

Play-based portfoliobenadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie

TNO

Het geheel is groter dan de som der delen

ebn

30 mei 2018

TNO: J.G. Veldkamp, J.D.A.M. van Wees, L.G. Brunner

EBN: A.P.A.M. de Jong, L.J. Heijnen, C. van Langen

Exemplaarnummer

| | |
|-----------------|--|
| Oplage | 500 exemplaren |
| Aantal pagina's | 76 (incl. bijlagen) |
| Co-productie | TNO en EBN |
| Projectnaam | Play-based portfoliobenadering geothermie |
| Projectnummer | 060.29819 |
| Fotografie | Stichting Platform Geothermie |

©2018 TNO en EBN

TNO en EBN danken de vertegenwoordigers van het Ministerie van Economische Zaken, het Staats-toezicht op de Mijnen, TNO-AGE, de Dutch Association Geothermal Operators, Stichting Platform Geothermie en Rijksdienst voor Ondernemend Nederland voor het becommentariëren van de inhoud van het rapport. Uiteraard nemen TNO en EBN de volledige verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke inhoud ervan.

©2018 TNO EBN. Elk onderdeel van deze publicatie mag zonder toestemming van TNO en EBN worden gekopieerd, gereproduceerd of verspreid, mits de materialen niet worden gekopieerd, gereproduceerd of verspreid voor commerciële doeleinden en op voorwaarde dat TNO en EBN vermeld worden als bron op alle kopieën en reproducties van het materiaal.

Samenvatting

Met dit rapport geven TNO en EBN de eerste inzichten in de voordelen van de toepassing van de play-based portfolio benadering van geothermie. De benadering streeft een optimale ontwikkeling na van de diepe ondergrond. Ze maakt gebruik van de meerwaarde van het in samenhang ontwikkelen van de publieke ondergrond, de warmtenetten en de bovengrondse warmtevraag. Het rapport laat zien dat op die manier het geheel groter is dan de som der delen.

Op dit moment heeft geothermie zich, mede dankzij ondernemende partijen in de glastuinbouw en de beleidsinstrumenten van de SDE+ en de RNES, weten te ontwikkelen tot een serieus ontluikende sector. In januari 2017 waren er in Nederland 16 doubletten gerealiseerd. Vanwege de relatief gunstige kostprijs staat geothermie volop in de belangstelling. De ontwikkeling ervan kan potentieel sterk versnellen. In de Staat van de Sector heeft Staatstoezicht op de Mijnen benadrukt dat dit wel op een veilige en verantwoorde wijze dient te gebeuren. Bovendien is het van grote delen van de ondergrond in Nederland nog onbekend of ze geschikt zijn voor geothermie. Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft in het kader van de energietransitie maatregelen aangekondigd om de geothermiesector te versterken en te versnellen, zoals aanpassingen in de Mijnbouwwet, het in beeld brengen van de nog onbekende ondergrond en een grotere rol van EBN.

Naar verwachting kan het toepassen van de play-based portfolio benadering substantieel bijdragen aan dit versterken en versnellen. Bij het toepassen ervan zijn nu zes voordelen onderscheiden. Deze analyse geeft een eerste inzicht in deze voordelen en zet ze, waar mogelijk, de waarde ervan in orde van grootte op een rij:

1. Geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling

Een geothermische play is een aardwarmtepotentieel gebaseerd op de aanwezigheid van water in een formatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden. De homogeniteit van de geologie binnen een play maakt dat de ondergrondkennis van het eerste project een sterk voorspelbare

waarde heeft voor een vervolgproject in dezelfde play. Het project de-riskt het vervolgproject. De voorspelbaarheidswaarde geldt nog sterker voor projecten binnen de nog homogener subplays. Bij een optimale play-ontwikkeling worden alle potentiële projecten in een (sub)play in samenhang ontwikkeld door de ondergrondgegevens, kennis en expertise van het eerste project naar alle vervolgprojecten mee te nemen. Het de-risikeffect brengt een substantiële geologische risicoreductie van de investeringskosten met zich mee en vertegenwoordigt een grote waarde. Hoe groter het herhaalpotentieel van vervolgprojecten in een (sub)play is, des te hoger de NPV (net present value) ervan is.

Op basis van de informatie uit ThermoGIS (2012) en de WarmteAtlas zijn in deze analyse drie geothermische hoofdplays geanalyseerd: de Jura/Krijt-play, de Trias-play en de Rotliegend-play. Deze zijn ingedeeld naar subplays op basis van geografische nabijheid, startkans en concentratie van de aanwezige warmtevraag. Binnen deze subplays is nagegaan hoeveel vraag er is en met hoeveel standaarddoubletten van 10 MW deze vraag in de subplay zou corresponderen. Het Dinantien en de Tertiaire zanden zijn nog niet meegenomen in deze eerste toepassing. Ook hiervoor geldt dat substantiële risicoreductie mogelijk is door optimale play-ontwikkeling.

Om de meerwaarde van de optimale play-ontwikkeling te kwantificeren is deze vergeleken met een stand-alone ontwikkeling waarin de kennis en informatie niet van project naar project wordt overgedragen. De meerwaarde is substantieel en bedraagt ongeveer € 2 mld op in totaal ongeveer 200 te ontwikkelen doubletten die samen zo'n 40 PJ (petajoule) genereren. De Jura/Krijt-play draagt € 940 mln bij aan waarde in zeven onderscheiden subplays met een herhaalpotentieel van ongeveer 288 doubletten. De Trias-play draagt ongeveer € 411 mln bij in elf onderscheiden subplays en een herhaalpotentieel van 198 doubletten. Het Rotliegend draagt € 664 mln aan waarde bij in zeven subplays met 276 doubletten aan herhaalpotentieel. Benadrukt wordt dat het standalone scenario zonder enige kennisdeling noch het optimale play-ontwikkeling scenario

met perfecte kennisdeling zich in de praktijk zullen voltrekken. Het substantiële waardeverschil laat met name het belang zien van het zo volledig mogelijk overdragen van ondergrondinformatie, kennis en expertise van het ene project aan het andere. Het laat ook zien dat als de play-benadering niet wordt toegepast en een vorm van stand-alone scenario prevaleert, de ontwikkeling van geothermie in bepaalde gebieden moeizaam of niet zal van de grond zal komen.

Verdere inzichten die volgen uit de analyse zijn:

- het herhaalpotentieel (H) in een subplay bepaalt samen met de startkans (P) en de onzekerheid van de startkans (O) de economische waarde van een bepaalde match tussen geologie en warmtevraag. Ook het geothermisch potentieel is afhankelijk van deze drie factoren;
- een groter herhaalpotentieel betekent dat het de moeite waard kan zijn gebieden met een lagere startkans en grote onzekerheid te exploreren. Het is dan ook de moeite waard meer misboringen te accepteren. Een hoog herhaalpotentieel (H) en hoge onzekerheid van de startkans (O) maken het de moeite waard om de werkelijke waarde van de startkans (P) te onderzoeken door middel van exploratie (E);
- door een play-benadering wordt een bij elkaar horende groep projecten in een subplay NPV-positief (of minder negatief) waar deze bij een stand-alone project in dezelfde play veelal negatief zijn. Hoe groter het herhaalpotentieel in een dergelijke groep, des te hoger de NPV. Uit het oogpunt van geologische risicoreductie en NPV is het van belang geothermieprojecten per (sub)play te benaderen en ontwikkelen;
- de play-benadering heeft een grote meerwaarde boven stand-alone ontwikkeling. Het is van belang zoveel mogelijk van deze meerwaarde te realiseren voor een optimale ontwikkeling van geothermie als competitieve, duurzame warmtebron.

De analyse in dit rapport is gebaseerd op enigszins verouderde en conservatieve aannames uit ThermoGIS (2012) en de WarmteAtlas. Grote gebieden van het Jura/Krijt, het Trias en Rotliegend zijn in deze analyse nog afgevalen vanwege de lage startkans. Het Dinantien en de Tertiaire zanden zijn nog niet meegenomen. De informatie over de ondergrond en de match met de warmtevraag en aan te nemen kosten is dynamisch van aard.

2. Voortdurend verbeteren door integrale projectontwikkeling

Het tweede voordeel van een play-based portfolio-benadering is die van het voortdurend verbeteren van de activiteiten om een geothermieproject te ontwikkelen. Door de activiteiten steeds in samenhang te analyseren en door te ontwikkelen, wordt de kwaliteit van de integrale ontwikkeling sterk verhoogd. De voortdurende verbetering volgt uit het systematisch meenemen van de gegevens, kennis en ervaring van de ontwikkeling van het eerste project naar de vervolgprouwen.

Omdat projecten in (sub)plays sterk vergelijkbaar zijn, kan een dergelijke systematiek ook op die basis worden ingericht. Voorwaarde om een dergelijke integrale projectontwikkeling op te zetten zijn geothermie-operators die geothermie als kernactiviteit meermalig ontwikkelen.

3. Kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie

Integrale projectontwikkeling maakt ook een sterke kostenreductie mogelijk ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling, door synergie, efficiëntie en standaardisatie. Het kan ook leiden tot opbrengstenverhoging door het optimaliseren van het aantal draaiuren, of de mate van uitkoeling. Die laatste categorie is in deze analyse nog niet meegenomen.

Door de activiteiten van de levenscyclus van een projectontwikkeling op een rij te zetten en de kosten in te schatten voor een stand-alone ontwikkeling ten opzichte van een ontwikkeling van 10 doubletten, 20 doubletten en 50 doubletten is door experts nagegaan wat voor kostenbesparingen mogelijk zijn. Deze inschatting is vervolgens toegepast op de aantallen te realiseren doubletten in de te onderscheiden subplays van de drie hoofdplays in het scenario van de 200 doubletten en 40 PJ. Dit leidt tot een gemiddelde kostenreductie van 26% ter waarde van € 1 mld.

Deze gehanteerde aannames kunnen hierbij als conservatief worden aangemerkt. Zoals dit rapport op basis van de voorlopige prognose van het geothermiepotentieel van 100 tot 300 PJ aangeeft, zijn naar verwachting veel meer doubletten mogelijk dan 200. Bovendien is een aantal voordelen, zoals betere uitkoeling of het stimuleren van productie nog niet meegenomen.

4. Optimaliseren van de bovengrondse warmtevraag- en infrastructuur

Waar de play-based benadering aangeeft hoe de ondergrond in samenhang kan worden ontwikkeld en de status en exploratiemogelijkheden aangeeft van de geothermiepotentie in de subplays, bepaalt de bredere warmtevraagportfolio en de verspreiding van de warmtenetten waar inpassing en opschaling van geothermie mogelijk zijn. Omdat zowel geothermie-doubletten als warmtenetten kapitaalsintensief zijn en lage operationele kosten hebben, is de ontwikkeling ervan gebaat bij schaalgrootte.

Competitieve optimalisatiemogelijkheden voor geothermie tegenover maar ook met andere warmtebronnen liggen in het creëren van schaalgrootte om de aanleg van warmtenetten rendabel te maken, het stap-voor-stap verduurzamen van de warmtebronnen en het juist combineren van base- en peakload, het zorgen voor elkaars back-up, het optimaliseren van de draaiuren en het in samenhang optimaliseren van de afstand van de bron naar het netwerk naar de vraag.

Om de ondergrondse en bovengrondse ontwikkeling van geothermie optimaal in samenhang te ontwikkelen, is een meer gedetailleerde analyse van warmtevraagportfolio's en mogelijkheid tot de ontwikkeling van warmtenetten nodig.

5. Mogelijkheid tot structurele R&D en innovatie

Omdat de sector zich nog in de beginfase van zijn ontwikkeling bevindt, hebben geothermie-operators nog geen R&D- en innovatie-afdelingen. Deze kunnen ontstaan als ze zich als meermalige operators doorontwikkelen met geothermie als kernactiviteit. Omdat zij verantwoordelijk zijn voor de gehele levenscyclus van een projectontwikkeling vormen zij een essentiële schakel voor het inrichten van R&D en innovatie, in samenwerking met de toeleverende industrie en de kennisinstellingen. Ook hier spelen opschaling en herhaalpotentieel een belangrijke rol.

Een samenhangend R&D- en innovatieprogramma zou zich moeten richten op de integrale analyse van de gehele levenscyclus van geothermieprojecten, met als doel het reduceren van de risico's en kosten en het verhogen van het rendement op de middellange en lange termijn. Op die manier kan geothermie zich ontwikkelen tot een competitieve, duurzame

warmtebron. Het is van belang om het onderzoek mede in te richten op de relevantie voor de Nederlandse hoofd- en subplays. Onderzoekers kunnen aansluiting zoeken bij andere onderzoeks-programma's gericht op activiteiten in de diepe ondergrond, zoals olie- en gaswinning. Daarnaast is R&D en innovatie gericht op de systeemintegratie van ondergrond en bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur van groot belang.

Met het opzetten van structurele en gerichte R&D en innovatie is nog een groot potentieel aan risico- en kostenreductie en rendementsverhoging te ontsluiten.

6. Financieringsvoordelen

Ten opzichte van de stand-alone ontwikkeling biedt een play-based portfolio benadering een aantal belangrijke financieringsvoordelen. Ten eerste vermindert de benadering de projectrisico's en -kosten en verhoogt het de kwaliteit en het rendement van de individuele projecten. Sterke geothermie-operators met geothermie als kernactiviteit zullen makkelijker aan financiering komen tegen relatief gunstigere condities.

Daarnaast zijn er financieringsvoordelen te behalen door een evenwichtige opbouw van grotere geothermieportfolio's met meerdere projecten. Het zorgt voor risicospreiding waarbij tegenvallers in het ene project worden opgevangen door andere goedlopende projecten. Daarnaast groeit het vertrouwen in de sector door professionalisering en uitbreiding van de financieringsmogelijkheden door toetredende investeerders met eigen en vreemd vermogen.

Hoewel het opbouwen van portfolio's met geothermieprojecten tijd kost, is het behalen van deze voordelen te versnellen door vormen van kruisinvesteringen. Geothermie-operators, maar ook investeerders met eigen en vreemd vermogen, kunnen hun te investeren vermogen ook samen spreiden over meerdere projecten. Op deze manier behalen ze direct een deel van de financieringsvoordelen. Ook delen partijen op die manier intensief de kennis van het ene geothermieproject met het andere. Kruisinvesteren kan in de geothermie sector nog tot grote voordelen en versnelling leiden.

Sneeuwbaaleffect en het benutten van de voordelen

De zes voordelen hangen sterk met elkaar samen. De optimale play-ontwikkeling gaat om het verkrijgen en delen van geologische en technische kennis om vervolgprijzen optimaal te de-risken. Het goed organiseren en benutten van deze kennis en expertise

wordt logischerwijs toegepast in een integraal projectontwikkelingsmanagementsysteem voor de hele levenscyclus van een project. Dit maakt het mogelijk om synergie, efficiëntie en standaardisatie te bewerkstelligen. Die leiden tot significante risico- en kostenreducties en tot verhoging van het rendement. De optimale aansluiting op en doorontwikkeling van de bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur zijn hier onlosmakelijk mee verbonden. Om te zorgen dat geothermie zich op de middellange en langere termijn ontwikkelt tot een competitieve, duurzame warmtebron is het van belang structurele R&D en innovatie in te richten in een goede samenwerking tussen de geothermie-operators en de kennisinstellingen. Een dergelijke organisatorische inrichting en ontwikkeling van geothermieportfoli'o's en -operators zal meer mogelijkheden bieden tot financiering tegen gunstiger condities. De zes verschillende voor- delen versterken elkaar, wat leidt tot een sneeuwbal- effect. Om dit effect te bewerkstelligen zijn sterke operators nodig die portfoli'o's opbouwen gericht op een groot herhaalpotentieel.

De meerwaarde van alle voordelen van de play-based portfoliobenadering wordt gecreëerd door het delen van alle informatie, kennis en expertise gedurende de gehele levenscyclus van een project. De mate van waardecreatie hangt af van hoe intensief deze worden gedeeld. In de huidige situatie vindt dit al tot op zekere hoogte plaats via de beschikbaarheid van de ondergronddata via het Dino-loket (www.dinoloket.nl), via kennisuitwisseling tussen de bestaande operators binnen DAGO-verband, in de Kennisagenda en met de kennisuitwisseling via Stichting Platform Geothermie. Intensievere vormen van het delen van gegevens, kennis en expertise in de vorm van samenwerkingsverbanden of kruis- investeren zouden een nog aanzienlijk groter deel van de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering kunnen ontsluiten.

Een voorlopige prognose van het geothermiepotentieel: 100 – 300 PJ

Het is van belang te benadrukken dat het scenario dat in deze analyse is gehanteerd van circa 200 doubletten en 40 PJ niet het geothermiepotentieel scenario vertegenwoordigt dat kan worden ontwikkeld. Het gebruikte scenario is gebaseerd op de voorhanden zijnde informatie, waaronder Thermogis (2012). Het is bedoeld om een eerste inzicht te krijgen in de orde van grootte van de toegevoegde waarde van de play-based portfoliobenadering.

Op basis van de huidige inzichten is naar verwachting de ontwikkeling van een aanzienlijk groter potentieel en aantal doubletten mogelijk, wat ook de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering weer verder vergroot. Het scenario op basis van de huidige inzichten laat een geothermiepotentieel zien van tussen de 100 a 300 PJ. De uitgangspunten van deze prognose zijn:

- de bandbreedte van het te realiseren potentieel voor geanalyseerde subplays (25–70 PJ);
- de verwachte update van ThermoGIS in de orde-grootte van tientallen PJ;
- het meenemen van het potentieel in de Tertiaire zanden en het Dinantien;
- het meenemen van de ontwikkeling van warmtenetten die de relevante warmtevraag sterk kunnen vergroten.

| | potentieel [PJ] | |
|---|-----------------|-----|
| | min | max |
| geothermisch potentieel, bestaande warmtevraag | | |
| ThermoGIS 2012 reservoirs (gehanteerd scenario van 40 PJ) | 25 | 70 |
| update ThermoGIS 2018 | 10 | >10 |
| ultradiepe geothermie | 25 | 50 |
| P<30 gebieden | 15 | 40 |
| dynamische effecten warmtevraag | min | max |
| groei warmtenetten | 15 | 25 |
| Hoge Temperatuur Opslag | 10 | 25 |
| verplaatsing warmtevraag (e.g. kasgebieden), transport warmte | 0 | 80 |
| prognose bruikbaar potentieel geothermie | 100 | 300 |

Het blijft belangrijk te benadrukken dat de uiteindelijke realisatie sterk afhangt van nadere exploratie en samenhangende ontwikkeling van de ondergrond, de warmtevraag en de warmtenetten. Bovenstaande prognose zal voortdurend blijven wijzigen op basis van nieuwe informatie over de voortgaande ondergrondse en bovengrondse ontwikkelingen en de daarbij horende stand der techniek.

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Samenvatting | 3 |
| 1 | Inleiding | 8 |
| 2 | Status ontwikkeling geothermie in Nederland | 11 |
| 2.1 | Inleiding | 12 |
| 2.2 | Huidige doubletten en vermogen | 12 |
| 2.3 | Stap-voor-stap ontwikkeling en ondersteunend beleid: RNES en SDE+ | 14 |
| 2.4 | Staat van de Sector Geothermie | 18 |
| 2.5 | Geologische potentie geothermie: ThermoGIS (2012) | 18 |
| 2.6 | Warmtevraag: de WarmteAtlas | 20 |
| 2.7 | Dynamisch karakter geothermiepotentieel in de exploratiefase | 21 |
| 3 | Play-benadering: de basis voor het benutten van portfoliovoordelen | 25 |
| 3.1 | Inleiding | 26 |
| 3.2 | Geothermische plays in de Nederlandse ondergrond | 26 |
| 3.3 | Geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling | 32 |
| 3.4 | Waardering optimale play-ontwikkeling versus stand-alone projecten | 37 |
| 3.5 | Waardering optimale play-ontwikkeling Jura/Krijt, Trias en Rotliegend | 40 |
| 3.6 | Betekenis waardering en gevoeligheidsanalyse | 43 |
| 4 | Overige vijf voordelen van de play-based portfoliobenadering | 47 |
| 4.1 | Inleiding | 48 |
| 4.2 | Voortdurende verbetering door integrale projectontwikkeling | 48 |
| 4.3 | Kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie activiteiten in levenscyclus | 50 |
| 4.4 | Optimalisatie met bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur | 55 |
| 4.5 | Mogelijkheid tot structurele opzet R&D en innovatie | 57 |
| 4.6 | Financieringsvoordelen (risicodeling, verlaging kosten financiering) | 60 |
| 5 | Het geheel is groter dan de som der delen | 65 |
| 5.1 | Inleiding | 66 |
| 5.2 | Play-based portfoliobenadering, zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie | 66 |
| 5.3 | Value of Information (VoI) volledig benutten | 70 |
| 5.4 | Dynamisch karakter geothermiepotentieel, een prognose met toepassing van de play-based portfoliobenadering | 70 |
| 6 | Referenties | 74 |

Inleiding

1

TNO en EBN zijn samen nagegaan in hoeverre het concept van de play-based portfoliobenadering de ontwikkeling van geothermie in Nederland kan versterken en versnellen. De benadering wordt ook gebruikt voor de optimale ontwikkeling van de ondergrond en bovengrondse infrastructuur bij olie en gas. Dit rapport geeft de eerste inzichten weer van de toepassing ervan op geothermie.

Dit rapport geeft op hoofdlijnen weer wat de play-based portfoliobenadering inhoudt, wat de voordelen ervan zijn en hoe die met elkaar samenhangen. Waar mogelijk wordt een kwantitatieve orde van grootte van de waarde van de voordelen gegeven. De play-based portfoliobenadering voor geothermie lijkt, net als bij de toepassing ervan voor de ontwikkeling van olie en gas, een veelbelovende aanpak die substantiële risico- en kostenreducties kan bewerkstelligen en kan leiden tot verhoging van de opbrengsten. Dit is van belang om geothermie grootschalig in te kunnen zetten als competitieve, duurzame energiebron voor de Nederlandse warmtevoorziening.

