indicatief weergegeven door variatie van de **pijlbreedte**. Een bredere pijl geeft aan dat de innovatie een hogere impact heeft, veelal op de drie voorwaarden: veilig en verantwoord, vergroten toepassingsgebied en kostenreductie. Indien een keuze of prioritering nodig is hebben dergelijke innovaties de voorkeur.

Een onderverdeling is gemaakt in vraaggestuurde innovatiebehoefes die uit de sector komen en niet-vraaggestuurde innovatiebehoefes die vanuit de overheid geïnitieerd of gestimuleerd moeten worden:

- De vraaggestuurde innovatiebehoefes zijn veelal innovaties waar al aan gewerkt wordt om actuele en urgente knelpunten mee op te lossen, met ondersteuning van de overheid, bijvoorbeeld het verlengen van de levensduur van de put. Deze innovatiebehoefes zijn weergegeven als **lichte pijlen**.
- Innovaties die nog niet direct commercieel aantrekkelijk zijn of van sector breed belang zijn hebben extra stimulans van de overheid nodig (donkerblauwe pijlen). Bij deze innovaties zal de overheid naast een financieel ondersteunende rol ook een belangrijke rol spelen als aanjager voor nieuwe ontwikkelingen, verbinder van sectoren en regievoerder over regionale en landelijke ondergrond ter ondersteuning van deze innovaties. Deze innovaties zijn weergegeven als **donkere pijlen**.

Figuur 3: Innovatie routekaart



5.2 Toelichting op routekaart

Exploratie en realisatie

Diverse innovaties zijn nodig om de huidige putten en systemen beter te kunnen ontwerpen en aan te leggen. Dit betreft de innovatiebehoefes:

- *(E1) verbetering van de productiemethoden (pomp);*
- *(E2) boortechnieken;*
- *(E3) reservoir stimulatie;*
- *(E4) ontwikkeling van materialen met een langere levensduur;*
- *(E5) ontwikkelen fit-for-purpose putontwerpen.*

Naar deze innovatiebehoefes zijn al diverse onderzoeken uitgevoerd of lopend, veelal vraaggestuurd met financiële steun van de overheid. Verwacht wordt dat deze innovaties kunnen worden voortgezet door de sector zelf met steun van de overheid in één van de bestaande onderzoeksprogramma's.

Ondersteuning door overheid wordt nodig geacht voor de innovatiebehoefes:

- *(E6) ontwikkeling diepe data acquisitie voor bebouwd gebied;*
- *(E7) hergebruik bestaande infrastructuur;*
- *(E8) doelmatig gebruik van de ondergrond.*

Het ontwikkelen van een andere energiebron voor het uitvoeren van diep data acquisitie in bebouwd gebied (E6), die minder overlast veroorzaakt voor de omgeving, wordt gezien als een technische ontwikkeling in een nichemarkt met lage commerciële waarde. De bereidheid om hier onderzoek naar te doen door de sector zelf wordt laag in geschat, waardoor een initiërende rol van de overheid nodig wordt geacht.

Het ontwikkelen van hergebruik van bestaande (olie- en gas) infrastructuur (E7) zal ondersteuning van de overheid nodig hebben. De overheid zal de verschillende sectoren met elkaar moeten verbinden door de juiste randvoorwaarden te scheppen voor hergebruik van bestaande infrastructuur (zoals gasputten en putlocaties) voor de geothermiesector. Naast technische uitdagingen zullen de veiligheidsrandvoorwaarden moeten worden afgestemd en geharmoniseerd.

Doelmatig gebruik van de warmte in de ondergrond (E8) is belangrijk om ook op langere termijn deze warmtebron te kunnen gebruiken. De overheid zal de regie moeten nemen bij de ruimtelijke ordening van de ondergrond, zoals door middel van STRONG. Voor de diverse geologische formaties voor geothermie in Nederland zullen ontwikkelplannen moeten worden opgesteld, om doubletinterferentie en inefficiënt gebruik van warmte te voorkomen. Dergelijke planning kan niet aan de geothermie sector zelf worden overgelaten en vraagt om centraal overzicht en aansturing.