Omdat de play-based portfoliobenadering voor het eerst op geothermie wordt toegepast, is er sprake van voortschrijdend inzicht over de toe te passen aannames over de huidige en toekomstige ontwikkeling van geothermie. Dit rapport geeft dan ook de eerste inzichten weer van de toepassing ervan op geothermie. Het bouwt voort op een eerdere initiële analyse in powerpointvorm: 'Portfolio voordelen geothermie' (TNO en EBN, 2017). De benadering wordt momenteel ook toegepast in de Green Deal Ultradiepe Geothermie (UDG), de Green Deal Brabant en de Geothermie Alliantie Zuid Holland. Er is naar verwachting nog veel ruimte voor het verder uitdiepen van de voordelen. Om de benadering verder te ontwikkelen, werken EBN, Gasunie, CE Delft, IF Technology en Berenschot momenteel met verschillende partijen uit de sector aan de toepassing ervan in de analyse 'Opschaling geothermie in warmtenetten'. Ook TNO brengt haar specifieke expertise van de benadering in. Naar verwachting is deze analyse voor de zomer gereed.

De play-based portfoliobenadering voor geothermie onderscheidt nu zes voordelen. De meest fundamentele hiervan betreft de bijzondere geologische synergie tussen activiteiten in de diepe ondergrond: de play-benadering. De energiebron geothermie bevindt zich in de diepe ondergrond. Deze kent, anders dan bij andere duurzame energiebronnen, een geheel eigen – geologisch bepaald – ontwikkelproces voor de optimale exploratie en productie ervan. Optimale play-ontwikkeling zorgt voor een sterke geologische risicoreductie. De inrichting van de andere vijf voordelen van de play-based portfoliobenadering berust dan ook grotendeels op de ondergrondlogica van dit basisvoordeel. Wat een play en de play-benadering inhoudt, wordt toegelicht in hoofdstuk 3.

Dit rapport zet de zes voordelen van de play-based portfoliobenadering een voor een uiteen. Ze worden, waar mogelijk, kwantitatief gewaardeerd. Het is van belang te benadrukken dat de kwantificatie een inschatting van de orde van grootte betreft die is gemaakt op basis van de aangegeven aannames in dit rapport.

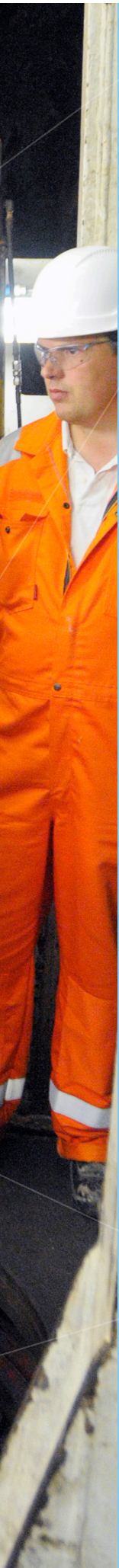
Dit rapport gaat alleen in op de effecten van de portfoliobenadering. Het gaat bijvoorbeeld niet in op mogelijke interferentie tussen verschillende ondergrond-activiteiten en de risico's en mogelijk waardeverlies als gevolg hiervan¹ – dit valt buiten de scope van het uitgevoerde onderzoek. Goede afstemming tussen alle activiteiten in de publieke ondergrond, zoals bijvoorbeeld bij vergunningverlening, is – zeker bij opschaling – van belang voor een veilige en verantwoorde ontwikkeling van geothermie. Ook hier zou de play-based portfoliobenadering een belangrijke bijdrage kunnen leveren.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- **hoofdstuk 2** schetst de huidige status van de ontwikkeling van geothermie;
- **hoofdstuk 3** legt uit wat een geologische en geothermische play inhoudt en welke geothermische plays er in Nederland zijn. Er wordt beschreven hoe de geologische risico's voor geothermie optimaal kunnen worden gereduceerd via de play-benadering. Vervolgens wordt de meerwaarde geanalyseerd van de play-benadering ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling van de geothermische plays in Nederland;
- **hoofdstuk 4** gaat in op de vijf andere voordelen van de portfoliobenadering die risico's en kosten sterk kunnen verminderen en de opbrengsten kunnen verhogen;
- in **hoofdstuk 5** worden de zes voordelen nogmaals op een rij gezet, waarbij concreet wordt ingegaan op de samenhang ertussen en welke meerwaarde dit biedt. Er wordt beschreven hoe deze meerwaarde kan worden gerealiseerd. Tot slot wordt een prognose gepresenteerd van het geothermiepotentieel dat kan worden ontwikkeld met toepassing van de play-based portfoliobenadering. Er wordt aangetoond dat voor de ontwikkeling van geothermie de waarde in samenhang veel groter is dan de som der delen.

¹Het kan hier bijvoorbeeld gaan over onvoldoende afstemming tussen projecten in de nabijheid die rooibouw kunnen plegen op elkaars warmtevoorraad of projecten die problemen ervaren waardoor mogelijk ook andere projecten niet verder ontwikkeld kunnen worden. Gezamenlijk optrekken hierin reduceert niet alleen kosten, maar voorkomt ook mogelijke interferentie gedurende de levenscyclus van de projecten (geschat op ongeveer 20 tot 30 jaar). Paragraaf 5.2 gaat hier verder op in.





Status ontwikkeling geothermie in Nederland

2

Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen de stand van zaken van de ontwikkeling van geothermie.

2.1 Inleiding

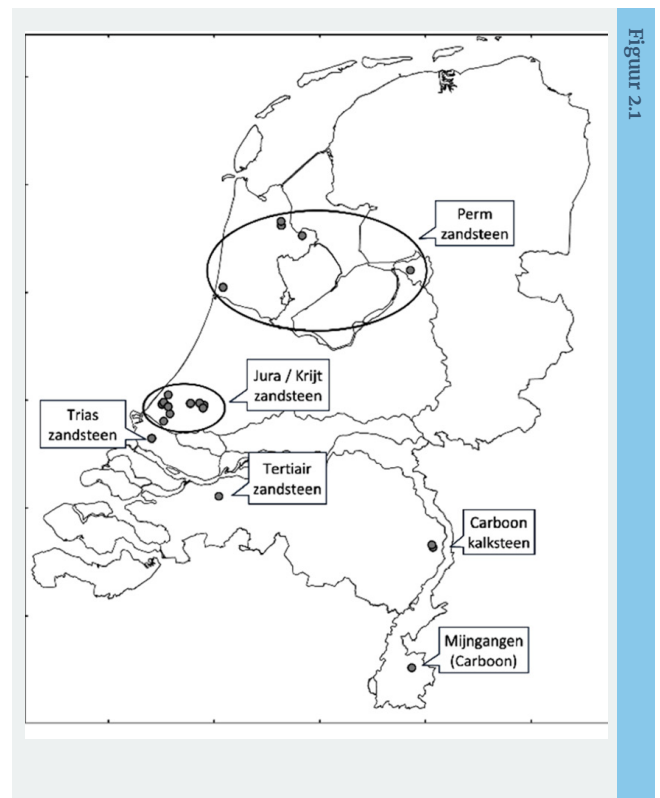
De bestaande doubletten en de omvang van de geproduceerde vermogens worden beschreven in paragraaf 2.2. Paragraaf 2.3 behandelt de huidige ontwikkeling van de sector en verwijst naar de twee belangrijkste pijlers van het ondersteunend beleid van de overheid: de RNES en de SDE+. Paragraaf 2.4 gaat kort in op het rapport 'Staat van de sector Geothermie' dat in 2017 door het Staatstoezicht op de Mijnen is uitgebracht en op de 'Beleidsbrief Geothermie' van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018). Het geothermievormingspotentieel zoals geïdentificeerd in ThermoGIS wordt beschreven in paragraaf 2.5, en de relevante warmtevraag op basis van de WarmteAtlas in 2.6. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een uitleg van de exploratieve fase waarin de ontwikkeling van geothermie zich bevindt en het dynamische karakter van het potentieel ervan (2.7).

Dit hoofdstuk geeft de uitgangssituatie weer van de sector op basis waarvan de play-based portfolio-benadering wordt toegepast in het hierop volgende hoofdstuk.

2.2 Huidige doubletten en vermogen

Geothermie is een relatieve nieuwkomer in Nederland. De eerste diepe² geothermieboring vond plaats in 1986 in Asten. Deze boring had een aantal Tertiaire reservoirs als doel. De boring heeft niet tot de aanleg van een doublet geleid. Het enig geschikt bevonden reservoir (Formatie van Breda) is sindsdien niet meer voor geothermische doeleinden aangeboord³. Het duurde hierna tot 2006 alvorens de tweede diepe geothermieboring werd uitgevoerd, in Bleiswijk. Deze was wel succesvol, evenals alle hierop volgende boringen. Het Jaarverslag Delfstoffen en Aardwarmte van het Ministerie van Economische Zaken gaat uitgebreid in op de aantallen geboorde aardwarmteputten en het geproduceerde vermogen. **Figuur 2.1** toont de locaties van de huidige doubletten. Per 1 januari 2017 waren 16 doubletten geboord (Ministerie van Economische Zaken 2017). Hiervan zijn er elf in afzettingen van Jura/Krijt-ouderdom, vijf van Rotliegend-ouderdom, twee van Dinantien-ouderdom en een van Trias-ouderdom. Het project Heerlen Mijnwater is een uitzondering,

hier wordt warm water geproduceerd uit ondergelopen mijngangen in gesteente van Carboon-ouderdom. Verder wordt momenteel een aantal nieuwe doubletten geboord, naar gesteenten van Rotliegend-, Trias- (Trias Westland reservoir bleek tight, gaat verder als Jura / Krijt doublet), Jura/Krijt- en Tertiair-ouderdom (Zand van Brussel, nog niet voltooid). Het gaat hierbij om conventionele geothermie met temperaturen van ongeveer 65-100 °C⁴, in gesteente dat van nature dusdanig gunstige eigenschappen heeft dat naar verwachting warm water in voldoende hoeveelheden geproduceerd kan blijven worden. Exploratie in andere reservoirs met mogelijk grote(re) potentie (zoals de dieper gelegen delen van de Trias en het Dinantien) vindt nog beperkt plaats.



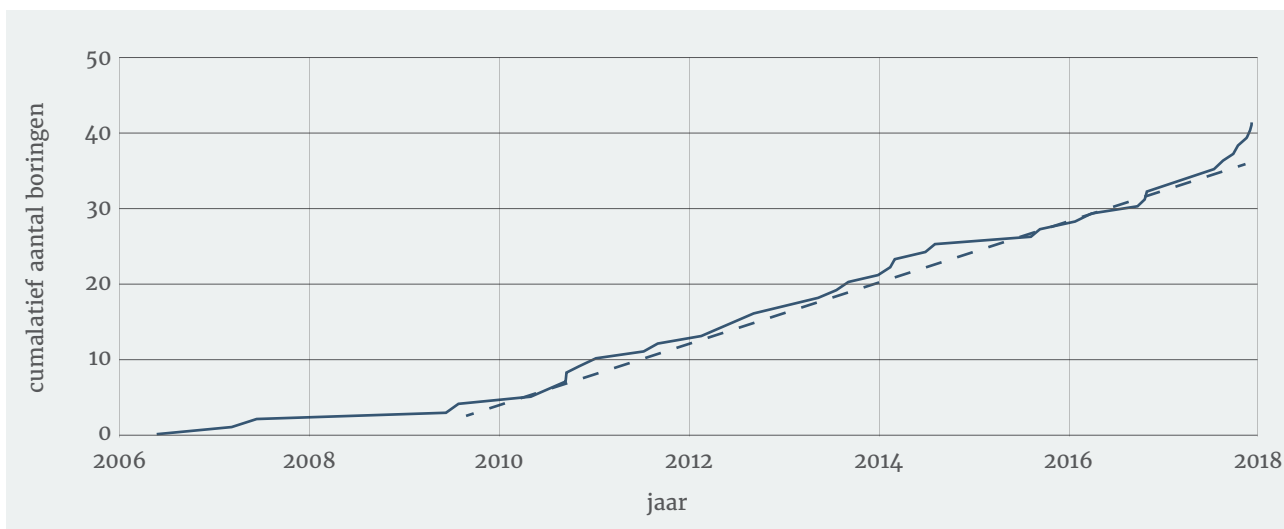
Figuur 2.1 Huidige doubletten (voltooid en in ontwikkeling).

De warmte van alle actieve doubletten wordt gebruikt voor het verwarmen van kassen. Een doublet wordt momenteel herontwikkeld en is gekoppeld aan een

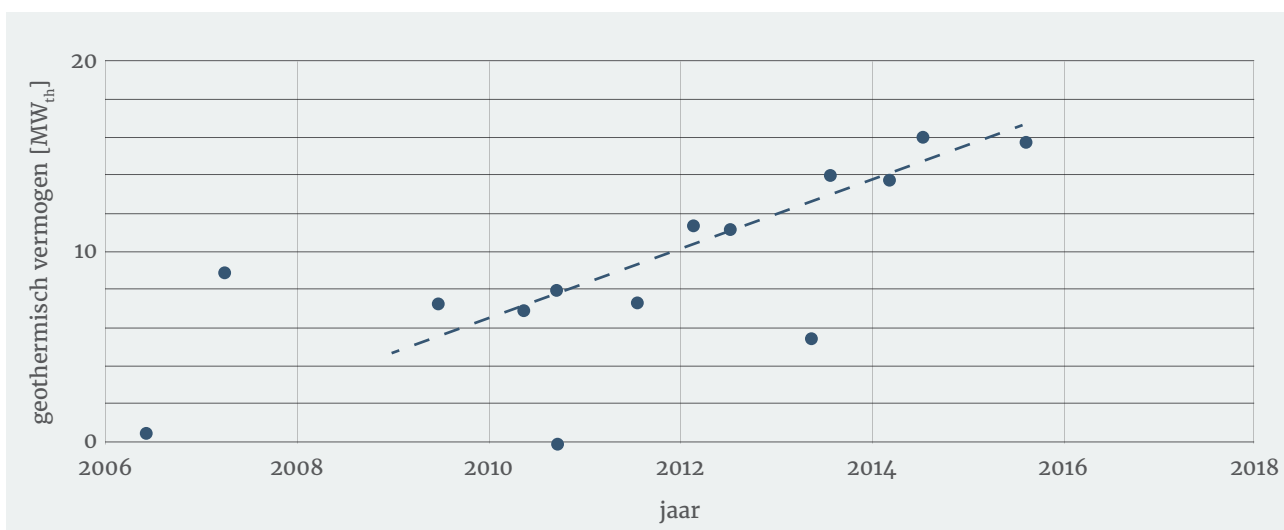
² Het dieptebereik van 'diepe' geothermie is niet strikt gedefinieerd. Hier wordt ruwweg in de Mijnbouwwet gestelde diepte van 500 meter onder het aardoppervlak aangehouden. De 35 tussen 2006 en 2017 gerealiseerde geothermieboringen hebben einddieptes tussen 1600 en 3100 meter onder het aardoppervlak.

³ De Tertiaire Voort, Vessem en Dongen Sand Members worden wel in ThermoGIS (2012) onderscheiden, maar de kans op een 10 MW_{th} doublet wordt voor het overgrote deel op minder dan 30% geschat.

⁴ Het doublet Zevenbergen, dat op dit moment geboord wordt naar het Tertiaire Zand van Brussel, zal een lagere productietemperatuur hebben.



Figuur 2.2 Cumulatief aantal boringen sinds 2006. (Een doublet bestaat in de regel uit twee putten; de drie putten CAL-GT-01, -02 en -03 vormen een triplet). Bron: Ministerie van Economische Zaken, 2017.



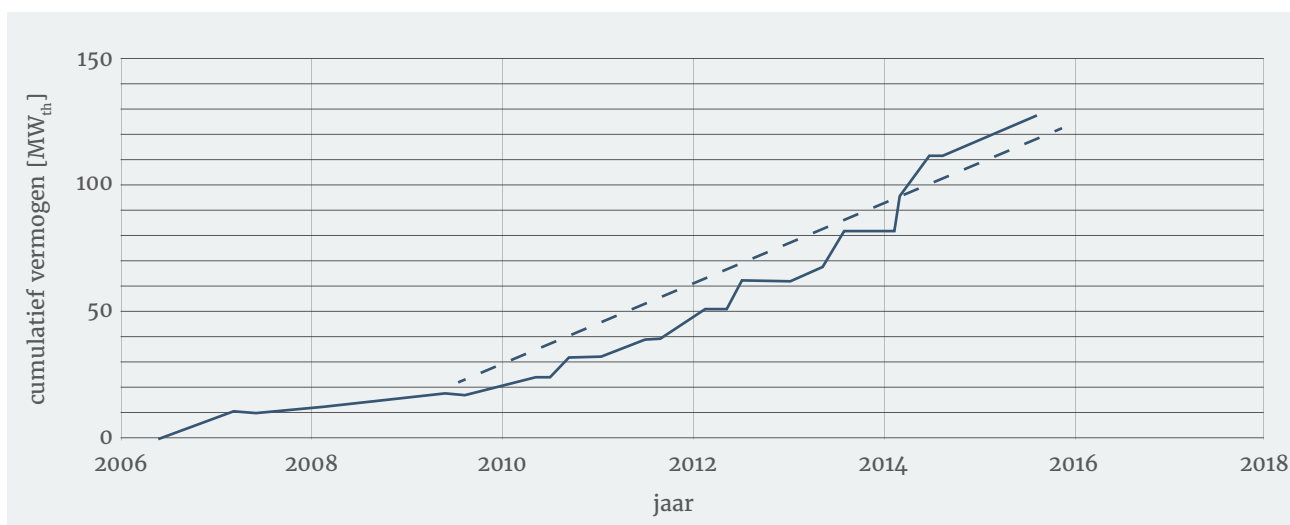
Figuur 2.3 Het gemiddeld vermogen per doublet is sinds 2006 toegenomen van 6 à 8 tot 14 à 16 MW_{th}. Van de nieuwste doubletten (na 2016) zijn (nog) geen vermogens bekend in het publieke domein. Bron: DAGO, Stichting Platform Geothermie, in EGECE 2017.

stadsverwarmingsnet in Den Haag. **Figuur 2.2** laat zien dat tussen 2010 en 2016 het tempo van ontwikkeling min of meer gelijk is gebleven. Vanaf 2017 treedt enige versnelling op.

Het gemiddeld vermogen per doublet is over de periode 2010 – 2016 toegenomen, (**Figuur 2.3**), en daarmee nam ook het groeitempo van het geïnstalleerd geothermisch vermogen toe (**Figuur 2.4**). Dit is vooral te danken aan de toegenomen boordiepte en dus een hogere temperatuur, en een groter debiet als gevolg

van een grotere diameter van de casing. De geïnstalleerde capaciteit eind 2015 was ongeveer 130 MW_{th}. Deze doubletten produceerden in 2016 2,681 PJ (Ministerie van Economische Zaken 2017; de gegevens over 2017 zullen in 2018 worden gepubliceerd in het Jaarverslag Opsporing Delfstoffen en Aardwarmte van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat). Dit is ongeveer een kwart van een in 2011 geformuleerde beleidsdoelstelling van 11 PJ voor 2020 (Ministerie Economische Zaken, 2011). Na 2016 lijkt het ontwikkeltempo ook in aantal wat toe te nemen.⁵

⁵ In 2017 zijn 9 geothermieboringen gerealiseerd: enkele boringen in Kwintshoek, Zevenbergen en Andijk, en doubletten in Middenmeer, Maasland en Lansingerland. Dit betekent een versnelling van 4 boringen per jaar ten opzichte van het gemiddelde tot 2016 van ongeveer 5 boringen per jaar. Ook in 2018 worden meer dan 5 geothermieboringen verwacht.



Figuur 2.4 Cumulatief geïnstalleerd vermogen. Van de nieuwste doubletten (vanaf 2016) zijn (nog) geen vermogens bekend in het publieke domein. Bron: DAGO, Stichting Platform Geothermie, in EGECE 2017.

2.3 Stap-voor-stap ontwikkeling en ondersteunend beleid: RNES en SDE+

2.3.1 Stap-voor-stap ontwikkeling door geologische, technische en financiële risico's

In 2012 was ongeveer 55% van het energieverbruik in Nederland warmte (Ministerie van Economische Zaken, 2015). Dit maakt geothermie aantrekkelijk, omdat hiermee direct warmte wordt geproduceerd. Geothermie is bovendien een relatief goedkope vorm van duurzame energie (Figuur 2.5). Dat betekent dat geothermie naar verwachting een grote rol kan vervullen in het verduurzamen van de Nederlandse energievoorziening. Desondanks komt de ontwikkeling vooralsnog stapsgewijs op gang. Dit komt mede door de geologische, technische en financiële risico's die nu nog bij de ontwikkeling komen kijken (Nederlandse Vereniging van Banken, 2015a en b).

Een belangrijk risico bij de ontwikkeling van geothermie is het geologische risico. De huidige boringen zijn voornamelijk geplaatst in die gebieden waar de ondergrond relatief goed bekend is. Daar zijn veelal waardevolle ondergronddata beschikbaar uit eerder opgenomen seismiek en veelvuldig geplaatste boringen door de olie- en gasindustrie.