Productie

Om de productie van aardwarmte verder te verbeteren zijn de volgende innovaties geïdentificeerd:

- *(P1) verbeteren waterinjectie;*
- *(P2) verlengen levensduur van de put;*
- *(P3) kosteneffectieve abandonnering.*

Divers onderzoek wordt al uitgevoerd gericht op het verbeteren van waterinjectie in de ondergrond (P1) en verlenging van de levensduur van de put (P2), met nadruk op het verminderen en voorkomen van corrosie en scaling tijdens de warmteproductie. Verder fundamenteel onderzoek naar de geochemische processen die optreden in de diverse geologische formaties in Nederland is nog wenselijk. Vergroting van het inzicht in de processen zal tot minder onverwachte situaties leiden. Methoden voor het kosteneffectief afsluiten

van geothermieputten (P3) zullen grotendeels uit de olie- en gassector kunnen worden overgenomen, mede omdat deze sector nu zelf voor deze opgave staat.

Verder onderzoek naar het voorkomen en vermijden van (P4) *geïnduceerde seismiciteit* door geothermieproductie is een van de grote onderzoekbehoefes die nog veel aandacht zal vergen de komende jaren. Dit onderzoek zal mogelijk mede onder regie van de overheid uitgevoerd moeten worden, aangezien het onafhankelijk en voor de hele samenleving acceptabel zal moeten zijn.

In de toekomst, als vele doubletten staan opgesteld in eenzelfde geologische formatie, zal (P5) *reservoirmanagement* nodig zijn. Aangezien de formaties geen concessies zijn gemanaged door één operator, zoals gebruikelijk in de olie- en gassector, zal afstemming tussen de operators nodig zijn. Het ontwikkelen van een reservoir management aanpak, met centrale dataverzameling en planning van warmteonttrekking, -opslag en mogelijk ook retourwarmte (re-heat) op regionaal niveau zal een initiërende rol van de overheid nodig hebben.

Afname en systeemintegratie

Het toepassen van geothermie als warmtebron voor duurzame warmtelevering aan de tuinbouw en (op beperkte schaal) gebouwde omgeving is op dit moment circa tien jaar bezig. Momenteel is de sector actief met het verbreden van de toepassingsmogelijkheden, waarbij de volgende vraaggestuurde innovatiebehoefes al deels worden uitgevoerd door de sector met ondersteuning van de overheid:

- (A1) *combineren aardgaswinning en geothermie;*
- (A2) *demonstreren lage temperatuur levering.*

Opgemerkt wordt dat het gecombineerd winnen van aardgas en geothermie (A1) vooral door nieuw toetredende operators (vanuit de olie- en gassector) wordt geïnitieerd. De gecombineerde aanpak kan leiden tot besparingen en een business case die de toepassing van geothermie makkelijker maakt. Het demonstreren van lage temperatuur levering (30-40 graden Celsius) (A2) aan de tuinbouw gebeurt momenteel in Zevenbergen. Dit concept dient verder gedemonstreerd te worden in de gebouwde omgeving. De verwachting is dat de sector hier voldoende opschalingspotentie in ziet om het verder zelf te gaan ontwikkelen met financiële ondersteuning van de overheid.

Op iets langere termijn zullen de volgende innovaties nodig zijn om verdere opschaling van duurzame warmte mogelijk te maken:

- (A3) *maximale benutting van warmte door cascadering*
- (A4) *het toepassen van slimme warmtenetten.*

De verwachting is dat ook hier de sector dit zal willen oppakken mits er voldoende financiële steun van de overheid beschikbaar is. De technologie voor deze innovaties is al deels voorhanden, echter het grootschalig toepassen is nieuw en zal enige demonstratieprojecten vergen om het vervolgens grootschalig te kunnen uitrollen.

Ondersteuning door de overheid wordt nodig geacht voor de volgende innovatiebehoefes:

- (A5) *toepassen warmte opslag concepten*
- (A6) *toepassen hybride netten*
- (A7) *demonstreren hoge temperatuur levering.*

Het grootschalig opslaan van hoge temperatuur water (HTO) in de ondergrond (A5) is nodig om de verschillen tussen warmteaanbod en -vraag beter te kunnen opvangen. De eerste demonstratieprojecten zullen met ondersteuning van de overheid gerealiseerd moeten worden.