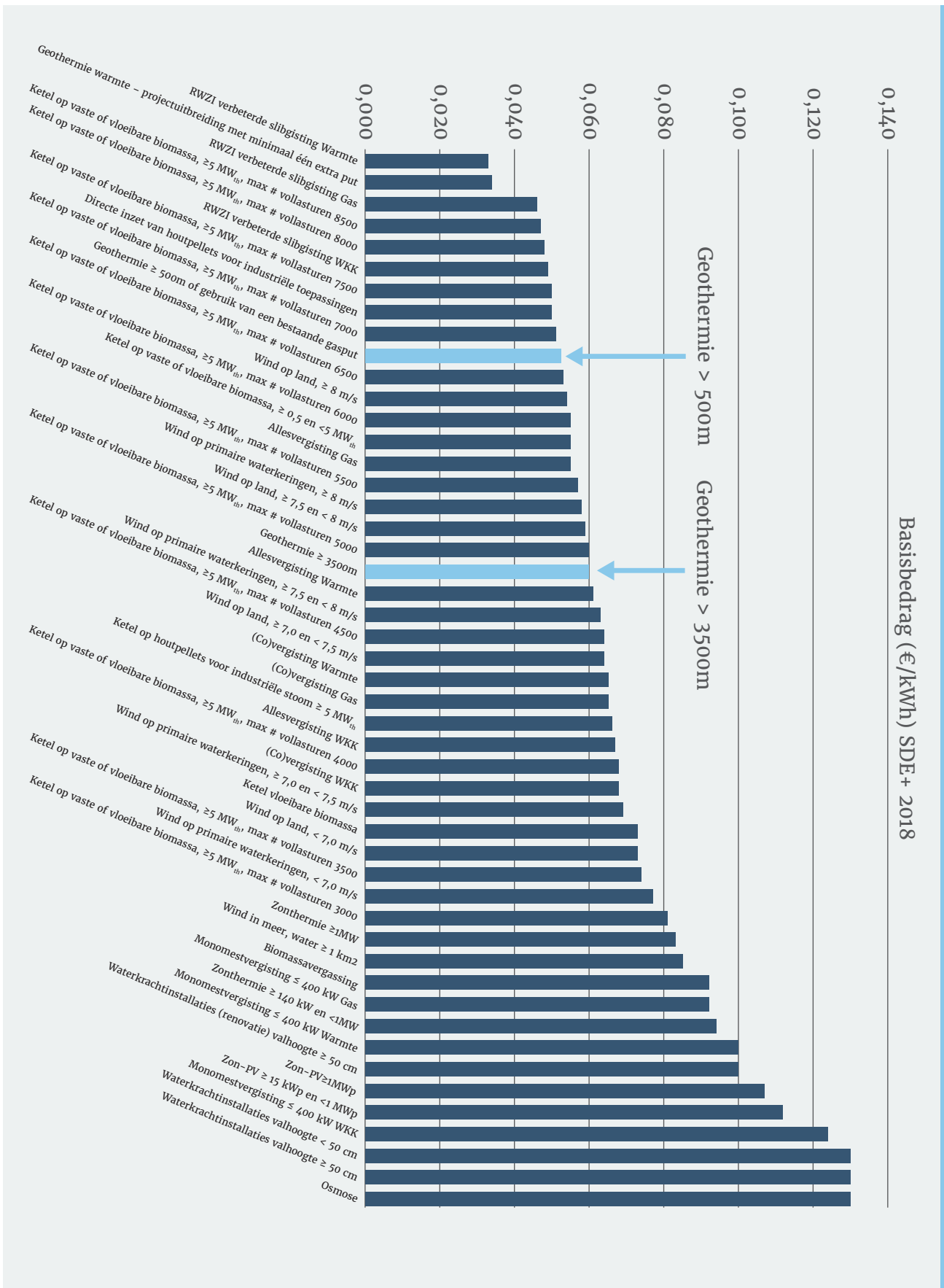
De boringen in deze gebieden zijn succesvol geweest in de zin dat het verwachte reservoir is aangetroffen, met dusdanig gunstige reservoir eigenschappen (dikte, porositeit, permeabiliteit, netto-bruto verhouding) dat een voldoende debiet behaald kan worden. Dit geeft het verwachte of benodigde

vermogen voor een gezonde business case waarop de hieronder beschreven RNES en SDE+ zijn ingericht.

In grote delen van Nederland is de ondergrond echter minder goed bekend. Het geologische risicoprofiel voor het ontwikkelen van een geothermieproject in die gebieden is hoog. In Figuur 2.7 betekent dit dat de kans op het realiseren van een doublet met een bepaald vermogen (in dit voorbeeld: 10 MW_{th}) klein is. Dit betekent ook dat de kans op een directe succesvolle ontwikkeling relatief klein is, omdat er maar beperkt gegevens over de eigenschappen van de ondergrond zijn. Exploratie van deze gebieden of plays geeft inzicht in het daadwerkelijke geothermie-potentieel en kan het risicoprofiel op succesvolle ontwikkeling sterk verlagen.

Een additioneel risico is het technisch operationele risico, gerelateerd aan bijvoorbeeld watersamenstelling (belangrijk voor corrosiviteit) of connectiviteit van het reservoir (belangrijk voor doorbraaktijd). De doubletten zijn op dit moment nog niet lang genoeg in gebruik om te weten of ze zonder problemen de komende 20 tot 30 jaar kunnen produceren, zoals momenteel verwacht wordt. Het is belangrijk een staat van dienst op te bouwen op het gebied van productie en reservoirmanagement door middel van goede monitoring.

Naast het onderkennen van de geologische en technisch operationele risico's is het ook van essentieel belang dat de warmte op een goede manier langdurig kan worden afgezet. Het bijeenbrengen



Figuur 2.5 Basisbedrag (kostprijs) per geleverde kWh voor gewone geothermie (tot 3500 meter diepte) en geothermie (>3500) SDE+ 2018

van grootschalige en langdurige warmtevraag kan moeilijk zijn – soms door het grote aantal betrokken spelers, soms door onduidelijkheid over welke duurzame warmtebron het meest geschikt is, soms door concurrentie met goedkope (semi)fossiele (rest) warmte of door gebrek aan bestaande infrastructuur zoals warmtenetten.

Naast geologische en technisch-operationele risico's en het afzetrisico kent geothermie ook financiële risico's. De ontwikkeling vereist een grote investering met een relatief hoog risicoprofiel voorafgaand aan de productie, en een lange doorlooptijd. De totale investering voor een conventioneel doublet bedraagt ongeveer 14-27 miljoen euro (mln). Dit omvat de benodigde voorstudies, geologische analyse en modellering, ontwikkel- en ontwerpkosten, vergunningstrajecten, booractiviteiten en bovengrondse investeringen in onder meer de warmtewisselaar. Investerings zijn sterk afhankelijk van de ondergrondgesteldheid, de bovengrondse configuratie en de situatie in de toeleverende markt. Paragraaf 4.2 gaat dieper in op de kosten van de activiteiten om een doublet te ontwikkelen. De ontwikkeling van een project duurt doorgaans enkele jaren. De productie-fase wordt ingeschat op 20 tot 30 jaar.

De business case hangt mede af van deze kosten in verhouding tot het vermogen dat geproduceerd kan worden⁶. Het is belangrijk dat dit vermogen tijdens de levensduur van het doublet, ongeveer 20 tot 30 jaar, in stand blijft. Het te behalen vermogen is onzeker voor de boringen zijn uitgevoerd. Die onzekerheid vloeit voort uit de onbekendheid van de precieze waarden van de essentiële geologische parameters. Doordat het te behalen vermogen onzeker is, loopt de businesscase een zeker risico. Voor het boren begint, is er onzekerheid over de dikte, temperatuur en kwaliteit van het reservoir en dus over het te behalen vermogen. Deze onzekerheid wordt uitgedrukt in de vermogenverwachtingscurve. In **Figuur 2.6** heeft deze een verwacht vermogen (P50) van 8 MW_{th}. Dit vermogen wordt gehaald als de ondergrondeigenschappen van het beoogde reservoir voldoen aan de verwachting. Omdat er onzekerheid bestaat over de ondergrond, kan het vermogen hoger of lager uitvallen. De kans is 50% dat het te behalen vermogen lager is dan het verwachte vermogen, en ook 50% dat het te behalen vermogen groter is. Daarom

heet het verwachte vermogen ook wel de P50. Analooq hieraan is de kans in dit voorbeeld 90% dat het vermogen minimaal 6 MW_{th} is. Dit wordt de P90-waarde genoemd.

Om de risico's te beperken en de ontwikkeling van geothermie te versnellen, heeft de overheid twee belangrijke regelingen in het leven geroepen: de RNES en de SDE+. Deze worden uitgevoerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Ze worden hieronder kort toegelicht. Meer informatie over de regelingen staat op de website van RVO: www.rvo.nl.

2.3.2 Regeling Nationale EZ-Subsidies voor Aardwarmte (RNES)

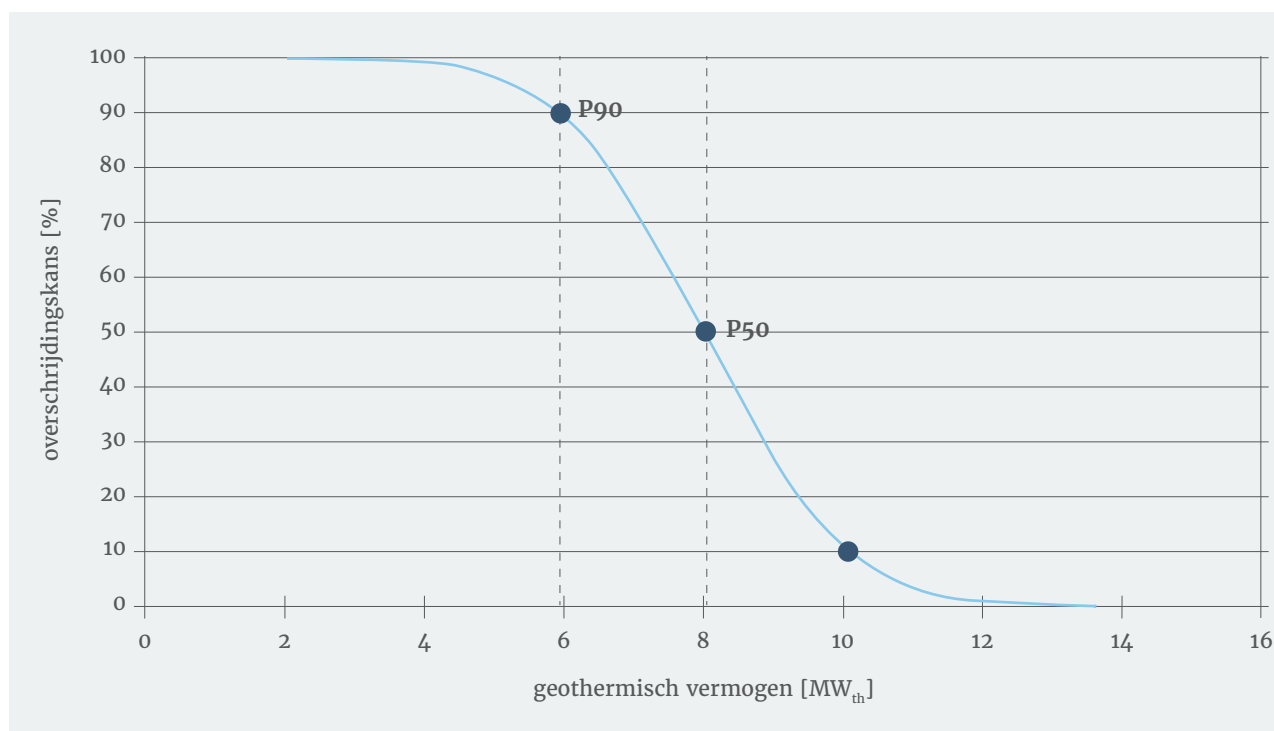
De 'Regeling Nationale EZ-Subsidies (RNES) – Risico's dekken voor aardwarmte' staat ook bekend onder de naam 'Garantiefonds'. De regeling is een verzekering voor de financiële consequenties van de geologische onzekerheid in het verwachte geothermisch vermogen bij een aardwarmteproject. Voor de verzekering is een premie verschuldigd van 7% van het maximale subsidiebedrag (RVO 2018). De regeling keert uit als een boring een tegenvallend resultaat heeft, gedefinieerd in termen van vermogen (MW_{th}) ten gevolge van tegenvallende geologische eigenschappen van het reservoir.

Om een subsidie bij het Garantiefonds aan te vragen, wordt vóór het uitvoeren van de eerste boring een inschatting gemaakt van het verwachte vermogen met behulp van de DoubletCalc software⁷. Modellering van de ondergrond maakt hier deel van uit. Hieruit volgt een vermogenverwachtingscurve voor het te verzekeren project zoals aangegeven in **Figuur 2.6**.

Het resultaat van de boring wordt als tegenvallend beschouwd als het geothermisch vermogen minder is dan het pre-drill ingeschatte P90-geothermisch vermogen, onder aanname van een overeengekomen pompdruk en injectietemperatuur. (De regeling gaat er dus van uit dat in 1 op de 10 gevallen de geologische gesteldheid van de ondergrond dusdanig tegenvalt dat de verzekering uitkeert). Nadat de boring is voltooid, moet de transmissiviteit van het reservoir (het product van netto dikte en permeabiliteit) vastgesteld worden met behulp van de resultaten van een putttest. Deze parameters worden

⁶ Het vermogen is gelijk aan de hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden aan het geproduceerde water, die hangt af van het temperatuursverschil (ΔT) en de hoeveelheid water die nuttig gebruikt kan worden. De hoeveelheid water die per tijdseenheid wordt geproduceerd is het debiet of flow rate (m^3/h).

⁷ DoubletCalc is een programma waarmee een indicatief vermogen van een geothermiedoublet berekend kan worden. Zie www.nlog.nl/tools.



Figuur 2.6 Voorbeeld verwachtingscurve voor het geothermisch vermogen.

vervolgens ingevuld in een DoubletCalc-scenario, waaruit de vermogenverwachtingscurve wordt berekend. Dit vermogen wordt dan vergeleken met het voor de Garantierегeling overeengekomen P90-vermogen.

Zoals gezegd zijn niet overal in Nederland evenveel gegevens van de diepe ondergrond beschikbaar. Een subsidie van het Garantiefonds kan overal in Nederland worden aangevraagd. In grote delen van Nederland is de P90-verwachtingswaarde van het vermogen echter zo laag, dat de kans op (in het voorbeeld van **Figuur 2.7** uit ThermoGIS) 10 MW_{th} klein is (Kramers et al. 2012). Een aangevraagd vermogen van 10 MW_{th} zal in een dergelijk geval niet in de Garantierегeling geaccepteerd worden, maar een kleiner vermogen mogelijk wel. In de praktijk is gebleken dat de regionale inschatting van **Figuur 2.7** conservatief is omdat deze gebaseerd is op een relatief grote bandbreedte van de onzekerheid (zie paragraaf 2.5). Voor lokaal uitgevoerde geologische studies blijkt dat de onzekerheid op projectniveau kleiner is. Dit benadrukt dat ThermoGIS niet gebruikt kan worden voor lokale schattingen.

2.3.3 Stimulering Duurzame Energie (SDE+)

SDE+ is de subsidie die de productie van duurzame energie stimuleert, zoals die van windenergie,

zonne-energie en ook die van geothermie. De kostprijs van duurzame energie is hoger dan de marktwaarde van energie uit conventionele, veelal fossiele bronnen. De totale kostprijs, het zogenaamde basisbedrag, wordt door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat in samenwerking met ECN bepaald aan de hand van de investerings- en exploitatiekosten en een redelijke winstmarge, gedeeld door de hoeveelheid geproduceerde energie. **Figuur 2.5** toont dit bedrag per duurzame energieoptie. Het correctiebedrag is de marktwaarde van de geleverde energie. Dit is de gemiddelde werkelijke energieprijis per kWh. De SDE+-bijdrage bedraagt het verschil tussen het basisbedrag en het correctiebedrag, uitgedrukt in euro's per geproduceerde hoeveelheid energie.

De SDE+ functioneert op basis van een kosteneffectief systeem. Hierbij wordt jaarlijks door de Minister van Economische Zaken en Klimaat het subsidiebudget vastgesteld voor het stimuleren van duurzame energieproductie. In dit systeem komen de goedkopere duurzame opties voor energieproductie door fasering eerder voor subsidie in aanmerking dan de duurder. **Figuur 2.5** laat zien dat de kostprijs voor geothermie ten opzichte van andere duurzame opties in de SDE+ relatief gunstig afsteekt.

Ook voor het verkrijgen van SDE+-subsidie is vooraf een inschatting nodig van het geothermisch vermogen. Ook deze wordt gemaakt met behulp van DoubletCalc. Het gaat in dit geval om het verwachte vermogen (P50), op basis waarvan een gezonde business case kan worden gemaakt.

Voor verschillende vormen van geothermie bestaan binnen de SDE+ aparte regelingen. De hoeveelheid subsidie voor 2018 is gemaximeerd op 7000 vollasturen per jaar (>3500 meter diepte) of 6000 (500–3500 meter).

2.4 Staat van de Sector Geothermie

In juli 2017 publiceerde de toezichthouder Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) het rapport 'De Staat van de Sector Geothermie'. SodM kijkt in dit rapport vanuit haar rol als toezichthouder kritisch naar de sector. SodM uit vooral zorgen over de mate van professionaiteit, en de eventuele consequenties van onoordeelkundig handelen. Milieu- en veiligheidsrisico's zouden niet overal voldoende herkend en beheerst worden, en wetgeving onvoldoende nageleefd. Het rapport wijst op een beperkte mate van kennisdeling, wat een goede ontwikkeling van een nog jonge en relatief onervaren sector in de weg staat. Het rapport wijst er verder op dat de sector in verhouding tot de kapitaalintensiviteit van de projecten en bijbehorende risico's relatief beperkt technisch en financieel draagkrachtig is. Dit heeft in een aantal gevallen geleid tot gebruik van inferieure materialen om kosten te besparen en een beperkte inzet van deskundig personeel. Ook wordt opgemerkt dat onderzoek naar seismisch risico in aardbevingsgevoelige gebieden zoals Limburg (natuurlijke aardbevingsgevoeligheid) en Groningen (aardbevingsgevoeligheid door gaswinning) veel meer aandacht verdient. Het Staatstoezicht ziet als belangrijkste aandachtspunten:

- terughoudendheid met betrekking tot geothermie-boringen in gebieden waar aardbevingen voorkomen;
- onverwacht aanboren van olie of gas;
- bodem- of drinkwaterverontreiniging;
- bedrijfsongevallen.

De Minister van Economische Zaken heeft op 5 september 2017 naar aanleiding van Kamervragen schriftelijk gereageerd op dit rapport (Ministerie van Economische Zaken, 2017). De Minister wijst onder meer op het in 2016 gestarte 'Verbeterplan geothermie' waarin bekeken wordt hoe het geothermiepotentieel op een veilige en verantwoorde manier kan worden

ontsloten om een belangrijke bijdrage te leveren aan de energietransitie. In februari 2018 is de Beleidsbrief Geothermie gepubliceerd, waarin een aantal te nemen stappen wordt aangekondigd:

- Het ontwikkelen van een roadmap voor de kennis- en innovatieopgaven binnen geothermie langs de lijnen veiligheid, kosten- en risicoreductie en systeemoptimalisatie.
- Zorgen voor een adequate aansluiting tussen alle fasen van innovatie (van fundamenteel, via industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling, pilotfase, demonstratiefase naar eerste uitrol).
- Kennis en innovatie op het gebied van geothermie adequaat aansturen om samenhang en afstemming plaats te laten vinden met gelijksoortige programma's in het buitenland en met innovatieprogramma's in de energiesector, met actieve betrokkenheid vanuit de geothermiesector.

Ook kondigt de Minister in de beleidsbrief wijzigingen in de Mijnbouwwet en de SDE+ aan, evenals het in kaart brengen van onbekende delen van de Nederlandse ondergrond en een grotere rol van EBN.

2.5 Geologische potentie geothermie: ThermoGIS (2012)

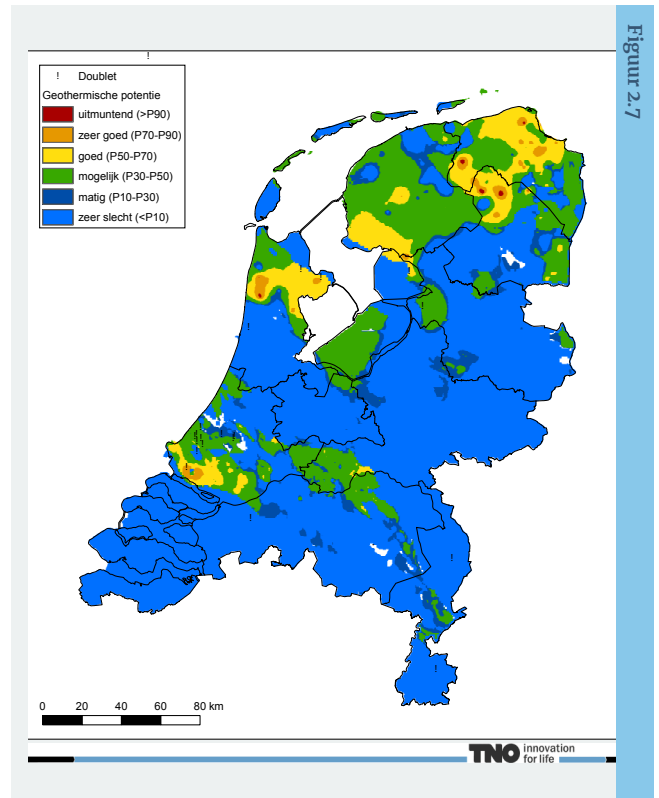
TNO heeft in 2012 voor het Ministerie van Economische Zaken de potentie van geothermie in kaart gebracht op basis van de startkans van geothermieprojecten in verschillende gebieden in Nederland (Kramers et al. 2012, www.ThermoGIS.nl). **Figuur 2.7** toont het beeld voor heel Nederland.

Door exploratie- en productieactiviteiten van de olie- en gasindustrie in de afgelopen 70 jaar is veel waardevolle informatie over de ondergrond verzameld. Veel van deze informatie wordt vanwege de Mijnbouwwettelijke verplichting na vijf jaar openbaar en beschikbaar gesteld aan het publiek op de website NLOG.nl (Nederlands Olie- en Gas Portaal). Hierdoor is de ondergrond in Nederland, in vergelijking met veel andere landen, relatief goed bekend. De potentie voor geothermie is met behulp van deze gegevens in kaart gebracht in ThermoGIS. Hierbij is gebruik gemaakt van landsdekkende kaarten van onder meer diepte en dikte van de watervoerende lagen, de temperatuur en de kwaliteit van de reservoirs om water te kunnen produceren en injecteren. Met name permeabiliteit speelt hierbij een belangrijke rol. Een gecombineerd geologisch en economisch model is gebruikt dat voorspelt hoe groot de kans is dat een doublet op een bepaalde plaats economisch 10 MW_{th}

kan produceren, gegeven de karakteristieken van de ondergrond (van Wees et al., 2012).

Figuur 2.7 laat gebieden zien waar de kans op het realiseren van een project van 10 MW_{th} minder dan 10%, 10-30%, 30-50%, 50-70%, 70-90% en meer dan 90% is. De laatste waarde is het P90-vermogen dat het uitgangspunt is van het Garantiefonds. In de ThermoGIS kaart zijn deze voor 10 MW_{th} gunstige P90-gebieden (in oranje) beperkt in omvang. ThermoGIS is gebaseerd op een regionale kartering met een relatief grote onzekerheid. Lokale studies voor de ontwikkeling van specifieke doubletten hebben aangetoond dat de kansen van ThermoGIS relatief conservatief zijn ingeschat – ook buiten de rood gekleurde gebieden van **Figuur 2.7** zijn P90-vermogens van meer dan 10 MW_{th} mogelijk. Ook buiten de ThermoGIS P90-gebieden zijn, op basis van lokaal beschikbare informatie projecten ontwikkeld met een RNES garantie – immers, ook voor kleinere vermogens kan een aanvraag worden ingediend bij het Garantiefonds. Op basis van nadere lokale studie kan toch een economische P90 worden vastgesteld.