Het demonstreren van hybride warmtenetten (A6), waarbij diverse warmtebronnen op een warmtenet worden aangesloten, zal naast technische uitdagingen zoals verschillende warmteprofielen, ook diverse

organisatorische uitdagingen met zich meebrengen. Bestaande warmtenetten, nu veelal gevoed met fossiele- en biomassawarmte, dienen geschikt gemaakt te worden voor het aankoppelen van een geothermiebron. De eerste demonstratieprojecten zullen met ondersteuning van de overheid gerealiseerd moeten worden.

Het toepassen van ultradiepe geothermie om zo hoge temperatuur warmte aan de lichte industrie te kunnen gaan leveren (A7) zal in de toekomst ook een belangrijke toepassingsverbreding van geothermie zijn. Gezien de onzekerheden en hoge kosten voor het ontwikkelen van dergelijke projecten zal ondersteuning van de overheid nodig zijn. De Green-Deal Ultradiepe Geothermie is beschikbaar voor het vooronderzoek, echter nog niet voor de realisatie van enkele demonstratiedoubletten.

Nog verder in de toekomst worden de volgende innovaties verwacht:

- (A8) systeemintegratie met andere energievormen;
- (A9) CO2 opslag in combinatie met warmtewinning.

Deze innovaties zullen ook ondersteuning van de overheid nodig zullen hebben. Het ontwikkelen van systemen waarbij warmtenetten gekoppeld worden aan het elektrisch net of waterstofsysteem (A8) en zodoende optimaal gebruikmaken van de beschikbare warmte en energie zal pas plaats kunnen vinden als de individuele systemen zelf verder zijn doorontwikkeld en op grotere schaal worden toegepast.

5.3 Innovatiebehoefte niet gedekt in onderzoek

Momenteel worden de volgende innovatiebehoefte niet of nauwelijks gedekt in een van de lopende onderzoeksprogramma's, dit betreft:

- Doelmatig gebruik van de ondergrond (E8);
- Verbeteren reservoir management (P5);
- Ontwikkelen systeemintegratie met andere energievormen (A8);
- Ontwikkelen combinatie CO₂-opslag en warmtewinning (A9).

Het wordt aanbevolen de innovatiebehoefte *doelmatig gebruik van de ondergrond (E8)* op korte termijn te gaan opnemen in een van de lopende onderzoeksprogramma's. De overige onderwerpen kunnen op iets langere termijn op de onderzoekagenda's worden geplaatst.

5.4 Eerste budget indicatie innovatiebehoefte

Een eerste budgetindicatie is bepaald voor de uitvoering van de innovatiebehoefte op basis van het te doorlopen ontwikkeltraject en de schaalgrootte. Deze budgetindicatie is bedoeld om enige richting te geven, en niet om individuele projecten op te beoordelen of te begroten.

Het budget voor het uitvoeren van de innovaties is onderverdeeld in vier klassen:

- Minder dan 1 miljoen (ontwerp, planning en technologie verbetering);
- 1 tot 10 miljoen (technologie verbetering, pilot- en demonstratieprojecten);
- 10 tot 50 miljoen (grootschalige demonstratieprojecten);
- 50 tot 100 miljoen (eerste grootschalige toepassingen).

In tabel 3 is een budget indicatie per innovatiebehoefte aangegeven.

Tabel 3: Eerste budgetindicatie uitvoering innovatiebehoeftes

Innovatiebehoefte	Budget indicatie			
	<1M	1-10M	10-50M	50-100M
E1: Verbeteren ESP en toepassen alternatieve productiemethodes		x		
E2: Verbeteren boortechnieken		x		
E3: Verbeteren reservoirstimulatie		x		
E4: Ontwikkelen materialen met een langere levensduur		x		
E5: Ontwikkelen fit-for-purpose putontwerpen	x			
E6: Ontwikkelen diepe data acquisitie voor bebouwd gebied		x		
E7: Hergebruik bestaande infrastructuur		x		
E8: Doelmatig gebruik van de ondergrond		x		
P1: Verbeteren waterinjectie		x		
P2: Verlengen levensduur van de put		x		
P3: Kosteneffectieve abandonnering	x			
P4: Geïnduceerde seismiciteit		x		
P5: Verbeteren reservoirmanagement		x		
A1: Toepassen combinatie aardgas en geothermie		x		
A2: Demonstreren lage temperatuur levering				x
A3: Maximale benutting van de warmte		x		
A4: Toepassen slimme warmtenetten		x		
A5: Toepassen opslag concepten			x	
A6: Toepassen hybride netten			x	
A7: Demonstreren hoge temperatuur levering				x
A8: Ontwikkelen systeemintegratie met andere energievormen				x
A9: Ontwikkelen combinatie CO2-opslag en warmtewinning		x		

De tabel hierboven geeft een eerste budget indicatie weer voor het uitvoeren van de 22 geïdentificeerde innovatiebehoeftes. Per innovatiebehoefte is er gekeken wat de totale kosten zijn om de innovatie (verder) te ontwikkelen en gereed te maken voor demonstratie. Deze kosten zullen deels (bij een voldoende financieel draagkrachtige markt) door de sector zelf gedragen moeten worden en een deel zal gefinancierd moeten worden door de overheid.

De meeste innovatiebehoeftes zijn gericht op het verbeteren van bestaande technieken, het toepassen en geschikt maken van bestaande technieken (uit andere sectoren) en het ontwikkelen van management aanpakken voor het veilig en verantwoord winnen van geothermie. Deze innovaties vergen een typisch

budget tussen de 1 en 10 miljoen euro. Het totale budget voor het uitvoeren van deze innovaties wordt geraamd op 15 tot 150 miljoen euro.

Innovatiebehoefte E5: Ontwikkelen fit-for-purpose putontwerpen en P3: Kosteneffectieve abandonering zijn innovatiebehoefte die vooral planning, ontwerp en technologie aanpassing omvatten. De gezamenlijke kosten voor deze twee innovaties worden geraamd op <2 miljoen euro.

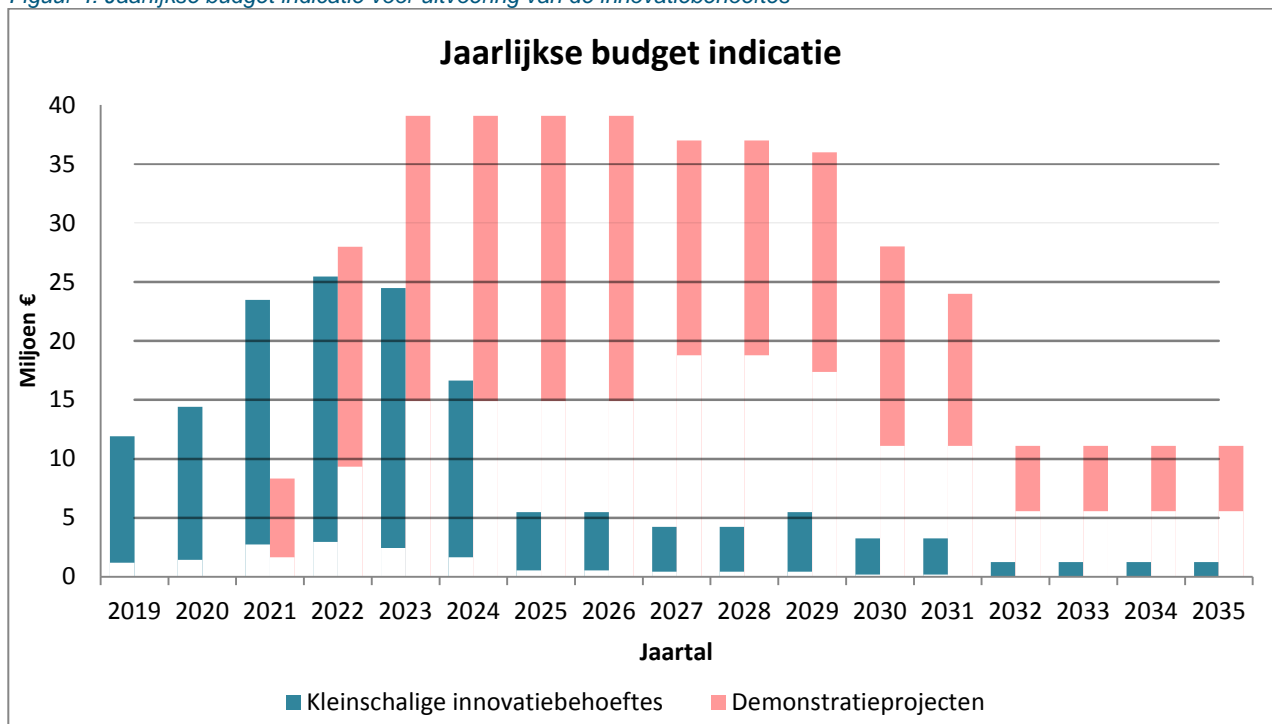
De innovatiebehoefte A5: Toepassen opslag concepten en A6: Toepassen hybride netten zullen grootschalig gedemonstreerd moeten worden. De gezamenlijke kosten om deze twee innovaties verder te ontwikkelen worden geraamd op 20 tot 100 miljoen euro.