De business case van een project wordt in het algemeen gebaseerd op het P90-vermogen. Dit betekent dat het project rendabel is, als tenminste het P90-vermogen wordt behaald. Als het P90-vermogen 10 MW_{th} is, dan zouden in principe alleen projecten in de rood gekleurde gebieden van **Figuur 2.7** in aanmerking komen voor opname in het Garantiefonds. Dit betekent echter niet dat andere gebieden op voorhand moeten worden uitgesloten voor de ontwikkeling van geothermie. In deze gebieden is de kans op een voldoende groot vermogen relatief klein maar niet nul. Veel van de huidige doubletten zijn tot dusverre ook geboord in gebieden waar de regionale potentie volgens de in 2012 berekende inschatting tussen P30 en P50 in ligt. Het doublet Heemskerk is geboord in een gebied waar de potentie in de visie van ThermoGIS v1.2 nog lager is. De beide doubletten in Californië liggen in een gebied dat niet in ThermoGIS v1.2 is opgenomen. In deze en andere gevallen was voldoende informatie aanwezig om het P90-vermogen van de business case in het Garantiefonds te verzekeren. In nog andere gevallen kregen de projecten extra overheidsondersteuning voor het nemen van het relatief grote ondergrondrisico. Dat er



Figuur 2.7

Figuur 2.7 ThermoGIS verwachtingskaart voor een vermogen van 10 MW_{th}. De kanscontouren zijn ingeschat op basis van een regionale kartering, en met een grote onzekerheid vergeleken met lokale studies voor doubletten. Bron: ThermoGIS 2012.

doubletten zijn ontwikkeld in gebieden met relatief lage startkansen geeft aan dat succesvolle exploratie mogelijk is in gebieden waar de ondergrond nog onbekend is.

Wanneer de ondergrond goed bekend is en de reservoirkwaliteit zeker slecht, is het P90-vermogen relatief laag. Het kan echter ook zo zijn dat het P90-vermogen laag is door gebrek aan (openbare) ondergrondinformatie⁸ (het verschil tussen P90 en P50 is dan groot). Gegeven de grote gebieden met een hoge onzekerheid kan worden gesteld dat geothermie zich nog grotendeels in de exploratiefase bevindt. Hierdoor kunnen de slagingskansen voor en de beschikbare potentie aan geothermie nog aanzienlijk veranderen.

TNO bereidt een actualisering van ThermoGIS voor. Deze zal naar verwachting in de loop van 2018 beschikbaar komen.

⁸ Verlaging van de RNES drempel tot P80 of P70 (oranje gebied in **Figuur 2.6**) zou op basis van deze inzichten hierin relatief weinig verandering brengen, omdat de uitbreiding van het gebied beperkt is. Het lijkt meer voor de hand te liggen om grotere gebieden op een kosteneffectieve manier te exploreren zie ook paragraaf 3.1.

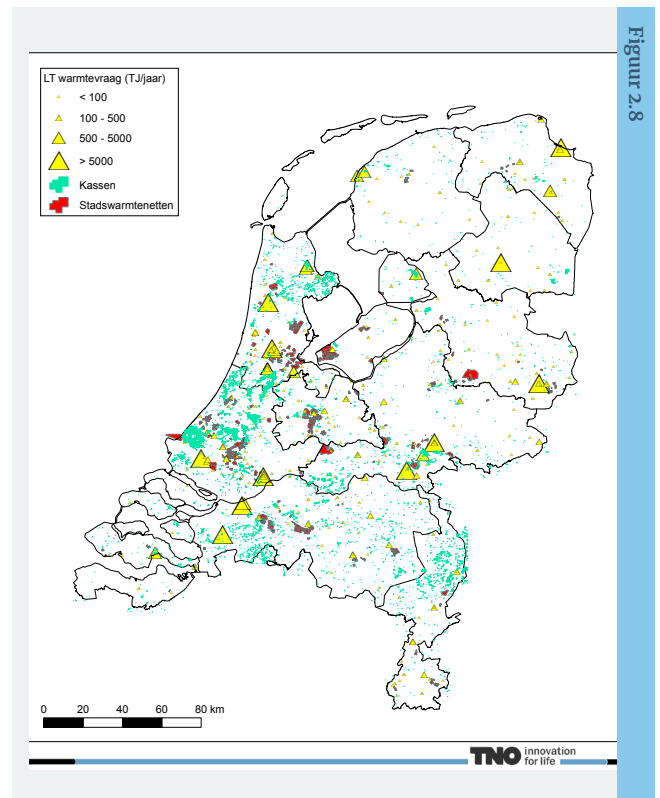
2.6 Warmtevraag: de WarmteAtlas

De inschatting van de ruimtelijke verdeling van de warmtevraag is in Nederland bekend dankzij de WarmteAtlas van RVO (www.WarmteAtlas.nl). Dit is voor zover bekend de enige publiek beschikbare landsdekkende bron van warmtevragers. In de WarmteAtlas is voor ruim 2200 puntbronnen geïnventariseerd wat de jaarlijkse CO₂-uitstoot is. Hieruit is vervolgens een warmtevraag berekend (TJ/jaar). De industriële warmtevragers worden onderscheiden in afvalverwijdering, bouw, chemische industrie, energiesector, handel, diensten en overheid, landbouw, overige industrie, raffinaderijen, riolering en waterzuiveringsinstallaties en verkeer en vervoer. Verder geeft de WarmteAtlas een overzicht van de huidige warmtenetten, en de hoeveelheden huizen die hierop aangesloten zijn.

Figuur 2.8 geeft de voor diepe geothermie relevante Lage Temperatuur (LT) warmtevraag in Nederland weer. Het temperatuurniveau voor de LT-industrie is daarbij niet gespecificeerd. Het gaat om de in de WarmteAtlas onderscheiden doelgroepen afvalverwijdering (AVI), riolering- en waterzuiveringsinstallaties, handel, diensten en overheid en landbouwbedrijven. De niet getoonde en ook niet meegenomen doelgroepen zijn chemische Industrie, raffinaderijen en 'overige industrie' waaronder onder meer papier en karton, petrochemische producten en zuivelproducten. Deze doelgroepen worden verondersteld behoefte te hebben aan warmte van een hogere temperatuur (tenminste 100 °C).

Op basis van de gegevens uit de WarmteAtlas en ThermoGIS kunnen de ondergrondse potentie en de bovengrondse warmtevraag worden gecombineerd. Een dergelijke match is in het volgende hoofdstuk gemaakt voor heel Nederland en voor alle gebieden $P > 30$ (**Figuur 2.9**). Het geeft voor beide gebieden de inschatting van de hoeveelheid jaarlijkse LT-warmtevraag weer. Om de warmtevraag af te leiden uit de WarmteAtlas zijn daarvoor de volgende aannames gehanteerd:

- alle bij bestaande warmtenetten aangesloten woningen zijn meegenomen. Er is aangenomen dat een doublet van 10 MW_{th} ongeveer 6000 woningen kan verwarmen⁹. Dit is grotendeels in lijn met de woningequivalente warmtevraag van 36 GJ (ENECO et al. 2017). N.B. van de utiliteitsbouw waren geen



Figuur 2.8 Lage temperatuur (LT) warmtevraag. Bron: RVO WarmteAtlas (warmtenetten en LT-industrie), Top10 Vector (kassen).

gegevens beschikbaar, deze zijn dus niet als potentiële warmtevraag in de analyse meegenomen. Dit leidt tot een onderschatting van het matched potentieel;

- de industriële LT-warmtevraag uit de WarmteAtlas van RVO is een op een meegenomen. Hiervan is de warmtevraag (TJ/jaar) gegeven. De hoge temperatuur (HT) warmtevraag kan niet worden gedekt door de LT-warmtebronnen die in ThermoGIS zijn geanalyseerd. Deze warmtevraag is daarom niet in de analyse van hoofdstuk 3 opgenomen. Dit leidt tot een onderschatting van het matched potentieel.
- alle bestaande kassengebieden zijn meegenomen (Kadaster Top10Vector). Er is aangenomen dat 1 doublet van 10 MW_{th} 20 hectare kassen kan verwarmen, dus 0.5 MW_{th} per hectare kas;
- op basis van de totale omvang van de warmtevraag is vervolgens bepaald hoeveel standaarddoubletten van 10 MW_{th} hierin kunnen worden ontwikkeld.

⁹ 6000 woningen voor een doublet van 10 MW_{th} is een ruwe schatting. 10 MW_{th} levert bij 6000 vollasturen ongeveer 0.2 PJ. Voor stadsverwarming wordt doorgaans aangenomen dat het aantal vollasturen lager kan liggen, ongeveer 3500. Dit komt overeen met ongeveer 0.13 PJ, dus een lager benodigd vermogen. Ook moet rekening worden gehouden verliezen in het netwerk van een stadsverwarming (ca 15%). Ook is in een stadsverwarming de uitkoelingstemperatuur hoger dan in een kas de efficiëntie is dus lager.

Hierbij is geen rekening gehouden met de ruimtelijke ordening van de ondergrond, noch met het warmteprofiel (i.e. de seizoensafhankelijke variatie van de warmtevraag). In de praktijk zou het beter zijn om slechts een deel van de warmtevraag met geothermie in te vullen (bijvoorbeeld 70%), zodat het systeem voldoende vollasturen kan maken. Wanneer de piekvraag geheel door geothermie moet worden gedekt, zal de prijs voor warmte flink toenemen doordat het piekvermogen slechts een deel van het jaar wordt ingezet.

De WarmteAtlas geeft een goede, eerste inschatting van de warmtevraag. Regionale en lokale informatie kan deze, nu en in de toekomst, nog aanscherpen. Hierdoor verandert de warmtevraag:

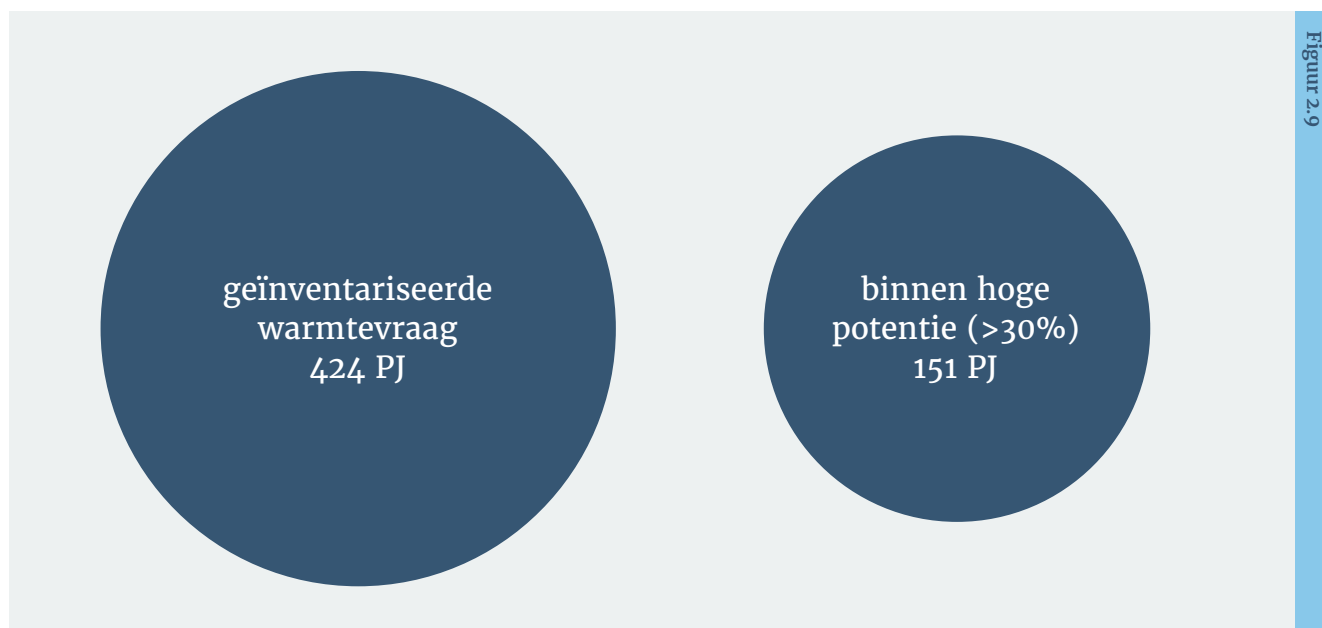
- de locatie van de warmtevraag kan wijzigen bijvoorbeeld doordat kassen, huizen of industrie worden bijgebouwd of verplaatst;
- nieuwe warmtenetten kunnen worden aangelegd;
- de aard van de warmtevraag kan veranderen door betere isolatie of de inzet en/of opwaardering van warmtepompen;
- een verandering in het warmte-aanbod, bijvoorbeeld het sluiten van een restwarmtebron, of een verandering van de prijs van warmte, kan ervoor zorgen dat de aard van de match tussen ondergronds aanbod en bovengrondse vraag beter of minder gunstig wordt;

- de warmtevraag van nieuwbouw is veel lager (grootte en temperatuur) dan van bestaande bouw. Zo kan het antwoord op de vraag of een warmtenet in de toekomst haalbaar is in een bepaald gebied veranderen, bijvoorbeeld omdat het minimum aantal aansluitingen dat nodig is voor een economisch rendabel warmtenet verandert;
- naar verwachting zal het aantal stadsverwarmingsnetten toenemen, maar het is onbekend waar en wanneer deze aangelegd zullen worden.

De mate waarin en de snelheid waarmee geothermie als bron van duurzame warmte de vraag naar warmte zal invullen, is nog ongewis. Een playbased portfolio benadering zal daaraan naar verwachting een substantiele positieve bijdrage kunnen leveren. Het vervolg van dit rapport licht dit toe.

2.7 Dynamisch karakter geothermiepotentieel in de exploratiefase

Op basis van eerdere analyse is een theoretisch ondergrondspotentieel voor geothermie in Nederland vastgesteld van 65.000 PJ (Kramers et al., 2012).¹⁰ Verder zijn er verschillende geothermiepotentieel-schattingen gerapporteerd die uiteenlopen van bescheiden bijdragen van iets meer dan 15 PJ in 2030 (ECN, 2017) tot mogelijke toekomst-schattingen van wel 1000 PJ per jaar (PBL, 2017).



Figuur 2.9 Geïnvesterende warmtevraag voor heen Nederland en voor de warmtevraag binnen gebieden met P>30 (ThermoGIS, 2012; WarmteAtlas).

Het is belangrijk te beseffen dat inschattingen van het geothermiepoteentieel een sterk dynamisch karakter hebben. Deze hangen namelijk af van tenminste drie belangrijke ontwikkelingen:

- in hoeverre het geothermiepoteentieel in de ondergrond aanwezig is. Grote delen van de ondergrond zijn nog onbekend en bevinden zich nog in de exploratiefase;
- hoe de (invulling van de) warmtevraag zich in de toekomst ontwikkelt, en waar de vragers geografische liggen ten opzichte van de geothermische bronnen;
- in hoeverre warmtenetten zich in de toekomst in Nederland ontwikkelen.

Op dit moment is van een beperkt deel in Nederland bekend waar geothermie nu met een relatief hogere kans $P > 90$ mogelijk is. In de andere gebieden is veel minder informatie over de ondergrond bekend. Daarom is het ook onzeker of de ondergrond geothermie mogelijk maakt. Dit betekent echter niet, zoals al aangegeven, dat geothermie niet mogelijk is of 'matig' of 'zeer slecht' is zoals ThermoGIS (2012) nu nog een groot aantal gebieden kwalificeert.¹⁰ Het betekent vooral dat er nog veel relatief kostbare exploratieactiviteiten plaats moeten vinden voor bekend is of de ondergrond geschikt is voor geothermie. De ondergrondeigenschappen, en derhalve het potentieel, zijn nog onbekend. Exploratieactiviteiten en nieuwe technologie kunnen op termijn ondergrond voor geothermie geschikt maken, die eerder ongeschikt werd geacht. Voor de ondergrond geldt dat exploratie en de ontwikkeling van technologie de omvang van het potentieel veranderen. Geothermie bevindt zich nog grotendeels in de exploratiefase. De volgende twee hoofdstukken gaan in op de mogelijkheid deze ondergrond te exploreren en ontwikkelen.

De omvang, temperatuur en aard van de warmtevraag zijn mede bepalend voor de mate van toepassing van geothermie. De ontwikkeling van een warmtevraagportfolio die past bij het ondergrondse aanbod vergroot de mogelijke toepassing. Dit hangt

samen met de vraag in hoeverre warmtenetten vraag en aanbod bijeen kunnen brengen, en hoe de vraag zich in de industrie, glas- en tuinbouw en gebouwde omgeving ontwikkelt. Enerzijds kan de warmtevraag groeien door deze via warmtenetten en cascadering bijeen te brengen of naar gunstige locaties te verplaatsen. Anderzijds kan de vraag ook afnemen door toepassing van alternatieven voor geothermie zoals betere isolatie, of andere warmtebronnen zoals restwarmte of biogas. Idealiter versterken verschillende warmtebronnen elkaar. Net als ThermoGIS is de WarmteAtlas onderhevig aan verandering, bijvoorbeeld door nauwkeuriger inzichten, de ontwikkeling van warmtenetten en technologische ontwikkeling.


Behalve de ontwikkeling van de ondergrond en de (invulling van de) warmtevraag, bepaalt ook het al dan niet grootschalig uitbreiden van de warmtenetten de omvang van het geothermiepoteentieel. Geothermie is gebaat bij grootschaligheid. Hoe meer grootschalige warmtenetten zich zullen ontwikkelen, des te vaker is geothermie een goede warmtebron om in het warmtesysteem in te voeren. Omgekeerd geldt ook dat geothermisch potentieel sterk bijdraagt aan de rechtvaardiging voor de ontwikkeling van een warmtenet.

¹⁰ Deze 65.000 PJ is op basis van de toen geldende economische en technische mogelijkheden berekend. Dit betrof de zogenaamde theoretische winbare hoeveelheid warmte voor kassen. De totale hoeveelheid warmte in de Nederlandse ondergrond, oftewel Heat In Place, is door Kramers et al. (2012) geschat op 821.000 PJ. Hiervan is ongeveer 33% potentieel winbaar wanneer economische en technische mogelijkheden en beperkingen van dat moment geen rol spelen, de zogenaamde Potential Recoverable Heat. Wanneer deze wel in aanmerking worden genomen, dan is de theoretisch winbare hoeveelheid warmte ongeveer 65.000 PJ voor de verwarming van kassen of 23.000 PJ voor die van warmtenetten, de zogenaamde Recoverable Heat. Uitgaande van verwarming van kassen zou dit bij een winningsduur van 100 jaar 650 PJ per jaar zijn. Voor warmtenetten zou dit 230 PJ per jaar zijn. Net als voor ThermoGIS 2012 komt van deze getallen naar verwachting in 2018 een update.

¹¹ Het dynamische karakter van de exploratiefase betekent ook dat de inhoud van ThermoGIS zich voortdurend ontwikkelt. Een actualisering van ThermoGIS die de versie uit 2012 vervangt is voorzien in 2018.







Play-benadering: de basis voor het benutten van portfoliovoordelen

3

Dit hoofdstuk beschrijft de basis van wat een play-based portfolio-benadering inhoudt.

3.1 Inleiding

De definitie van een play wordt uitgelegd. De belangrijkste geothermische plays in Nederland worden kort beschreven (3.1). De play-benadering verkleint geologische en daarmee samenhangende technische risico's in de ondergrond optimaal (3.2). Een methode wordt beschreven om de omvang van de risicoreductie te waarderen door de optimale play-ontwikkeling te vergelijken met de ontwikkeling van stand-alone projecten in de play (3.3). Deze waarderingsmethode wordt vervolgens toegepast op de verschillende plays in Nederland (3.4). Tot slot wordt de betekenis van de resultaten in het juiste perspectief gezet, mede aan de hand van een gevoeligheidsanalyse (3.5).

3.2 Geothermische plays in de Nederlandse ondergrond

De Nederlandse ondergrond is heterogeen van aard en kent een complexe variëteit in samenstelling die over een periode van honderden miljoenen jaren tot stand is gekomen. **Figuur 3.1** laat zien hoe sterk het voorkomen, de diepteligging en de dikte en aard van de gesteentelagen variëren. Gesteenten worden in de geologie hiërarchisch gegroepeerd. In volgorde van toenemende homogeniteit zijn dit (Super)Groep, Formatie en Member. Een Member bestaat uit een stapeling van gesteentelagen met bepaalde overeenkomende eigenschappen. Een Formatie bestaat uit één of meer Members, en een (Super)Groep uit een of meer Formaties. De verschillende gesteenten en hun ligging bepalen voor geothermie belangrijke karakteristieken

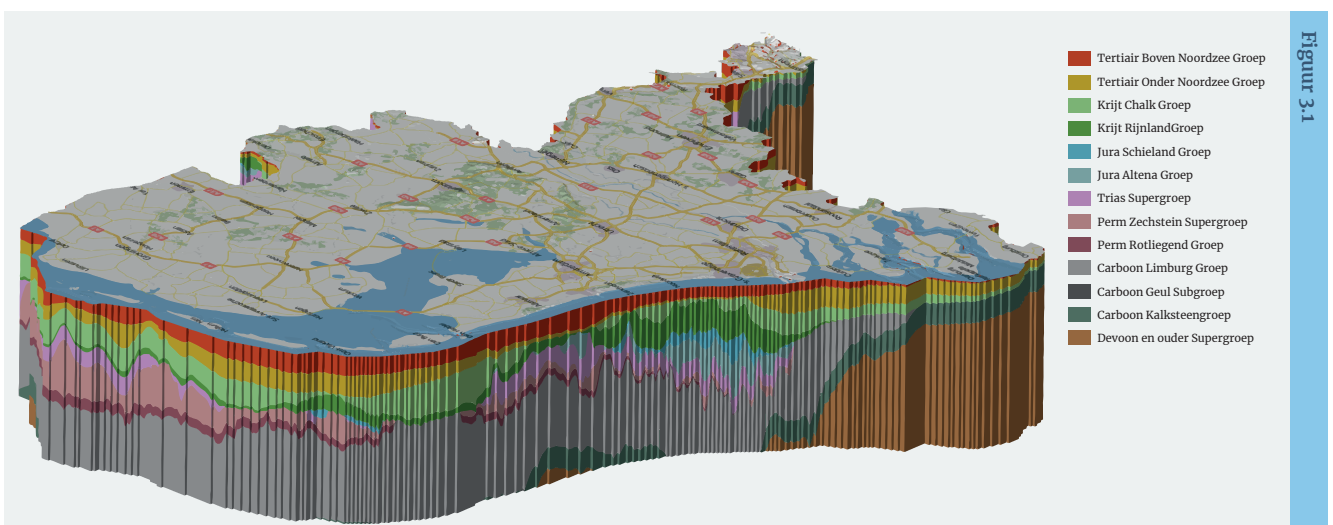
zoals de temperatuur (die sterk gecorreleerd is met diepte), dikte en permeabiliteit om zo mogelijk een zekere hoeveelheid formatiewater of debiet uit te produceren en injecteren. Binnen de heterogene ondergrond zijn op basis van samenstelling en ouderdom min of meer vergelijkbare, homogene gesteentelagen te onderscheiden. De lagen die op basis van hun eigenschappen geschikt zijn voor geothermie komen uit de volgende geologische tijdperken (van jong naar oud, vetgedrukt staan de meest gebruikte benamingen):

- Tertiair (Noordzee Groep);
- Krijt (Rijnland Groep/Vlieland Formatie) en Jura (Schieland groep/Nieuwerkerk Formatie);
- Trias (Main Buntsandstein Groep/Detfurth, Hardeggen, Volpriehausen Formaties)¹²;
- Perm (Rotliegend Groep / Slochteren Formatie);
- Carboon (Dinantien/Carboon Kalksteen Groep/ Kolenkalk/Zeeland Formatie).