De innovatiebehoefte A2: Demonstreren lage temperatuur levering en A7: Demonstreren hoge temperatuur levering zullen door middel van grootschalige toepassing gerealiseerd moeten worden. De kosten om deze twee innovaties door te ontwikkelen zijn dan ook zeer hoog, en worden geraamd op 100 tot 200 miljoen euro.

Het ontwikkelen van systeemintegratie met andere energievormen (A8) is een innovatiebehoefte met nog een laag TRL niveau waardoor er nog veel risico's en onzekerheden aan verbonden zijn. Er zal eerst fundamenteel onderzoek plaats moeten vinden alvorens deze innovaties getest en gedemonstreerd kunnen worden. Het benodigde budget om deze innovatiebehoefte compleet door te ontwikkelen wordt geraamd op 50 tot 100 miljoen euro.

In figuur 4 is het benodigde jaarlijkse budget voor het uitvoeren van de diverse geïdentificeerde innovatiebehoefte als een bandbreedte weergegeven. Onderscheid is gemaakt tussen de kleinschaligere innovatiebehoefte met een budget indicatie van maximaal 10 miljoen euro, en de grootschaligere demonstratieprojecten. Voor beide typen innovatiebehoefte is de onder- en bovengrens van het benodigde jaarlijkse budget aangegeven, gebaseerd op de budget indicaties uit tabel 3. De onderkant van de bandbreedte geeft het minimaal benodigde budget en de bovenkant het maximaal benodigde budget voor het uitvoeren van de innovatiebehoefte weer.

Figuur 4: Jaarlijkse budget indicatie voor uitvoering van de innovatiebehoefte



De kleinschalige innovatiehoefes rond technologie verbetering en pilotprojecten vergen een gemiddeld budget van ongeveer 5 tot 15 miljoen euro per jaar tot 2025. Voor het uitvoeren van de grootschalige demonstratieprojecten zal vanaf 2022 tot ongeveer 2030 een gemiddeld jaarlijks budget van 15 tot 25 miljoen euro benodigd zijn.

Het totale benodigde budget om de 22 geïdentificeerde innovatiehoefes door te ontwikkelen wordt geraamd op 200 tot 600 miljoen euro.

Bijlage

1. Geïnterviewde partijen

Partij	Geïnterviewde
HVC	Hans van Gorp
München Erdwerke GMBH	Achim Schubert
DAGO	Martin van der Hout en Dio Verbiest
Kennisagenda Aardwarmte	Jolanda Mourits
TKI Geo-energie	René Peters
TNO	Maurice Hanegraaf, Thirza van Daalen
TNO-AGE	Harmen Mijnlieff, John Zegwaard
TU Delft	Jan Dirk Jansen, Phil Vardon en David Bruhn
Universiteit Groningen	Rien Herber
RVO	Paul Ramsak
Vewin	Rob Eijsink
NAM	Eillard Hoogerduin Strating
Huisman	Remco van Ee
Stichting Warmtenetwerk	Jannes van Zanten
WEP	Henny Cornelissen