Dit zijn de belangrijkste geothermische plays. Een geothermische play is als volgt gedefinieerd¹³:

Geothermische play: aardwarmtepotentieel gebaseerd op de aanwezigheid van water in een formatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden.

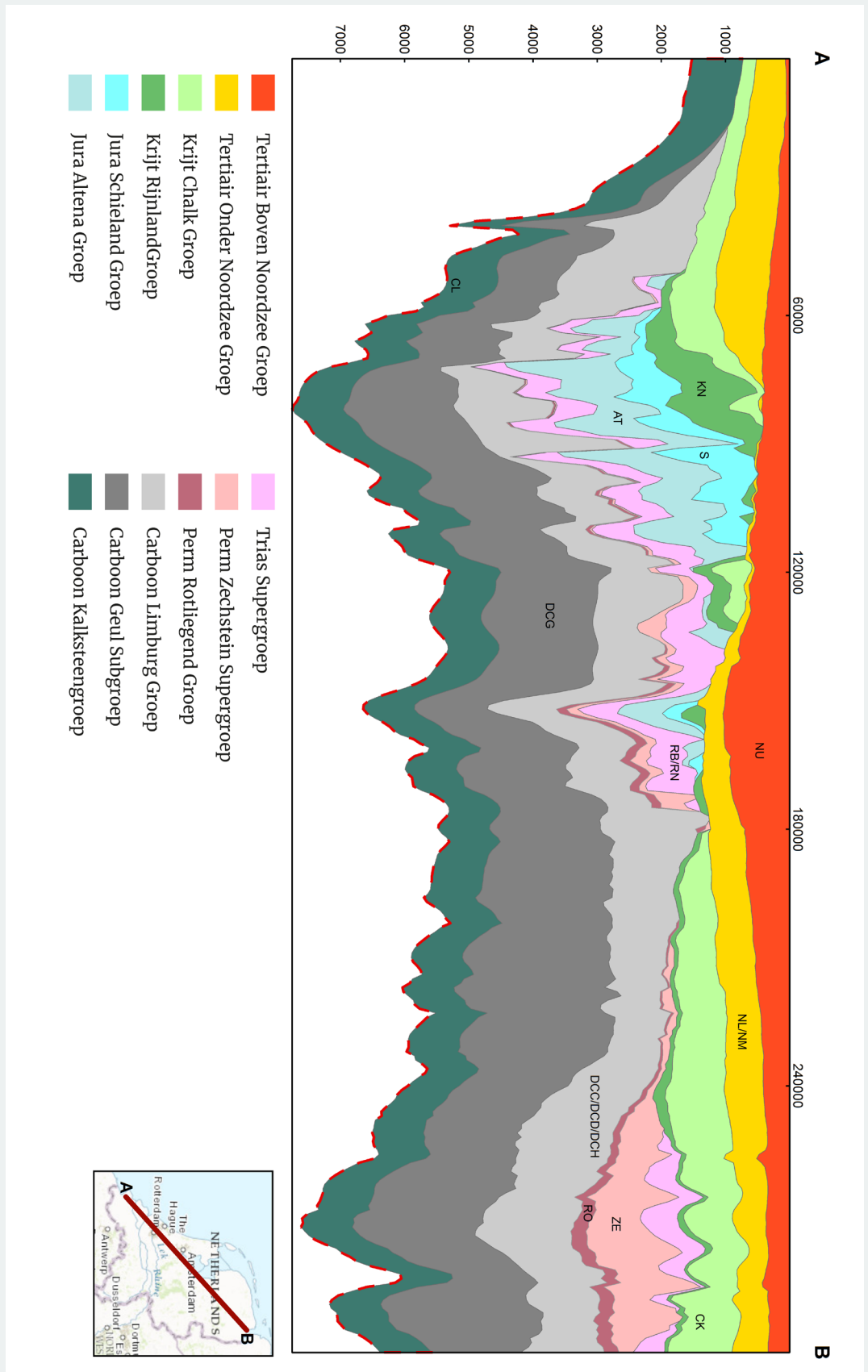
Figuur 3.2 toont een dwarsdoorsnede van de ondergrond van Nederland waarin deze vier plays ook zijn aangegeven.



Figuur 3.1 Zijaanzicht van de ondergrond van Nederland tot een diepte van 5 kilometer, met de voornaamste gesteentelagen.

¹² Het Trias-reservoir dat onlangs in Naaldwijk is aangeboden bleek ongeschikt, conform de inschatting van ThermoGIS. Dit betekent in dat geval dat de geothermische potentie van de Trias voor de rest van Nederland niet wezenlijk is veranderd.

¹³ Toepassing van het play concept op geothermie is ook omschreven in een publicatie van de International Geothermal Association: 'A geothermal play may be thought of as a conceptual model in the mind of a geologist of how a number of geological factors might generate a recoverable geothermal resource at a specific structural position in a certain geologic setting.' (IGA, 2014). In dit rapport wordt het concept specifiek op de Nederlandse situatie toegepast.



Figuur 3.2 Doorsnede door de Nederlandse ondergrond met de vier geothermische plays. Jura/Krijt: S, KN; Trias: RB/RN; Rotliegend: RO; Dinantien: CL.

Anders dan bij olie- en gaswinning is het bij geothermie belangrijk dat aanbod en vraag dicht bij elkaar zijn ('matched play' of 'matched (recoverable) heat' - Kramers et al. 2012). Warmtevraag maakt echter geen deel uit van de play-definitie. Warmtevraag is deels 'maakbaar': als ergens een geschikte geothermiebron is, kan ter plekke vraag gecreëerd worden, bijvoorbeeld door het bouwen van een kassencomplex.

In de heterogene ondergrond is de samenstelling van de gesteenten binnen een Groep of Formatie (en dus binnen een play) relatief homogeen ten opzichte van andere lagen die eronder en erboven liggen. Dat betekent niet dat binnen een relatief homogene laag of play de samenstelling van plek tot plek niet sterk kan verschillen. Heterogeniteit is schaalgebonden. Zo bestaat het Rotliegend voor het grootste deel uit zandsteen die goed doorlatend is. Op landelijke schaal kan het Rotliegend daarom beschouwd worden als een play. Op bepaalde plaatsen komt echter ook kleisteen (schalie) voor, die zeer ondoorlatend is¹⁴. Een grote hoeveelheid kleisteen binnen het reservoir zou daarom een reden kunnen zijn op regionale schaal onderscheid te maken in subplays.

Figuur 3.2 laat zien dat de meeste lagen weliswaar onder grote delen van Nederland voorkomen, maar dikker of dunner zijn of zelfs afwezig, en/of op verschillende dieptes voorkomen en dus ook een verschillende temperatuur hebben. Een goed voorbeeld is het Dinantien (mosgroene laag in **Figuur 3.2**). Dit komt in Zuid-Nederland op relatief geringe diepte voor (2-3 kilometer), waardoor de warmte zeer geschikt is voor het verwarmen van kassen. In Midden- en Noord-Nederland ligt deze laag veel dieper, waardoor de warmte van hogere temperatuur is, en daardoor ook geschikt is voor industriële processen. Een tijdens afzetting homogene laag kan door verschillen in de latere geologische geschiedenis (bijvoorbeeld diepte van de begraving, diagenetische processen, breukwerking), lateraal zeer verschillende eigenschappen ontwikkelen. Hierdoor is het dus mogelijk binnen plays subplays te onderscheiden. Een subplay is intern homogener dan de play als geheel. In de onderhavige landelijke studie is een verdere regionale onderverdeling van de plays op basis

van geologische eigenschappen (nog) niet gemaakt. De lopende vervolgstudie 'Opschaling geothermie in warmtenetten' zal wel ingaan op een indeling in de subplays op basis van geologische kenmerken.

De basis van de play-definitie voor geothermie wordt gevormd door de combinatie van geologische eigenschappen en omstandigheden. Door de hogere transportkosten van warmte in vergelijking met bijvoorbeeld elektriciteit of gas dient de warmtevraag op dit moment enkele kilometers tot maximaal enkele tientallen kilometers van de bron te zijn. Door de huidige kennis van de Nederlandse ondergrond uit ThermoGIS te combineren met die van de warmtevraag uit de WarmteAtlas, kan voor de vier plays, ruwweg opgesplitst in subregio's met een bepaalde warmtevraag, een geothermisch potentieel worden aangegeven. De meeste subregio's hebben specifiek potentieel in een van de plays. Het kan echter ook zo zijn dat een subregio in meer dan één play geothermisch potentieel heeft.

3.2.1 Tertiair

Reservoirs van Tertiair ouderdom (o.m. Zand van Brussel, Formatie van Breda, Formatie van Maassluis, Formatie van Oosterhout etc.) zijn in deze analyse niet meegenomen. Dit komt omdat de kaarten die de reservoirkwaliteit van de ondiepe ondergrond beschrijven nog in ontwikkeling zijn. Hierdoor is de startkans niet goed bekend. Ook de LT-warmtevraag die hiermee kan matchen, is ten tijde van de uitgevoerde analyse nog onvoldoende in beeld.

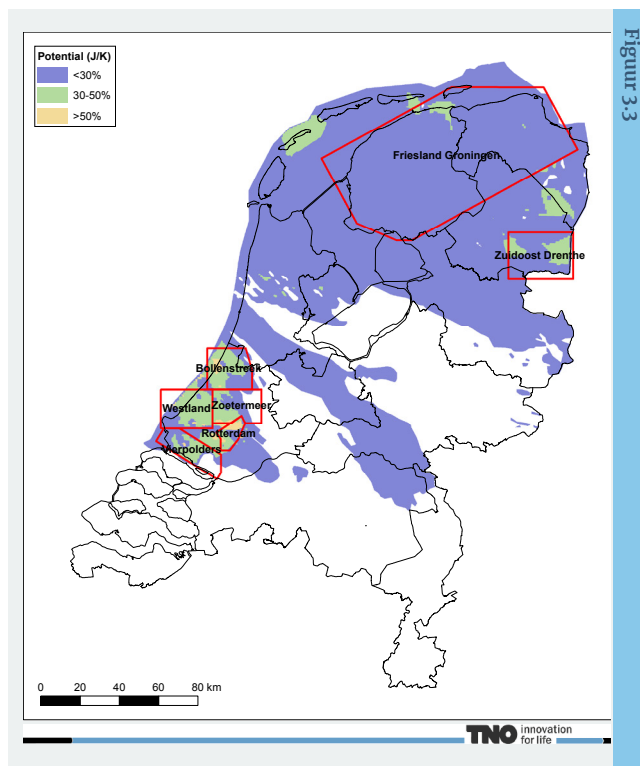
Het potentieel van dit deel van de ondergrond wordt wel onderkend als mogelijk interessant voor ondiepe geothermie, tussen de 500 en 1500 meter diepte, voor kleinere woonkernen met 300 woningen zouden deze reservoirs met nieuwe boortechnieken gebruikt kunnen worden als bron voor een collectief LT-warmtenet voor nieuwe of gerenoveerde woningen met een warmtepomp. Ook zouden deze reservoirs gebruikt kunnen worden voor warmte-opslag in de zomer, (zoals restwarmte van AVI, industrie, bio-WKK, datacentra, koelhuizen, etc.), om deze warmte vervolgens in de winter weer te benutten. Het Tertiair zal daarom in ThermoGIS v2 in meer detail worden opgenomen. Ook hier zou de play-based

¹⁴ Tijdens het Rotliegend heerste in Nederland een woestijnklimaat, waardoor op sommige plaatsen duinafzettingen werden gevormd – doorgaans zeer geschikt als geothermisch reservoir. Tegelijkertijd werden op andere plaatsen afzettingen van woestijnrivieren gevormd. Die kunnen relatief veel klei bevatten, wat dit deel van het Rotliegend minder geschikt maakt als geothermisch reservoir in vergelijking met het duinzand. Ook is de dikte van het Rotliegend op bepaalde plaatsen in Nederland minder is dan op andere plaatsen. Het is bijvoorbeeld geheel afwezig op het Texel-IJsselmeer Hoog.

portfoliobenadering in een vervolganalyse op kunnen worden toegepast.

3.2.2 Jura/Krijt-play

Figuur 3.3 laat de verbreiding van de Jura/Krijt-play zien met de in ThermoGIS berekende kans op het realiseren van een standaarddoublet met een vermogen van minimaal 10 MW_{th}. De analyse van de warmtevraag uit de WarmteAtlas (paragraaf 2.6) is ruimtelijk gecombineerd met de gebieden met een relatief hogere startkans op benodigd debiet (P>30%). Op basis van deze match zijn in **Figuur 3.3** grootschalige subregio's aangegeven waarbinnen een relatief grote warmtevraag bestaat. De indeling naar subregio is uitgevoerd op basis van geografische nabijheid, startkans en concentratie van warmtevraag. Een match tussen onder- en bovengrond bestaat met name in Zuid-Holland: Bollenstreek, Westland, Zoetermeer (waarbinnen Oostland), Rotterdam, Voorne (waarbinnen Vierpolders); en in mindere mate in Friesland/Groningen en Zuidoost-Drenthe. Gebieden met goede ondergrondse potentie zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten wanneer bovengrondse vraag ontbreekt. Dit is bijvoorbeeld het geval op Vlieland en op de grens van Groningen en Drenthe (**Figuur 3.3**). Dit potentieel kan mogelijk in een later stadium wel benut worden, als lokaal warmtevraag wordt ontwikkeld, of innovatie plaats-



Figuur 3.3 Voorkomen en potentie van de Jura/Krijt-play (J/K).

vindt waardoor warmte economisch over grotere afstand kan worden getransporteerd¹⁵. Bovendien kunnen gebieden P<30% met een grote warmtevraag en waar bij geschikte ondergrond veel doubletten

| Jura/Krijt 'subregio's' | vraag (aantallen doubletten) | | | | vraag (PJ) | | | |
|-------------------------|------------------------------|-----------|----------|--------|------------|-----------|----------|--------|
| | kassen | industrie | woningen | totaal | kassen | industrie | woningen | totaal |
| Bollenstreek | 11 | 1 | 3 | 15 | 2.1 | 0.2 | 0.6 | 2.9 |
| Friest. Groningen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| Rotterdam | 0 | 1 | 29 | 30 | 0.0 | 0.2 | 5.7 | 8.0 |
| Voorne (Vierpolders) | 4 | 0 | 3 | 7 | 0.9 | 0.0 | 0.6 | 1.5 |
| Westland | 140 | 4 | 14 | 159 | 27.8 | 0.8 | 2.8 | 31.5 |
| Zoetermeer (Oostland) | 67 | 0 | 2 | 70 | 13.3 | 0.0 | 0.5 | 13.8 |
| Zuidoost Drenthe | 7 | 0 | 0 | 7 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 1.5 |
| totaal | 231 | 6 | 51 | 288 | 46 | 1 | 10 | 59 |

Tabel 3.1 Warmtevraag in de subregio's van de Jura/Krijt-play.

¹⁵ Dit is bijvoorbeeld al het geval tussen Diemen en Almere (water van 90 °C afkomstig van een afvalverbrandingsinstallatie, over een afstand van 11 kilometer naar Almere Poort). Deze warmte is echter wel zeer goedkoop in vergelijking met geothermische warmte. In Soultz-sous-Forêts is een pijpleiding van 15 kilometer aangelegd voor het transport van geothermische warmte.

| Trias 'subregio's' | vraag (aantallen doubletten) | | | | vraag (PJ) | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------|----------|--------|---------------|-----------|----------|--------|
| | kassen | industrie | woningen | totaal | kassen | industrie | woningen | totaal |
| Alblasserdam | 7 | 37 | 6 | 50 | 1.4 | 7.3 | 1.2 | 17.4 |
| Friestl. Groningen | 0 | 0 | 0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Grubbenvorst | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| kop Noord Holland | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rotterdam | 0 | 0 | 7 | 7 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 1.8 |
| Roer Valley Graben (RVG) | 17 | 1 | 5 | 23 | 3.5 | 0.2 | 1.0 | 4.9 |
| Steenbergen Breda | 6 | 0 | 0 | 6 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| Voorne (Vierpolders) | 13 | 0 | 3 | 17 | 2.7 | 0.1 | 0.6 | 3.9 |
| Westland | 46 | 0 | 1 | 47 | 9.0 | 0.1 | 0.2 | 9.4 |
| Zoetermeer | 13 | 0 | 19 | 32 | 2.6 | 0.0 | 3.8 | 7.3 |
| Zuidoost Drenthe | 14 | 1 | 0 | 15 | 2.7 | 0.2 | 0.0 | 2.9 |
| totaal | 118 | 39 | 41 | 198 | 23 | 8 | 8 | 49 |

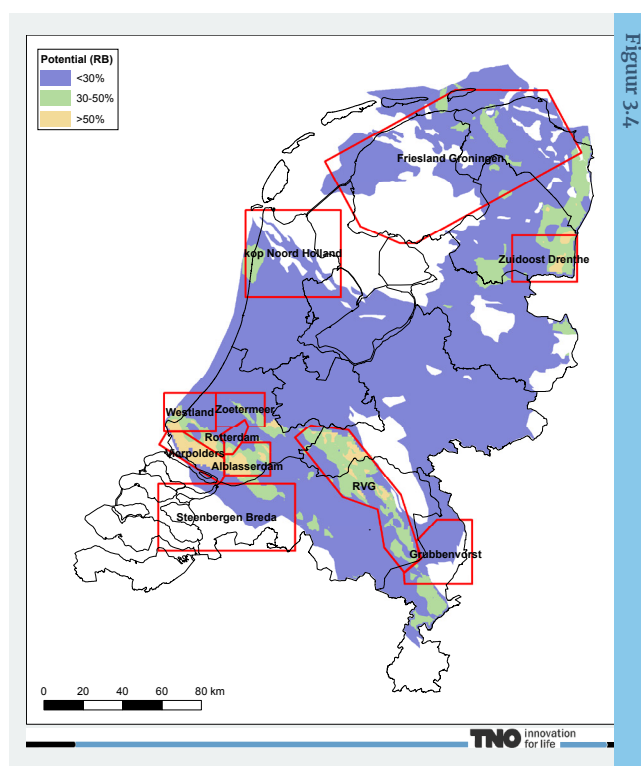
Tabel 3.2 Warmtevraag in de subregio's van de Trias-play.

mogelijk zijn, zeker de moeite waard zijn om de ondergrondonzekerheid te verkleinen door exploratie activiteiten zoals het opnemen van seismiek en het uitvoeren van proefboringen.

De voor geothermie beschikbare warmtevraag voor woningbouw, kassen en industrie is ingeschat zoals beschreven in paragraaf 2.6. **Tabel 3.1** geeft deze van de subregio's in de Jura/Krijt-play, uitgedrukt in aantallen doubletten en in PJ/jaar.

3.2.3 Trias-play

Figuur 3.4 laat de verbreiding van de Trias-play zien, met de in ThermoGIS berekende kans op het realiseren van een standaarddoublet met een vermogen van 10 MW_{th}. Met behulp van de warmtevraag zijn binnen de relatief hogere kansengebieden P>30% voor benodigd debiet visueel subregio's aangegeven waarbinnen een grote warmtevraag bestaat. Een match tussen onder- en bovengrond bestaat met name rond Voorne (Vierpolders), Alblasserdam, in de Roer Valley Graben (RVG), en in mindere mate in Friesland/Groningen, Zuidoost-Drenthe, de kop van



Figuur 3.4

Figuur 3.4 Voorkomen en potentie van de Trias-play en subregio's.

| Rotliegend 'subregio's' | vraag (aantallen doubletten) | | | | vraag (PJ) | | | |
|----------------------------|---------------------------------|-----------|----------|--------|---------------|-----------|----------|--------|
| | kassen | industrie | woningen | totaal | kassen | industrie | woningen | totaal |
| Bollenstreek | 4 | 0 | 1 | 5 | 0.9 | 0.0 | 0.2 | 1.0 |
| Friestl. Groningen | 12 | 58 | 4 | 74 | 2.4 | 11.5 | 0.7 | 21.0 |
| MRA | 5 | 1 | 30 | 36 | 0.9 | 0.2 | 5.9 | 7.1 |
| kop Noord Holland | 31 | 73 | 8 | 111 | 6.1 | 14.4 | 1.5 | 24.2 |
| Noordoostpolder | 12 | 5 | 2 | 19 | 2.4 | 1.0 | 0.4 | 4.7 |
| Zoetermeer | 1 | 0 | 14 | 14 | 0.1 | 0.0 | 2.7 | 2.9 |
| RVG | 17 | 0 | 0 | 17 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 3.4 |
| totaal | 82 | 137 | 58 | 277 | 16 | 27 | 11 | 64 |

Tabel 3.3 Warmtevraag in de subregio's van de Rotliegend-play.

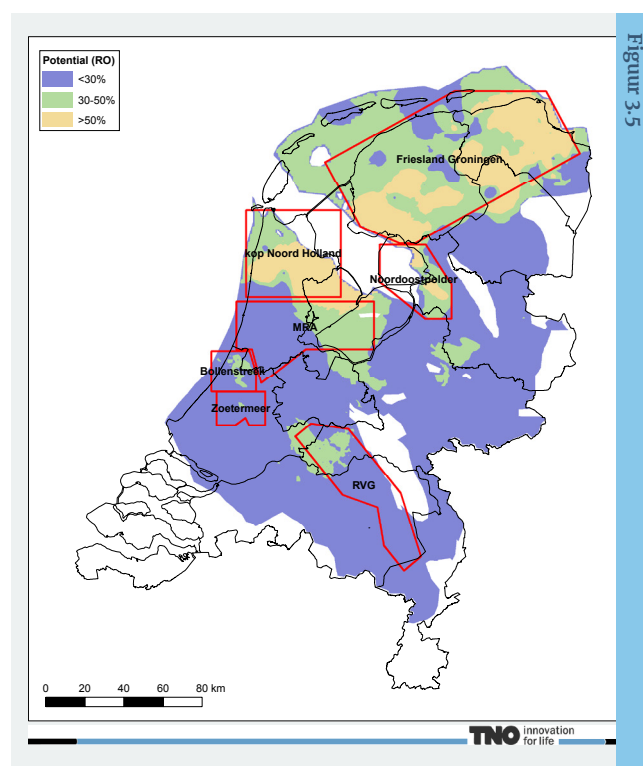
Noord-Holland, Zoetermeer (Oostland) en Grubben-vorst. Ook hier geldt dat gebieden met goede ondergrondse potentie buiten beschouwing zijn gelaten door het ontbreken van bovengrondse vraag die in een later stadium mogelijk wel kan worden ontwikkeld. Ook hier zijn gebieden $P < 30\%$ met een grote warmtevraag waarbij het waard is de onzekerheid te verkleinen door exploratie van de ondergrond.

Tabel 3.2 geeft, op vergelijkbare wijze als voor de Jura/Krijt-play, de warmtevraag van de subregio's in de Trias-play, uitgedrukt in aantallen doubletten en in PJ/jaar.

3.2.4 Rotliegend-play

Figuur 3.5 laat de verbreiding van de Rotliegend-hoofd-play zien, met de in ThermoGIS berekende kans op het realiseren van een standaarddoublet met een vermogen van $10 \text{ MW}_{\text{th}}$. Met behulp van de hiervoor aangegeven analyse van de warmtevraag zijn binnen de relatief hogere kansengebieden $P > 30\%$ op benodigd vermogen visueel subgebieden aangegeven waarbinnen een grote warmtevraag bestaat. Een match tussen onder- en bovengrond bestaat met name in Noord-Nederland: Groningen/Friesland, Kop van Noord-Holland, Metropool Regio Amsterdam (MRA), Noordoostpolder; en in mindere mate in de Bollenstreek, rond Zoetermeer en de Roer Valley Graben (RVG). Gebieden met goede ondergrondse potentie zijn wederom buiten beschouwing gelaten door het ontbreken van bovengrondse vraag die in een later

stadium mogelijk wel kan worden ontwikkeld. Ook hier zijn gebieden $P < 30\%$ met een grote warmtevraag waarbij het waard is de ondergrondonzekerheid te verkleinen door exploratie activiteiten.



Figuur 3.5

Figuur 3.5 Voorkomen en potentie van de Rotliegend-play en subregio's

Tabel 3.3 geeft de warmtevraag van de subregio's in de Jura/Krijt-play, uitgedrukt in aantallen dubletten en in PJ/jaar.

3.2.5 Dinantien-play

Figuur 3.6 geeft drie Dinantien-subplays weer zoals die momenteel zijn gedefinieerd in de Green Deal UDG. Het Dinantien maakt nog geen deel uit van ThermoGIS v1.2 (2012), omdat dit reservoir nog zeer onbekend is – reservoir-kwaliteitskaarten bestaan nog niet. Wel wordt onderkend dat het verder uitwerken van het ondiepe deel van de Dinantien-play (in o.m. Noord-Limburg en Noord-Brabant) de versneling van de verduurzaming van zowel gebouwde omgeving als glastuinbouw zou kunnen helpen.

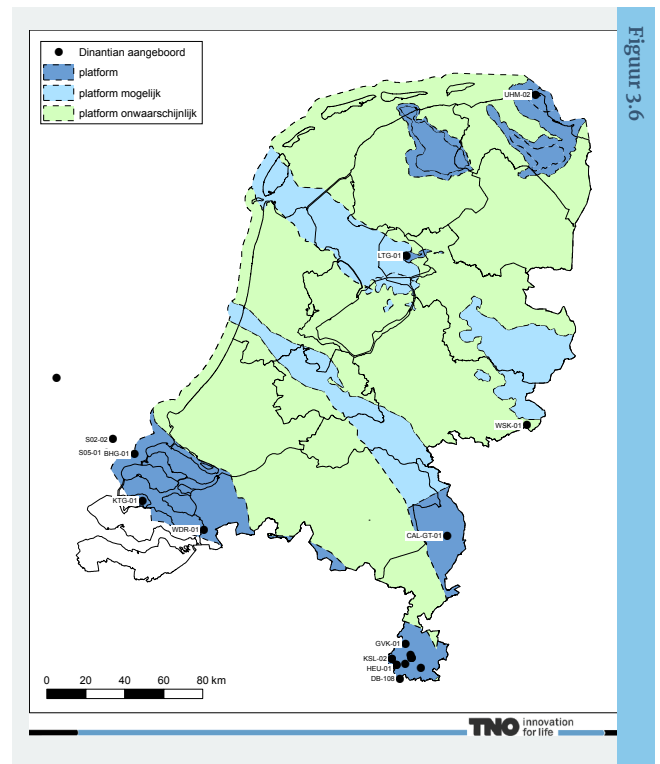
Het Dinantien is in een omvangrijk deel van Nederland mogelijk geschikt voor hogere-temperatuur-geothermie (boven $\sim 120^{\circ}\text{C}^{16}$). Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, EBN, TNO en zeven consortia hebben deze Green Deal opgezet om deze play optimaal, volgens de play-based portfolio-benadering, te ontwikkelen. De meerwaarde van deze benadering, die in de onderstaande paragraaf wordt toegelicht, is naar verwachting omvangrijk. De onderbouwing van de waardering is nog in ontwikkeling. Dit betekent dat nog moet worden nagegaan, aan de hand van een uitgebreid exploratie-programma:

- waar het Dinantien voorkomt en in welke hoedanigheid (gesteente-type en reservoirkwaliteit);
- wat de verwachte benodigde vermogens, kosten en opbrengsten zijn per subplay;
- wat de startkans is op een dergelijk vermogen;
- hoeveel mogelijke projecten per subplay mogelijk zouden zijn in relatie tot de bovengrondse warmtevraag.

De drie Dinantien-subplays zijn nu geïdentificeerd op basis van de huidige kennis van de ondergrond en de match met de mogelijke warmtevraag, die duidt op een goed herhaalpotentieel aan projecten als de eerste exploratie-pilotprojecten succesvol zijn.

3.3 Geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling

De verdeling in plays en zo nodig subplays vormt de basis voor het reduceren van geologische en

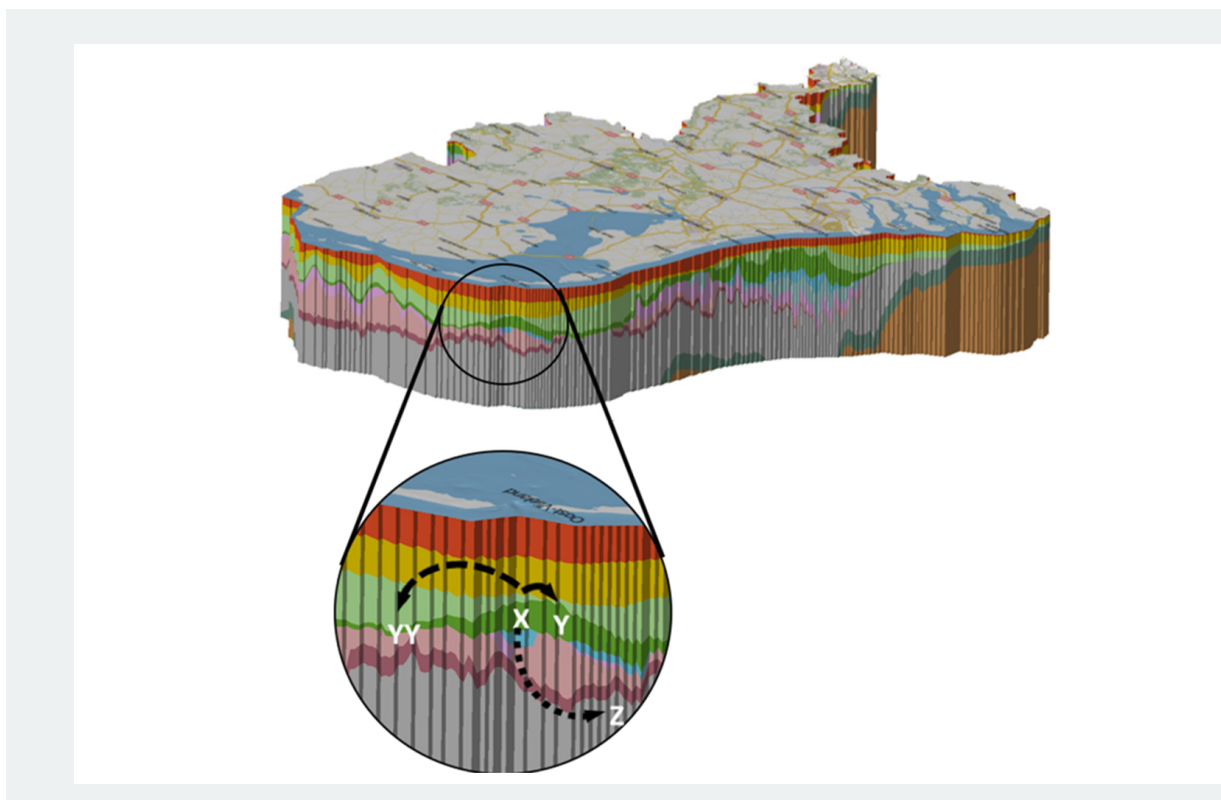


Figuur 3.6 Voorkomen van de Dinantien play en drie subplays Noord, Midden en Zuid. Blauw: relatief grotere exploratiepotentie, groen: relatief lagere exploratiepotentie. In de gebieden rond Texel-IJsselmeer-Noordoostpolder en Achterhoek-Twente is mogelijk potentie maar op dit moment geen concrete geïdentificeerde warmtevraag.

bijbehorende technische risico's voor de ontwikkeling van geothermie. De geologische eigenschappen van een (sub)play zijn intern sterk verwant. Daarom is de informatie die is opgedaan voor de ontwikkeling van putten en het project in een play van grote waarde voor het ontwikkelen van vervolgprouwen. Dit is met name van belang, omdat de ondergrondformatie en het daarop toegepaste technische ontwerp bepalen in hoeverre een geothermiebron daadwerkelijk de beoogde warmte produceert over zijn gehele levensduur. Bij een eerste exploratieboring voor een project in een nog onbekende laag is de onzekerheid hieromtrent zeer groot. In deze fase is niet zeker wat in de ondergrond aangetroffen zal worden: type reservoirgesteente, vloeistoffen en gassen in het gesteente, type overliggende gesteente¹⁷, etc. Voor een tweede boring is deze onzekerheid al een stuk kleiner door de kennis van de eerste boring. De derde, vierde en daaropvolgende boringen in de vergelijkbare laag verkleinen deze onzekerheid nog verder.

¹⁶ De beide geothermie-installaties in Californië zijn weliswaar ook geboord in gesteenten van Dinantien-ouderdom, maar dat komt hier relatief ondiep voor waardoor de temperatuur minder dan 100°C is.

¹⁷ Het is van belang te weten wat aangetroffen zal worden tussen het oppervlakte en het reservoir voor de boring begint. Verschillende soorten gesteente (de overburden) maar ook verschillende spanningen in de ondergrond hebben verschillende boorontwerpen nodig.

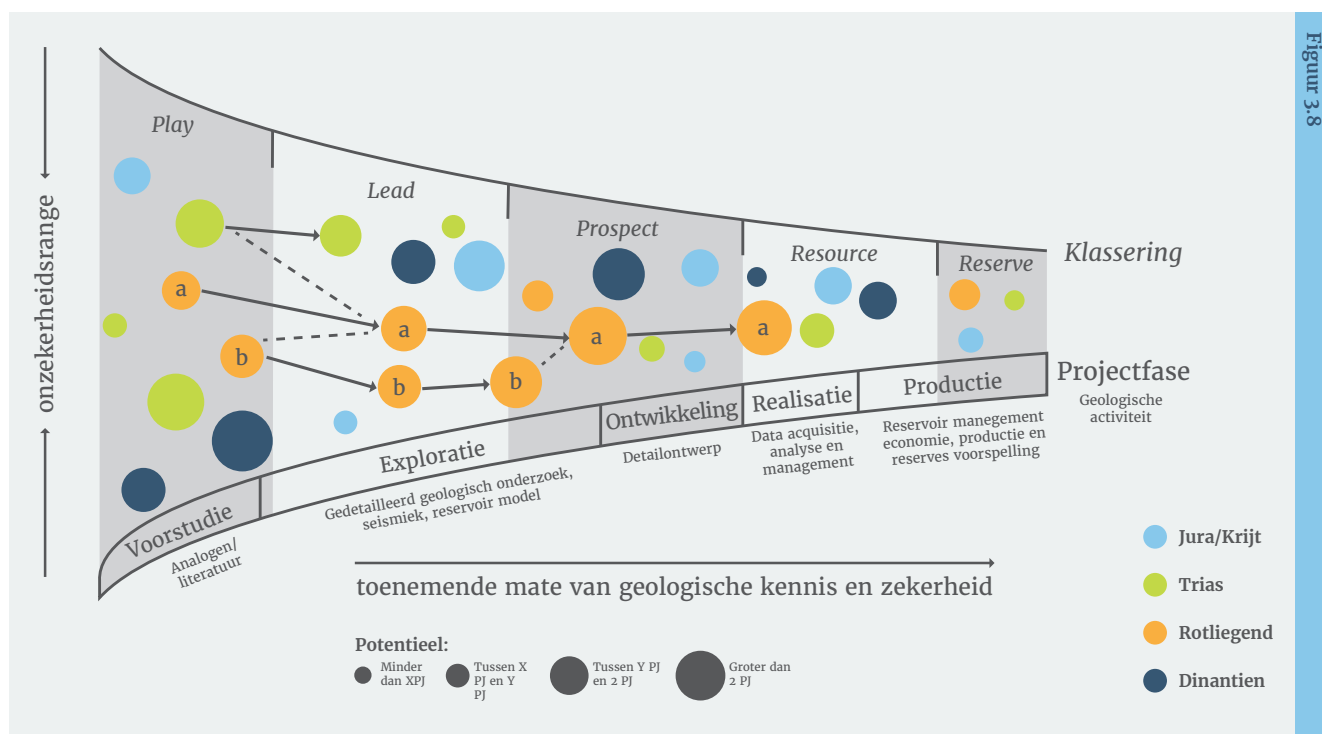


Figuur 3.7 Een project in de ondergrond op locatie X draagt veel bij aan risicoreductie van een project op locatie Y waar de omstandigheden vergelijkbaar zijn, minder op locatie YY waar de omstandigheden naar verwachting vergelijkbaar zijn maar minder dichtbij. Een project op locatie X zegt weinig over een project op locatie Z in een andere play.

Figuur 3.7 illustreert dit. Als op een bepaalde plaats X een boring is gedaan waarmee alle relevante eigenschappen van de ondergrond zijn bepaald, is de kans groot is dat in de nabijheid daarvan op plaats Y de geologische gesteldheid sterk vergelijkbaar is. De geologische en bijhorende technische gegevens, kennis en ervaring van boring X maakt het risico dat boring Y mislukt kleiner. Tot op zekere hoogte geldt: hoe verder de tweede boring in dezelfde laag van de eerste boring vandaan wordt uitgevoerd, bijvoorbeeld op locatie YY, hoe kleiner de risicoreductie vanwege de eerste boring¹⁸. De maximale afstand waarop een boring op plaats X nog iets zegt over de ondergrond op plaats YY hangt af van de laag – sommige lagen zijn op grote afstand goed te correleren, terwijl dit voor andere lagen minder goed mogelijk is. Zo zegt boring X wel wat over de daaropvolgende boring Y en YY, maar veel minder over project Z dat zich in een andere laag of play bevindt. Voor plays geldt een belangrijke generieke correlatie. Op het niveau van de subplays geldt deze weer sterker.

Een optimale playbenadering maakt gebruik van het gegeven dat verschillende boringen en projecten in een play met elkaar vergelijkbaar zijn en de gegevens, kennis en ervaring van X van grote waarde zijn om het geologische en bijhorende technische risico van Y sterk te verminderen. Het gebruik maken van ondergronddata- en kennis van een locatie in de ondergrond X voor het verkleinen van het geologische en technische risico op een vergelijkbare locatie Y heet de-risking. De waarde van de geologische en technologische ondergronddata en kennis van de ene boorlocatie voor de andere is zeer groot. Dit heet Value of Information (VoI). Het effectief gebruik maken van de-risking en VoI vormen de basis van de playbenadering voor risico- en kostenreductie bij ondernemen in de ondergrond. Dit betekent dat de potentiële projecten in (sub)plays het beste in samenhang kunnen worden ontwikkeld. Dit reduceert de risico's en kosten aanzienlijk.

¹⁸ In bepaalde gevallen zegt één put op een locatie dichtbij een andere locatie niet direct wat over de doorlaatbaarheid ervan, maar meer over de structuur in combinatie met andere ondergrondinformatie of putten.



Figuur 3.8 De funnel van activiteiten om geothermieprojecten in een play te ontwikkelen en de geologische en bijhorende technische onzekerheid te verminderen.

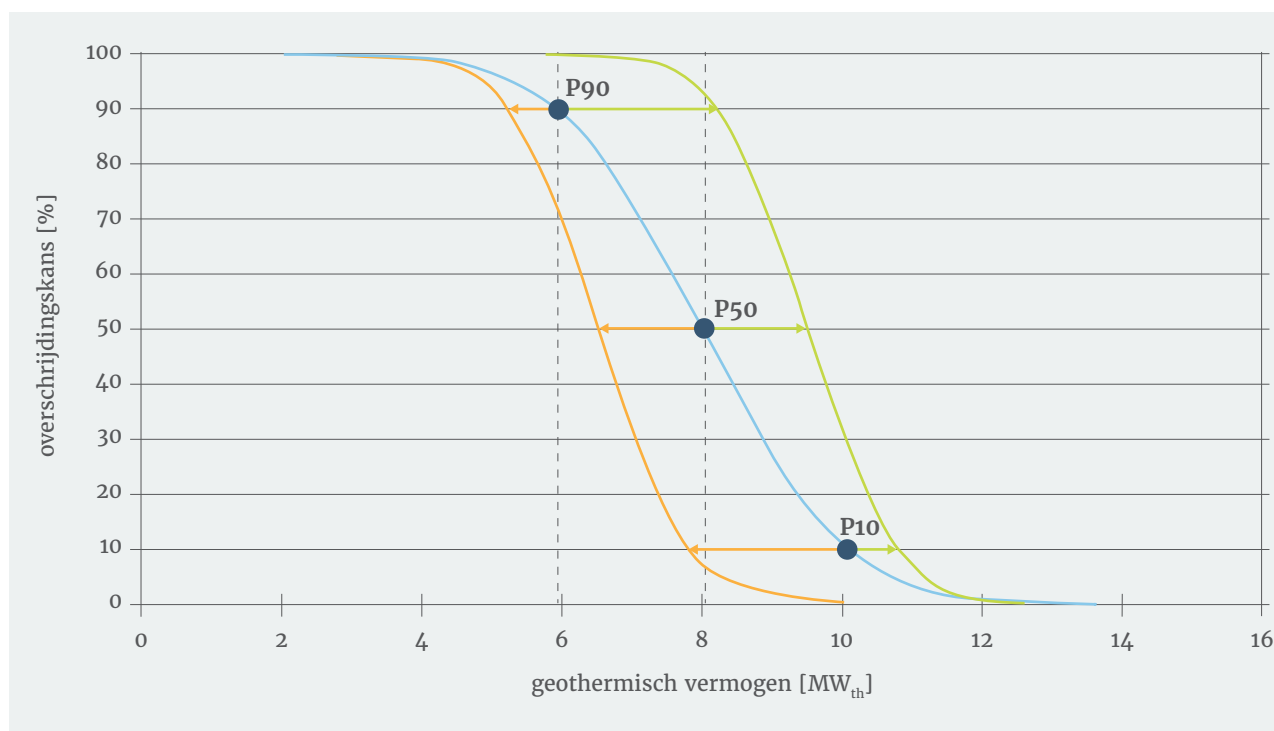
Figuur 3.8 geeft de VoI voor de ontwikkeling van een play weer. Deze toont de activiteiten die nodig zijn om de geologische en bijhorende technische onzekerheden voor de boringen van een geothermieproject te analyseren en verminderen. De benodigde ondergrondinformatie wordt stap-voor-stap verworven door:

- het bestuderen van geologische kennis in de vorm van analoge en literatuur;
- gedetailleerd geologisch onderzoek;
- data-acquisitie zoals seismiek en het maken van reservoirmodellen;
- het maken van een voorontwerp en later definitief ontwerp van de toe te passen technologie van de boringen;
- data-acquisitie en management tijdens en na de boringen;
- het reservoirmanagement tijdens de productiefase.

Door toenemende mate van geologische data en kennis wordt voor een bepaald project (a) de onzekerheidsbandbreedte steeds kleiner. De taps toelopende vorm van de funnel of trechter visualiseert dit. In principe is de onzekerheid van een kans op een succesvolle boring of project links groot, bijvoorbeeld P10 of P50 op benodigd vermogen, en rechts veel kleiner,

bijvoorbeeld respectievelijk P50 of P90 op benodigd vermogen. Het gaat derhalve altijd om zowel de kans (P) als de onzekerheid (O). De omvang van de van toepassing zijnde kansen hangen af van hoeveel er al bekend is van de ondergrondeigenschappen van de desbetreffende play.