Bijlage

2. Overzicht recent voltooide en lopende onderzoeken

Onderzoeksprogramma	Onderzoek	Beschrijving
GEOthermica (RVO)	CAGE	Ontwikkeling en demonstratie van meerdere kostenbesparende en productie verbeterende installatietechnieken.
	Perform	Demonstratie van nieuwe en kostenbesparende technologieën en methoden zal de reductie van obstructieve elementen en weerstand tegen vloeistofinjectie mogelijk maken.
	HeatStore	Demonstratie van ondergrondse hoge temperatuur opslag met een focus op kostenreductie, risico reductie en optimalisatie.
	GeConnect	Ontwikkelen van flexibele koppeling in de put die resistent is tegen temperaturen van meer dan 200 °C.
	GeoFood	Demonstratie van de inzet van geothermie voor circulaire voedselproductie.
DEI/HE (RVO)	HIPE	Demonstratie van de stimulatietechniek radial jetting in verschillende gesteentes in Nederland.
	CRECCIT	Ontwikkeling van een dynamisch model voor een geothermieput met een casing uit composiet.
	G2G	Dit demonstratieproject behelst de ombouw van twee uitgeproduceerde gasputten van Vermilion Oil & Gas Netherlands nabij Middenmeer, Noord-Holland.
	Trias Westland	Demonstratieproject heeft onlangs naar een diepte van iets meer dan 4000 meter geboord en was daarmee het eerste project op die diepte in Nederland. (Beoogde reservoir was echter niet doorlatend genoeg, waarna het doublet is geïnstalleerd op een diepte van circa 2500 meter).
	GDD (Geothermal Directional Drilling)	GDD is het gestuurd boren met een gekantelde boorstelling, de toepassing van hulpbuizen om de gravelpack omstorting aan te brengen en de realisatie van lange horizontale filters.
	Vogelaer	Demonstratieproject voor het verwarmen van verscheidene kassencomplexen, ca. 240.000m ² .
TRECIT	Demonstratie van tijdbesparende en risico verlagende enhanced casing installation.	
Kennisagenda aardwarmte Kas als Energiebron	Onderzoek verwijdering testwater geothermie	Onderzoek met als doel gedragen oplossingen over hoe met testwater dient te worden omgegaan, vanuit technisch, maatschappelijk en milieutechnisch oogpunt.

	Onderzoek (milieu)impact inhibitoren aardwarmte	Bij dit onderzoek wordt in kaart gebracht met welke doseringen en voor welk doel inhibitoren worden toegepast, wat de risico's voor het milieu zijn en wat de mogelijke effecten zijn als deze stoffen in het milieu of drinkwater terechtkomen.
	Temperatuurgradiënt aardwarmte bij geologische breuksystemen	Deze studie richt zich op afwijkende temperatuurgradiënten nabij grootschalige breuksystemen in de onshore 'West-Netherlands Basin' en de 'Roer Valley Graben'.
	Regionale veldontwikkeling aardwarmte	Voor wederzijds begrip van doublet eigenaren en geothermische ontwikkelaars en voor een duurzaam gebruik van geothermische reservoirs, is onderzoek van het geothermische systeem op regionale schaal van essentieel belang.
	Laboratoriumtest Radial Jetting	In dit onderzoek wordt de radial jetting technologie getest in een lab in een situatie vergelijkbaar met Nederlandse geothermische omstandigheden op het gebied van reservoirgesteente en putafwerking.
	Verbetering putspecificaties i.v.m. RNES regeling	In dit project wordt de gegevens- en analysebehoefte van betrokken partijen in kaart gebracht en wordt een complete en duidelijke set specificaties gedefinieerd zodat interpretatieverschillen in de specificaties conform de put-test methode van TNO-AGE worden voorkomen.
	Microbiologie in Geothermische putten	Binnen dit project wordt aan de hand van een case studie de microbiologie in een geothermisch systeem met verstoppingsproblemen en H ₂ S vorming bestudeerd.
	Exploratie aardwarmte met 'slim hole' boren	Het onderzoek richt zich op de mogelijkheid van het boren van "slim hole" exploratie putten om zodoende meer informatie te verkrijgen over het geothermisch potentieel en het verkleinen van de risico's voor het boren van een geothermisch doublet.
	Definitie van ESP ontwerp	Onderzoek naar het selecteren, plaatsen en onderhouden van de productiepomp (ESP)
	Asset Management for Geothermal Energy Systems in the Netherlands	Identificeren corrosie bedreigingen en definieer materialen en methoden voor corrosie vermindering zodat al in het ontwerpstadium de juiste keuzes worden gemaakt met het oog op levensduur en kostenbeheersing.
	Omgaan met Radioactiviteit	Opstellen van richtlijn voor de omgang met radioactief materiaal.
	Omgaan met NORM	Opstellen van richtlijn voor de omgang met NORM (Naturally Occuring Radioactive Materials).
	Richtlijn put opschonen	Opstellen van richtlijn voor het opschonen van de put.
TKI Energie en Industrie	STEPS - Sustainable sTEam Production for induStry	Ontwikkeling van warmtepomp technologie die in staat is om stoom te generen bij een temperatuur tussen de 120-200 °C.
TKI Urban Energy	KoWaNet (Koele WarmteNetten)	Met dit project wordt een flexibele (modulaire) open koele warmtenetten (KWN) als haalbaar energieconcept onderzocht en uitgewerkt.
	WINST - Warmte-Infrastructuur Nederland met verlaagde Systeem Temperatuur	Het voor Nederland inzichtelijk maken van de technische en economische haalbaarheid en consequenties en beperkingen van een innovatieve warmte-infrastructuur.