Het doel van het doorlopen van de funnel is het reduceren van de onzekerheid en de geologische en technische risico's van de boringen van een project. De gegenereerde gegevens en kennis veranderen de steilheid en locatie van de vermogen-verwachtingscurve van een project. Deze verandering wordt toegelicht aan de hand van **Figuur 3.9**. Zoals al eerder aangegeven wordt het vermogen van een geothermisch doublet geschat met een vermogen-verwachtingscurve. Deze curve, die onder meer voor de SDE+ en RNES wordt berekend met de software Doublet-Calc, is gebaseerd op een probabilistische berekening aan de hand van de interpretatie van reservoirparameters en de onderliggende onzekerheid ervan zoals diepte, dikte, netto-bruto-verhouding, permeabiliteit, temperatuur en anisotropie. De vlak-of steilheid van de curve hangt af van de mate van onzekerheid (O) over de ondergrond, dus van welke gegevens beschikbaar zijn uit analoge, seismiek, boringen, modellen et cetera. De curves zijn projectspecifiek.



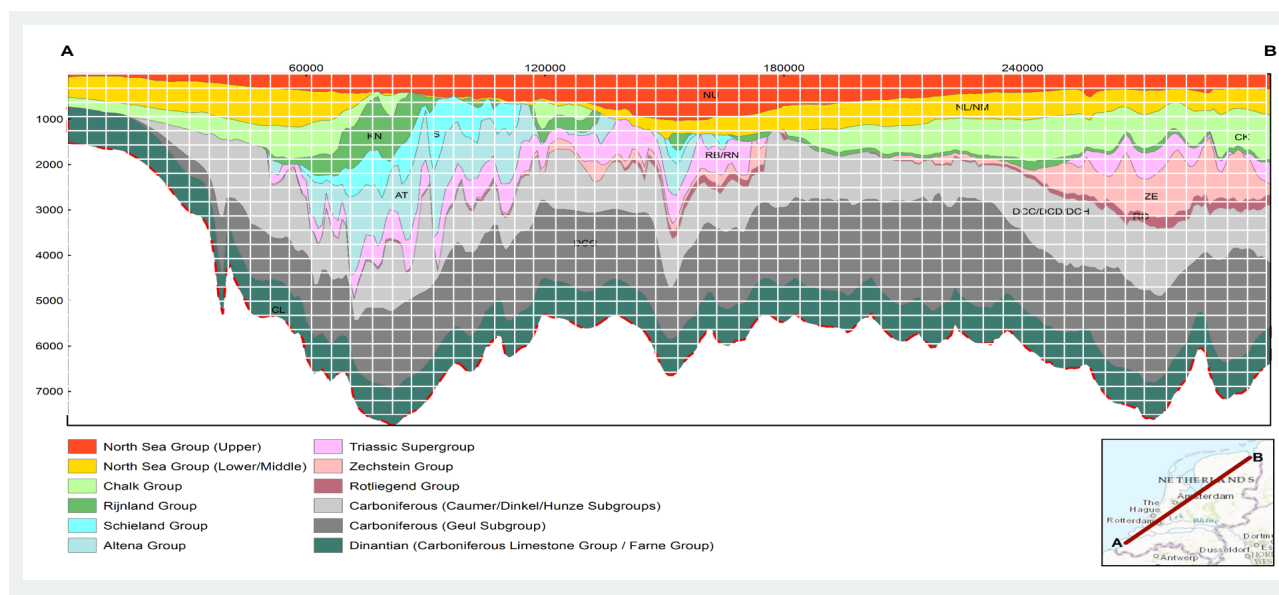
Figuur 3.9 Verandering van de verwachtingscurve van het vermogen van een doublet als gevolg van toegenomen ondergrondgegevens en kennis. Blauwe curve: vòòr exploratie. Rood: na exploratie met negatief resultaat – het verwachte vermogen neemt af. Groen: na aanboren met positief resultaat – het verwachte vermogen neemt toe. De onzekerheid is afgenomen wat zichtbaar is in een steilere curve.

De spreiding van de vermogen-verwachtingscurve (i.e. het verschil tussen P90 en P50) is groot in gebieden waar veel onzekerheid bestaat over de ondergrond, bijvoorbeeld diepte en dikte van het reservoir, permeabiliteit, etc. Hierdoor is de P90-waarde van het benodigde vermogen relatief laag, en onvoldoende voor de business case van een economisch rendabel doublet. Als door exploratie van de ondergrond op plek X het reservoir wordt aangetroffen met een hoger dan verwachte permeabiliteit, is de kans groot dat ook op plek Y nabij X de permeabiliteit groter is (binnen de correlatielengte¹⁹). Door het beschikbaar komen van nieuwe informatie op plek X neemt niet alleen de onzekerheid op plek Y af, maar ook de verwachtingswaarde van de permeabiliteit verandert. Omdat er een positieve relatie bestaat tussen permeabiliteit en debiet, betekent dit in termen van de verwachtingscurve dat de curve steiler wordt. Het verschil tussen de pessimistische P90 en de verwachtingswaarde P50 (en tussen P50 en P10) wordt kleiner. De curve zal naar links of rechts schuiven, afhankelijk van de aangetroffen waarden.

Figuur 3.9 illustreert het concept van exploratie voor het uitvoeren van een exploratieboring.

Het uitgangspunt voor het doublet is de blauwe verwachtingscurve, die wordt berekend voor de boring is uitgevoerd. Het verwachte vermogen is 8 MW_{th} (P50). De verwachting met een negatief resultaat – wanneer de ondergrond tegenvalt – is 6 MW_{th} (P90). Door exploratie, bijvoorbeeld seismisch onderzoek of boringen, wordt de onzekerheid (O), het verschil tussen de intervallen P90–P50 en P50–P10, kleiner. Wanneer het reservoir is aangeboord, wordt de curve steiler voor opeenvolgende doubletten binnen de correlatielengte. Als de uitkomst van het eerdere project succesvol was, schuift de curve naar rechts, in dit voorbeeld P90 naar 8 MW_{th}, P50 naar 9.5 MW_{th}. Het is overigens niet per definitie zo dat bij succes de P50 hoger wordt – het is ook mogelijk dat bijvoorbeeld alleen de P90 hoger wordt bij gelijkblijvende P50. Bij falen is de verschuiving naar links, voor P90 naar 5.5 MW_{th} en P50 naar 6.5 MW_{th}. De kans op het benodigd debiet voor een gezonde business case wordt bij succes voor alle projecten in de nabijheid dus groter. Bij falen wordt deze juist kleiner. Het exploreren van de ondergrond alsmede elke nieuwe boring in de ondergrond verandert de vermogens-verwachtingscurve.

¹⁹ De correlatielengte is de maximale afstand waarop de waarde van een grootheid op locatie X (bijvoorbeeld permeabiliteit of dikte van een reservoir) nog iets zegt over de waarde van dezelfde grootheid op locatie Y. In geostatistiek wordt deze aangeduid met 'range' van een variogram.



Figuur 3.10 De waarde van het geheel is groter dan de som der delen. De (ondergrond)informatie en –kennis van een geothermieproject (blokje) is van grote waarde voor de andere projecten (andere blokjes). Dit geldt op generiek niveau, sterker in vergelijkbare plays, en nog sterker in vergelijkbare subplays.

Figuur 3.8 laat nog een belangrijk effect zien van het ontwikkelen van een geothermieproject (a) in een play. De gegevens, kennis en ervaring van deze ontwikkeling de–risiken ook alle andere potentiële geothermieprojecten zoals (b) en (c) in de vergelijkbare ondergrond van die play. Dat betekent dat nu ook hier de vermogen–verwachtingscurves sterk verbeterd worden (of eventueel verslechterd, maar in ieder geval minder onzeker), omdat er een groot deel van de onzekerheden en risico’s uitgehaald worden.

De kostbare informatie uit de geologische analogen, studies, ontsluitingen, onderzoeken, seismiek en alle metingen en kernen van de boringen van het ene project (a) zijn dus van grote waarde niet alleen voor dat project maar ook voor de projecten (b) en (c) en alle andere projecten in diezelfde play. Als project (a) ook door andere potentiële bovenliggende plays heen snijdt (bijvoorbeeld een Rotliegend–project dat door het Trias gaat), kan deze ook daar direct belangrijke informatie voor ophalen. Dit betekent dat het exploreren van de diepere lagen, zeker als het exploratiemeet– en monitoringsprogramma daarop

wordt aangepast, ook direct plays uit ondiepere lagen kan de–risiken. Het de–risiken van meerdere lagen of (sub)plays tegelijk heet het multilayer effect.

Dit betekent dat de exploratie–activiteiten van één project van zeer grote waarde zijn voor de ontwikkeling van andere projecten in de nabijheid, in dezelfde (sub)play en mogelijk ook voor bovenliggende (sub)plays. Er zijn derhalve grote risico– en kostenreducties en substantiële waardecreatie mogelijk als projecten in een play in samenhang worden ontwikkeld in plaats van onafhankelijk van elkaar. Dit vormt de kern van de play–benadering. Het gaat bij VoI overigens niet alleen om geologische data en kennis of de vermogens–verwachtingscurve, maar om alle technische en projectinformatie gedurende de gehele levenscyclus van een project. Alle informatie uit een project in een (sub)play de–risikt in belangrijke mate de risico’s in de vervolprojecten. **Figuur 3.10** visualiseert dit. De optimale ontwikkeling van de ondergrond is play–based. Als elk blokje een geothermieproject voorstelt, dan zegt de informatie van elk blokje, dus elk project, heel veel over de andere

²⁰ De NPV over de looptijd van een geslaagd project is geschat op € 1 mln. In de SDE+ benadering is die o met een gemiddelde discount rate van 6% en een ROE (rendement op eigen vermogen) van 14,5%. Vergeleken met gemiddelde ROE van circa 8% waar hier mee gerekend is, loopt dit al gauw op naar € 1 mln of meer.

²¹ Deze aannames zijn representatief voor een ‘gemiddeld’ geothermieproject, maar gelden niet voor elk project. Bovendien verschillen de kosten per (sub)play, wanneer bijvoorbeeld een play significant dieper ligt (en de boorkosten hoger zijn), of de permeabiliteit lager (en het doublet dus minder energie produceert), of een play minder geëxploreerd is (groter geologisch en technisch risico).

projecten, helemaal als deze in de nabijheid zijn van de ander in dezelfde laag. Omdat de projecten elkaar zo sterk de-risken, is de waarde van het geheel van alle projecten ontwikkeld in samenhang veel groter dan de som van de afzonderlijke projecten. ‘Waarde’ omvat hierbij zowel meer geproduceerde warmte als meer euro’s. De benadering draagt er immers aan bij dat de betere projecten tot ontwikkeling worden gebracht, en ook dat de projecten beter worden ontwikkeld.

3.4 Waardering optimale play-ontwikkeling versus stand-alone projecten

De waarde van de play-ontwikkeling ten opzichte van de ontwikkeling van stand-alone projecten kan worden gekwantificeerd in euro’s. Dit gebeurt door enerzijds de NPV van de ontwikkeling van de potentiële geothermieprojecten in een play uit te rekenen met medenemen van de risicoreductie door toepassing van de optimale play-benadering. De risicoreductie van opeenvolgende projecten wordt meegenomen in het risico op de kosten van mislukte boringen (bij falen) en de kans op de opbrengsten van succesvolle projecten (bij succes). Ditzelfde gebeurt anderzijds bij de stand-alone ontwikkeling behalve dat daar geen risicoreductie plaatsvindt, omdat de geologische en bijbehorende technische gegevens en informatie niet of nauwelijks worden gedeeld.

De startsituatie is een play die nog beperkt is geëxploreerd. De onzekerheid over de ondergrond is relatief groot. Het project kent een P50 verwachtingswaarde voor een benodigd vermogen voor een economisch renderend project van 10 MW. Er is 50% kans dat het project succesvol is en 50% kans dat het mislukt. Bij mislukken is de aanname dat het vermogen zodanig veel lager blijkt dan de verwachte P50 dat er – zelfs op basis van forward economics – geen basis is voor completering van het doublet en het verlies van de eerste put moet worden genomen. Dit verlies wordt verondersteld € 5.5 mln te bedragen (zie ook hoofdstuk 4). Daar tegenover staat de succetak, waarin het vermogen hoger blijkt dan de P50 en het project rendabel wordt. De NPV van deze uitkomst is verondersteld € 1 mln te zijn, oftewel licht hoger dan de NPV van 0 die juist het minimale rendement levert.^{20 21}

De verwachtingswaarde van de NPV voor een stand-alone ontwikkeling van een project is dan:

$$NPV = 0,5 \times 1 + 0,5 \times -5,5 = -\text{€ } 2,25 \text{ mln}$$

Het is duidelijk dat, voor een enkel project, het risico te hoog is om te gaan boren.

Stel dat de subplay van dit project een herhaalpotentieel van 10 vervolgprouwen ('prospects') heeft, dan is de 'stand-alone' risked NPV van de projecten in deze subplay, dus zonder leereffecten en risicoreductie van de play-benadering:

$$NPV = 10 \times (0,5 \times 1 + 0,5 \times -5,5) = -\text{€ } 22,5 \text{ mln}$$

Als het vermogen van ieder doublet 10 MW_{th} is, is het totale realiseerbare vermogen van de portfolio 100 MW_{th}. Ook deze portfolio zou niet worden ontwikkeld vanwege de sterk negatieve NPV. Uiteraard zou de maatschappij voor elk project € 2,25 mln kunnen bijdragen in de vorm van een subsidie.

De NPV van deze portfolio ziet er anders uit voor 10 projecten met medenemen van alle geologische en technische data, kennis en leereffecten van de play-benadering. De NPV van deze portfolio ontwikkeld door toepassing van de play-benadering ziet er uit als weer gegeven in **Figuur 3.11** waar een vervolgprouwen 'project 2' leert van de gegevens, kennis en ervaring uit 'project 1'. Omdat de informatie wordt overgedragen veranderen de startkans en de vermogensverwachtingscurve voor project 2 aanzienlijk.

Vergelijkbaar met bovenstaand stand-alone-voorbeeld zijn initieel de volgende aannames van toepassing:

- startkans 50%²²;
- NPV bij succes € 1 mln, bij mislukking -€ 5,5 mln;
- herhaalpotentieel 10 doubletten²³.

De play-benadering en de leereffecten hiervan voegen, zoals **Figuur 3.11** weergeeft, nu echter het volgende toe:

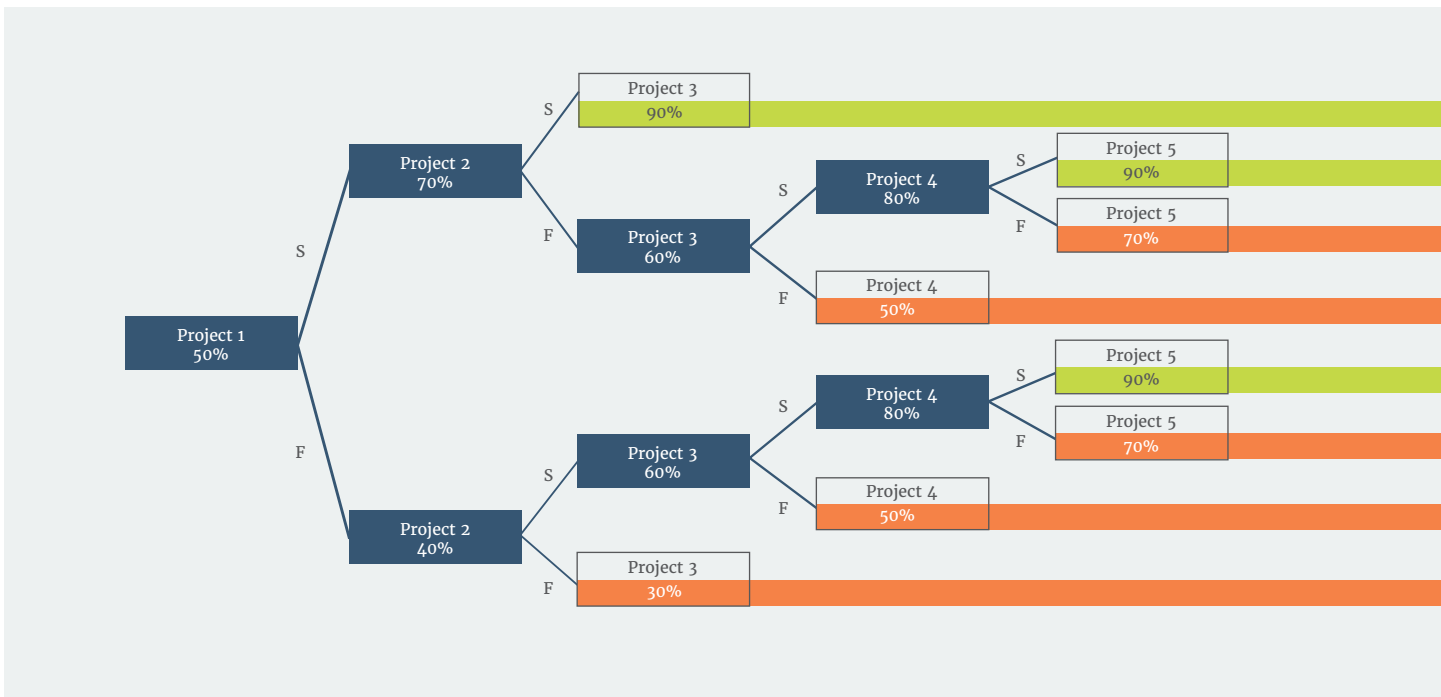
- toename slaagkans bij succes 20%, afname bij mislukking 10%²⁴. Hierbij is de kansboom afgeleid van vergelijkbare optimale play-kansbomen

²³ De geologisch bepaalde kans op het aantreffen van water in de ondergrond is 100% (POSgeol). Het gaat bij de startkans op het aantreffen van een economisch relevante hoeveelheid water, die kleiner is dan 100% (POSecon).

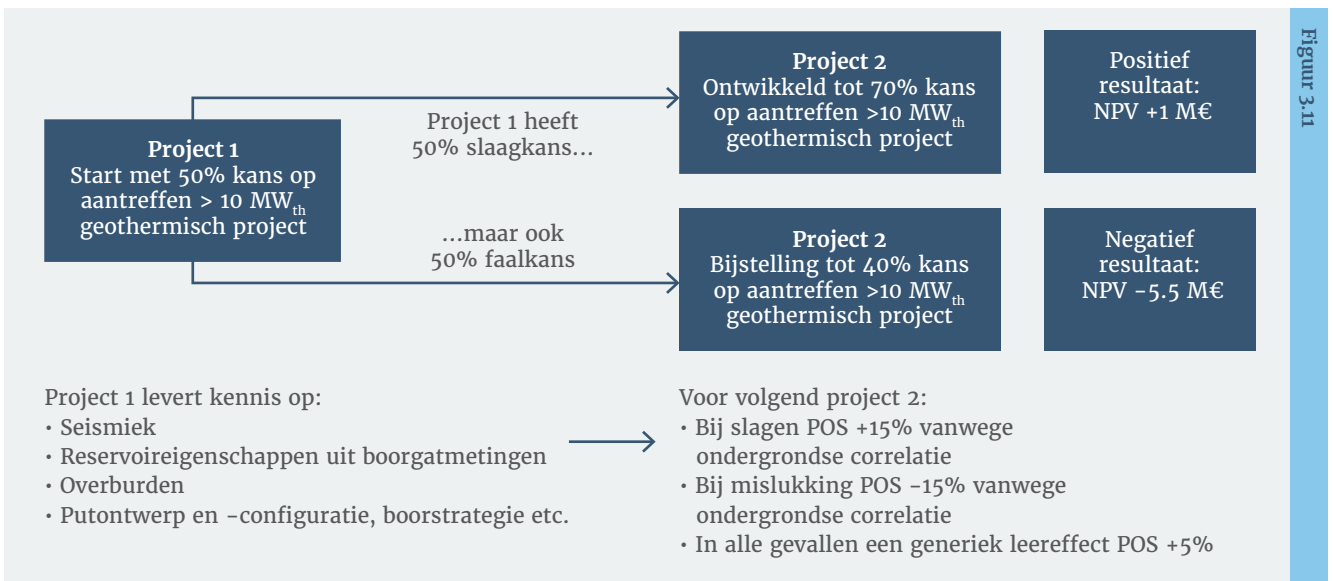
²⁴ In dit rekenvoorbeeld is het herhaalpotentieel gedefinieerd als het aantal vervolgprouwen dat uitgevoerd kan worden na de exploratiefase.

²⁵ Door het leereffect is de kansboom asymmetrisch. De ondergrondinformatie, kennis en expertise vergroot bij succes de kans met 20% terwijl de kans op falen maar met 10% kleiner wordt. Dit laatste komt omdat de vernauwing van de onzekerheidscurve uit te drukken is in een relatieve vergroting van de kans op succes. In de praktijk kan dit worden voorgesteld als een betere afstemming tussen de verbeterde geologische kennis en de toe te passen technologie en ontwerp.

²⁶ De kansverdeling van de kans-bomen komen tot stand door data input uit de play-ontwikkeling zelf. Des te verder een (vergelijkbare) play ontwikkeld is des te nauwkeuriger de kansboom wordt. De gehanteerde kansboom betreft hier een eerste inschatting voor geothermie.



Figuur 3.12 Optimale play-ontwikkeling kansboom.



Figuur 3.11

Figuur 3.11 Leer- of derisiveffect van project 1 voor vervolgpject 2 met een initiële startkans P50 vermogens-verwachtings waarde op het benodigde vermogen voor een gezond economisch project. Het slagen of falen van het eerste project heeft een belangrijke waarde-effect op de verwachting van het tweede en verdere projecten.

- toegepast in de olie- en gasindustrie en geothermie²⁵;
- de correlatie van het leereffect is in deze methode beperkt tot een bepaald aantal projecten. Als de slaagkans (in dit geval voor een project van 10 MW_{th}) zich ontwikkeld heeft tot P90, dus de kans op een succesvolle business case 90% is, wordt voor het gemak aangenomen dat deze niet veel meer toeneemt;
 - als twee opeenvolgende projecten mislukken en de kans op succes zeer laag is geworden, wordt verdere ontwikkeling gestopt.