NWO	Theoretical Estimates of Heat Losses in Geothermal Wells	Onderzoek naar de theoretische warmte verliezen in een geothermieput.
	De thermische en mechanische structuur van de lithosfeer: Implicaties voor aardwarmtebronnen	Deze PhD studie onderzoekt het totale potentieel aan aardwarmte.
	EGRplus – Combining geothermal energy extraction with enhanced gas recovery	EGRplus onderzoekt de combinatie van enhanced gas recovery (EGR) met de productie van geothermische energie.
(TU Delft)	Synergy potential of hydrocarbon production with geothermal energy	Deze projecten proberen het potentieel vast te stellen van het combineren van koolwaterstofproductie met het winnen van aardwarmte.
	Geothermal energy in the Mbeya region, Tanzania	Dit project zal de kennis vergroten over hoe je breuk en matrixstroom nauwkeurig kunt voorspellen om de hydraulische geleidbaarheid en vervolgens de geothermische boorputproductiviteit te vergroten.
	Finite Element method numerical simulations	Dit onderzoek is gericht op het verbeteren van het gebruik van geothermische bronnen met behulp van numerieke simulaties met de eindige elementenmethode.
Horizon 2020 (EU)	CHPM2030	Ontwikkeling van een nieuwe technologie die geothermische bronnen, extractie van mineralen en elektro-metallurgie combineert in een enkel proces.
	DEEPEGS	Het doel van het DEEPEGS-project is om de haalbaarheid aan te tonen van Enhanced Geothermal Systems (EGS) voor het leveren van energie uit hernieuwbare bronnen in Europa.
	DESCRAMBLE	De doelstellingen van het DESCRAMBLE project zijn het demonstreren van veilig boren van een diepe superkritische put, het verminderen van technische en financiële risico's en het verminderen van pre-boor onzekerheid in de exploratie van diepe geothermische putten.
	DESTRESS	Het algemene doel van DESTRESS is optimalisatie van stimulatiebehandelingen met minimale gevolgen voor het milieu, zoals seismische gebeurtenissen of verontreiniging van grondwaterreservoirs.
	GEMex	De belangrijkste doelstellingen van het GEMex-project zijn: Om de geothermische ontwikkeling in Mexico en daarbuiten te versnellen; Het risico van voorbietenwinning verminderen door een diepgaand inzicht in de geologische context van de hulpbron; Om geofysische beeldvorming en detectie van diepe reservoirstructuren te verbeteren door nieuwe benaderingen.
	GEOCOND	GEOCOND richt zich op de ontwikkeling van nieuwe pijpmaterialen, geavanceerde voegenadditieven en concepten, geavanceerde fase-veranderende materialen en systeem brede simulatie en optimalisatie.
	GEOTeCH	GeoTech test een ander boorconcept op basis van "dry auger methods" die minder kapitaalintensieve apparatuur vereisen, de veiligheid verbeteren, milieurisico's vermijden en de complexiteit en de kosten van het omgaan met watervoorzieningen en verontreinigd afval vermijden.

Kennisprogramma effecten mijnbouw (KEM)	Risk assessment UDG	Onderzoek naar de risico's rond het ontwikkelen van ultradiepe geothermie.
	Seismicity regarding water injection	Onderzoek naar een optimaal thermisch productieregime ter preventie van het genereren van seismiciteit tijdens waterinjectie ten gevolge van breuken en productie.
	Risks associated to drilling	Onderzoek naar de risico's verbonden aan het boren van geothermische putten en de typische levensverwachting van geothermische putten.

Deze lijst is opgesteld in nauwe samenwerking met RVO