Figuur 3.12 doorloopt de hele kansboom van de 10 projecten. De kosten en opbrengsten van de takken van de kansboom zijn uitgewerkt in het rechterdeel van de figuur. Voor de groene takken is na een aantal projecten de situatie ontstaan waarin het herhaalpotentieel kan worden doorontwikkeld. De verwachte NPV voor de totale boom is nog steeds licht negatief: -€ 1,0 mln. Dit is echter substantieel beter dan de stand-alone ontwikkeling van de play. Die leidt tot een NPV van -€ 22,5 mln. Het waardeverschil bedraagt

| Kans optreden | Aantal projecten uitgevoerd | Aantal projecten succesvol | NPV scenario [mln €] | Gewogen NPV marktontwikkeling [mln €] | Herhaal-potentieel in Play (-) | Aantal projecten gerealiseerd | Totale NPV potentie [mln €] |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 35% | 2 | 2 | 2 | 0,70 | 8 | 10 | 3,50 |
| 7% | 4 | 3 | -2,5 | -0,18 | 6 | 9 | 0,25 |
| 2% | 4 | 2 | -9 | -0,16 | | 2 | -0,16 |
| 6% | 3 | 1 | -10 | -0,60 | | 1 | -0,60 |
| 10% | 4 | 3 | -2,5 | -0,24 | 6 | 9 | 0,34 |
| 2% | 4 | 2 | -9 | -0,22 | | 2 | -0,22 |
| 8% | 3 | 1 | -10 | -0,80 | | 1 | -0,80 |
| 30% | 2 | 0 | -11 | -3,30 | | 0 | -3,30 |
| 100% | 26 | 14 | | -4,80 | | | -0,99 |

Kans Succesvolle ontwikkeling 51,8% Kans Terminatie ontwikkeling 48,2%

voor deze play -€ 21,5 mln. Het is logisch dat een maatschappelijke bijdrage in de vorm van een subsidie van -€ 1,0 mln voor een dergelijke ontwikkeling eerder is te overwegen dan die van de stand-alone ontwikkeling.

De play-ontwikkeling kansboom van **Figuur 3.12** laat zien dat de initiële kans op succesvolle ontwikkeling 52% is (alle groene takken). De kans op mislukking is 48% (alle oranje takken). Het meenemen van alle ondergrondinformatie, kennis en expertise leidt ertoe dat er een risicoreductie mogelijk is die zorgt dat de NPV van deze play verbeterd wordt van -€ 22,5 mln naar -€ 1,0 mln. De playbenadering creëert over 10 projecten een waarde van € 21,5 mln.

Bij vergroting van het herhaalpotentieel neemt ook de waarde van de totale portfolio toe. Dit is een belangrijke observatie. Bij een herhaalpotentieel van 15 projecten is de NPV € 1,6 mln positief. Andersom geldt deze logica ook. Bij een herhaalpotentieel van 5 projecten daalt de NPV tot -€ 3,6 mln. Dit betekent dat het ontwikkelen van (sub)plays met een groot herhaalpotentieel een grotere meerwaarde heeft dan het ontwikkelen van (sub)plays met een beperkt herhaalpotentieel, wanneer de play-benadering wordt toegepast. Dit is niet verwonderlijk, omdat de eerste exploratieprojecten in een nieuwe play de grootste risico's en kosten met zich meebrengen. De minder risicovolle projecten (na de risicovolle exploratiefase), waarbij ook kostenoptimalisatie mogelijk is in het herhaalpotentieel, kunnen deze kosten terugverdienen.

De optimale play-ontwikkeling kansboom kan ook doorgerekend worden met andere aannames, zoals bijvoorbeeld voor een onbekende play met een grotere onzekerheid en dus een lagere overschrijdingskans op een succesvol project. Bij een startkans van bijvoorbeeld P30 is de waarde van een vergelijkbare stand-alone ontwikkeling $0,3 \times 10 \times 1 + (1 - 0,3) \times 10 \times -5,5 = -€ 35,5$ mln. In de play-ontwikkeling kansboom die start bij P30 met verder dezelfde aannames, bedraagt de NPV -€ 7,3 mln. De toegevoegde waarde van de play-benadering is dan nog hoger, namelijk € 28,2 mln.

Het voordeel van de hogere NPV leidt tot een lagere kostprijs voor geothermie (deze is in de onderhavige studie niet bepaald). Deze kan worden doorgegeven via een lagere benodigde maatschappelijke bijdrage in de vorm van subsidies zoals de SDE+ of die voor het afdekken van geologische risico's.

Wanneer de play-benadering wordt toegepast, is de NPV van de gehele play veel groter dan de som van de NPV's van de afzonderlijke projecten in de play. De ondergrondinformatie, kennis en expertise opgedaan bij de exploratie en ontwikkeling van het eerste project dragen substantieel bij aan risicoreductie van vervolgprojecten in dezelfde play. De omvang van deze waarde hangt af van het herhaalpotentieel en de mate van de ondergrondonzekerheid van de startkans op het benodigde vermogen.

3.5 Waardering optimale play-ontwikkeling Jura/Krijt, Trias en Rotliegend

De bovenstaande methode is toegepast op de drie onderscheiden plays Jura/Krijt, Trias en Rotliegend. om inzicht te krijgen in de waarde bij toepassing van de playbenadering.

3.5.1 Aannames

De volgende gegevens en aannames zijn gebruikt om de warmtevraag en hoeveelheid standaarddoubletten te bepalen:

- potentiekaarten met startkansen van ThermoGIS;
- bestaande warmtenetten (bron: RVO WarmteAtlas. Er is aangenomen dat een doublet van 10 MW_{th} ongeveer 6000 woningen kan verwarmen. Dit komt ongeveer overeen met 35 GJ/jaar/huis (vgl. een woningequivalent (weq) van 36 GJ (ENECO et al. 2017));
- lage temperatuur (LT) industriële warmtevraag uit de WarmteAtlas van RVO. Hiervan is de warmtevraag (TJ/jaar) gegeven;
- kassengebieden (bron: Kadaster Top10Vector). Er is aangenomen dat 1 doublet van 10 MW_{th} 20 hectare kassen kan verwarmen (0,5 MW_{th} per hectare kas);

Figuur 3.13

| input page | |
|-----------------------------------|------|
| user input | |
| max number of projects | 6 |
| number of failures allowed | 2 |
| starting probability of succes | 30% |
| max probability desired | 90% |
| % higher after succesful project | 20% |
| % lower after failed project | 10% |
| value of NPV with succes (€ mln) | 1.0 |
| value of NPV with failure (€ mln) | -5.5 |
| repeat potential | |

Figuur 3.13 Invoerwaarde kansboom waardering geriskeerde NPV subplays

- op basis hiervan is per subregio ook tot het aangegeven herhaalpotentieel gekomen zoals aangegeven in tabellen 3.1 – 3.

De al eerder gehanteerde aannames voor de waardering zijn:

- de NPV bij succes is gesteld op € 1 mln en bij mislukking op -€ 5,5 mln;
- de kansboom zoals aangegeven in **Figuur 3.11** en **3.12**;
- de ThermoGIS klasse 30-50% is voor de analyse gelijkgesteld aan een startkans van 30%, die van >50% aan een startkans van 50%. Een doublet van 10 MW_{th} produceert op jaarbasis ongeveer 0.2 PJ (gebaseerd op 5500 vollasturen²⁶);
- het aantal toegestane misboringen is 2, waarna exploratie stopt. De exploratiefase duurt maximaal 6 boringen.

Figuur 3.13 illustreert hoe een aantal inputwaarden wordt ingevoerd voor de NPV-waardering van de (sub)play-ontwikkeling ten opzichte van die van een stand-alone ontwikkeling. Het herhaalpotentieel ('repeat potential') verschilt zoals al gezien in paragraaf 3.b per subplay of subregio.

Tabellen 3.4-6 laten voor Jura/Krijt, Trias en Rotliegend per subregio het herhaalpotentieel zien en de op basis van bovenstaande input en aannames berekende NPV volgens de play-benadering en die volgens een stand-alone-benadering zonder enige leereffecten.

De orde van grootte van de waardeverschillen van het de-risk effect onder deze aannames is zeer substantieel, en het meest omvangrijk in de Jura/Krijt-play. Deze kent voor een herhaalpotentieel van in totaal 288 projecten in 7 subregio's een waarde van bijna € 1 mld ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling. De Trias-play kent op een totaal van 198 projecten een waardeverschil van ongeveer € 440 mln. De Rotliegend-play kent met 276 projecten een waardeverschil van ongeveer € 660 mln. Opgeteld per hoofdplay betekent de play-ontwikkeling ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling een waardeverschil van ongeveer € 2 mld²⁹.

Bovenstaande play-benadering zou op basis van bovenstaande input en aannames leiden tot een te

²⁶ In de analyse wordt gerekend met de aanname van 5500 vollasturen een zekere basisload. Dit betekent dat het van belang is geothermie goed in te kunnen in het totale vraagprofiel wat met name voor warmtenetten seizoensgebonden is: groot in de winter, klein in de zomer - het zogenaamde 'badkuiprofiel'. De piekvraag kan worden geleverd door andere bronnen zoals gas-, biomassa verbrandingsketels of bijvoorbeeld Hoge Temperatuur Opslag (HTO) die in de zomer geladen wordt.

| Jura/Krijt per subregio | herhaalpotentieel | NPV portfolio (mln €) | NPV stand-alone (mln €) | verschil (mln €) |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Bollenstreek | 15 | -4.2 | -49.5 | 45.3 |
| Friesland Groningen | 0 | -4.9 | -0.9 | -3.9 |
| Rotterdam | 30 | -1.4 | -70.1 | 68.7 |
| Voorne / Vierpolders | 7 | -4.6 | -25.5 | 20.9 |
| Westland | 159 ²⁷ | 1.7 | -544.1 | 545.8 |
| Zoetermeer / Oostland | 70 | -2.3 | -243.7 | 241.5 |
| Zuidoost Drenthe | 7 | -4.6 | -26.1 | 21.5 |
| totaal | 77 | -20.3 | -959.9 | 939.8 |

Tabel 3.4 Verschillen in NPV tussen de portfolio- en stand-alone-benadering voor de Jura/Krijt subregio's.

| Trias per subregio | herhaalpotentieel | NPV portfolio (mln €) | NPV stand-alone (mln €) | verschil (mln €) |
|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Alblasserdam | 50 | 6.4 | -30.8 | 37.2 |
| Friesland Groningen | 0 ²⁸ | -4.9 | -0.7 | -4.1 |
| Grubbenvorst | 1 | -4.8 | -3.6 | -1.3 |
| kop Noord Holland | 0 | -4.9 | -0.4 | -4.5 |
| Rotterdam | 7 | -4.2 | -17.0 | 12.9 |
| RVG | 23 | -3.5 | -74.2 | 70.7 |
| Steenbergen Breda | 6 | -4.7 | -22.0 | 17.3 |
| Voorne / Vierpolders | 17 | -0.6 | -2.4 | 1.9 |
| Westland | 47 | -2.6 | -156.9 | 154.3 |
| Zoetermeer | 32 | -2.0 | -88.8 | 86.8 |
| Zuidoost Drenthe | 15 | -3.9 | -43.9 | 40.1 |
| totaal | 148 | -29.7 | -440.7 | 411.3 |

Tabel 3.5 Verschillen in NPV tussen de portfolio- en stand-alone-benadering voor de Trias subregio's.

²⁷ Het Westland (oppervlakte minder dan 500 km²) kan maximaal ongeveer 110 doubletten bevatten wanneer de oppervlakte van de invloedssfeer van een doublet met ondergrondse putafstand van 1,5 km op 4,5km² gesteld wordt.

²⁸ In dit gebied is het aantal mogelijke doubletten gelijk aan het in de exploratiefase toegestane aantal boringen.

²⁹ Dit waardeverschil wijkt met € 2 mld. af van de € 2,8 mld die in de initiële analyse van EBN en TNO in 'Portfoliovoordelen voor geothermie' van 17 augustus 2017 in powerpointvorm is aangegeven. In dat scenario waren vergelijkbare de-risk voordelen per play doorgerekend, wat het herhaalpotentieel voor exploratie veel groter maakte en daarmee de NPV voor de play-benadering vergrootte. De hier gepresenteerde analyse gaat uit van het herhaalpotentieel per subplay. Naar verwachting kunnen veel leereffecten van de ene subplay tot op zekere hoogte ook meegenomen worden naar de andere. Dat gebeurt in deze analyse nu niet.

| Rotliegend per subregio | herhaalpotentieel | NPV portfolio (mln €) | NPV stand-alone (mln €) | verschil (mln €) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Bollenstreek | 5 | -3.7 | -2.9 | -0.7 |
| Friesland Groningen | 74 | 5.8 | -139.5 | 145.4 |
| MRA | 36 | -3.7 | -127.2 | 123.5 |
| kop Noord Holland | 111 | 7.3 | -266.2 | 273.5 |
| Noordoostpolder | 19 | -1.2 | -20.7 | 19.6 |
| Zoetermeer / Oostland | 14 | -4.4 | -51.2 | 46.8 |
| RVG | 17 | -4.3 | -61.0 | 56.7 |
| totaal | 276 | -4.2 | -668.7 | 664.8 |

Tabel 3.6 Verschillen in NPV tussen de portfolio- en stand-alone-benadering voor de Rotliegend subregio's.

| kassen | | Jura/Krijt | Trias | Rotliegend | totaal |
|------------|------------|------------|-------|------------|--------|
| portfolio | doubletten | 231 | 118 | 82 | 430 |
| | warmte | 46 PJ | 23 PJ | 16 PJ | 85 PJ |
| realisatie | doubletten | 44 | 30 | 29 | 103 |
| | warmte | 9 PJ | 6 PJ | 6 PJ | 20 PJ |

| industrie | | Jura/Krijt | Trias | Rotliegend | totaal |
|------------|------------|------------|-------|------------|--------|
| portfolio | doubletten | 6 | 39 | 137 | 183 |
| | warmte | 1 PJ | 8 PJ | 27 PJ | 36 PJ |
| realisatie | doubletten | 1 | 19 | 38 | 59 |
| | warmte | 0 PJ | 4 PJ | 8 PJ | 12 PJ |

| woningen | | Jura/Krijt | Trias | Rotliegend | totaal |
|------------|------------|------------|-------|------------|--------|
| portfolio | doubletten | 51 | 41 | 58 | 151 |
| | warmte | 10 PJ | 8 PJ | 11 PJ | 30 PJ |
| realisatie | doubletten | 13 | 12 | 13 | 38 |
| | warmte | 3 PJ | 2 PJ | 3 PJ | 7 PJ |

Tabel 3.7 Geothermische potentie per play en type warmtevraag bij portfolio-benadering.

| kas+industrie+woning | | Jura/Krijt | Trias | Rotliegend | totaal |
|----------------------|--------------|------------|-----------|------------|-------------|
| portfolio | doubletten | 288 | 198 | 277 | 763 |
| | warmte | 57 PJ | 39 PJ | 55 PJ | 151 PJ |
| realisatie | doubletten | 59 | 61 | 80 | 200 |
| | warmte | 12 PJ | 12 PJ | 16 PJ | 40 PJ |
| | NPV | -€ 20 mln | -€ 30 mln | -€ 4 mln | -€ 59 mln |
| | Δ NPV | € 940 mln | € 411 mln | € 665 mln | € 2,011 mln |

Tabel 3.8 Geothermische potentie per play bij portfoliobenadering.

realiseren geothermiepotentieel in de drie hoofdplays van ongeveer 200 doubletten en 40 PJ. Hierbij zijn de berekende hoeveelheden potentiële doubletten of herhaalpotentieel per subplay van in totaal 763 doubletten gecorrigeerd voor de berekende kansen op succesvolle ontwikkeling van een portfolio gegeven een startkans van 30% of 50%. Die zijn bij een kansboom van +20% en -10% per stap en een stoppen bij twee misboringen op respectievelijk 18% en 52%.

Tabel 3.7 en Tabel 3.8 geven per warmtevraag en per play het aantal potentiële ('unrisked') en te realiseren ('risky') doubletten weer.

3.6 Betekenis waardering en gevoeligheidsanalyse

Het is belangrijk op te merken dat het waardeverschil van € 2 mld zich op deze manier in de praktijk nooit zal voltrekken. Dit komt met name doordat in de praktijk in het stand-alone scenario zonder kennisdeling en leereffect niet het hele herhaalpotentieel zal worden ontwikkeld door een te groot aantal misboringen. Het kan wel even doorgaan, omdat er zowel onverwachte successen als misboringen tussen kunnen zitten. Naar verwachting zal de ontwikkeling in het stand-alone scenario zoals hierboven geschetst in de praktijk vertragen of stoppen. Het is daarom essentieel het grote waardeverschil in het juiste perspectief te plaatsen. Wat geeft het aan? De play-benadering in analyse en waardering betekent in ieder geval het volgende:

- het herhaalpotentieel in een subplay bepaalt samen met de startkans (P) en de onzekerheid van de startkans (O) de waarde van een bepaalde match tussen ondergrondgeologie en warmtevraag. Ook

het geothermisch potentieel is daarmee afhankelijk van de startkans, de onzekerheid ervan en het herhaalpotentieel;

- een startkans met een grote onzekerheid (O) betekent dat de ondergrond nog onbekend is en dat het succesvolle ontwikkeling van geothermie niet uitsluit. Een lage startkans met een grote zekerheid doet dit wel;
- een groter herhaalpotentieel (H) betekent ook dat het de moeite waard kan zijn gebieden met een lagere startkans en grote onzekerheid te exploreren. Het kan ook betekenen dat het de moeite waard is om meer misboringen te accepteren. Een hoge (H) en hoge (O) maken het de moeite waard om naar de juiste startkans (P) te zoeken door middel van exploratie (E);
- ThermoGIS richt zich bij het inschatten van geothermie nu met name op de startkans van een enkel project. Het neemt het herhaalpotentieel en de onzekerheid van de startkans nog niet mee en daarmee ook niet de waarde voor de ontwikkeling van geothermie in plays en subplays. In een vervolversie is het te overwegen behalve het startrisico ook het herhaalpotentieel en de onzekerheid en een indicatie van de NPV-waarde van een play-ontwikkeling erin op te nemen;
- door een play-benadering wordt een bij elkaar horende groep projecten in een subplay NPV-positief (of minder negatief) waar deze bij een stand-alone project in dezelfde play negatief is. Hoe groter het herhaalpotentieel in een dergelijke groep, des te hoger de NPV. Uit het oogpunt van geologische risicoreductie en economische NPV is het van belang geothermieprojecten per (sub)play te benaderen en ontwikkelen;

- de play-benadering heeft een zeer grote meerwaarde boven stand-alone ontwikkeling. Het is van belang zoveel mogelijk van deze meerwaarde te realiseren voor een optimale ontwikkeling van geothermie als competitieve, duurzame warmtebron.

Het is verder van belang aan te geven dat in bovenstaande waardering met relatief verouderde aannames is gewerkt. Er is gewerkt met ThermoGIS informatie uit 2012 en relatief ruwe warmtevraaginformatie uit de WarmteAtlas. In paragraaf 2.7 is al gewezen op het dynamische karakter van het geothermiepotentieel.

Daarbij zijn bovenstaande aannames conservatief te noemen. Omdat ThermoGIS op stand-alone basis is ingericht naar startkans voor een individueel project in een gebied zijn grote mogelijk relevante delen voor de ontwikkeling van geothermie niet meegenomen. In deze analyse is de startkans voor P30 als cutoff waarde meegenomen. De blauwe gebieden van **Figuur 2.7** zijn niet meegenomen. Waar in die gebieden een groot herhaalpotentieel bestaat in de (sub)plays, is het exploreren hiervan het overwegen waard - met name ook omdat de onzekerheid van de startkans nog zeer groot is. De ondergrond is onbekend.

Vanwege de verouderde gegevens en het buiten beschouwing laten van het grootste deel van Nederland komt het geothermiepotentieel in deze exercitie uit op slechts 40 PJ en ongeveer 200 doubletten. Uit lopende activiteiten in de Green Deal Brabant en de Geothermie Alliantie Zuid Holland lijkt naar voren te komen dat er een aanzienlijk groter potentieel bestaat, en een groter herhaalpotentieel per subplay. Het is belangrijk deze bevindingen verder te onderzoeken. Verder kunnen de aannames per subplay specifieker worden gemaakt: er is een overschrijdingskans per geologische subplay mogelijk op basis van specifiekere geologische informatie, specifiekere boorkosten en business case.

De bovenstaande waardering maakt duidelijk dat de meerwaarde substantieel is wanneer geothermie in samenhang en play-based wordt ontwikkeld in plaats van stand-alone.

De gedane aannames kunnen in de praktijk of in de toekomst anders uitpakken. Om hier een indruk van te geven, is een aantal ervan gewijzigd en ook doorgerekend voor een waardering van de play-benadering versus de stand-alone benadering. Dit geeft

weer verder inzicht voor een optimale toepassing van de play-benadering.

Aantal keer falen in boom

De analyses zijn gebaseerd op het doorlopen van de boom waarin exploratie stopt in een subplay na twee keer falen van een exploratieboring. Maximaal één keer falen toestaan, leidt tot een 30-35% lagere slagingskans van een subplay, wat de hoeveelheid uiteindelijk te realiseren doubletten verlaagt. Dit zou voor de drie plays resulteren in een totaal van circa 25 PJ aan geothermie in plaats van 40 PJ. Een dergelijke meer voorzichtige exploratiestrategie zou circa € 100 mln minder kosten ten opzichte van bovenstaande scenario. Het toestaan van maximaal drie keer falen leidt tot een 20-50% hogere slagingskans van een subplay, resulterend in circa 55 PJ in plaats van 40 PJ. Deze meer risicovolle exploratiestrategie zou circa € 100 mln meer kosten ten opzichte van de base case. Zoals al eerder aangegeven zou het toegestane aantal keer falen zowel af moeten hangen van de veranderende startkans als het aanwezige herhaalpotentieel in een (sub)play.

Startkans

De aangenomen startkans in de boom voor iedere subplay is gekozen conform het de laagste contour van slaagkans (30% bij een gebied van 30-50% kans en 50% bij een gebied van >50%) van het gebied van herhaalpotentieel. In plaats van de onderwaarde van de slaagkans kan ook een gemiddelde worden genomen (40% bij een gebied van 30-50% en 70% bij een gebied >50%). In dit geval neemt het verwachte realiseerbare potentieel significant toe, van 40 naar 70 PJ. De verandering van startkans heeft een effect op de kostenbesparing van de portfoliobenadering ten opzichte van een stand-alone benadering. Deze bedraagt 1,7 miljard euro (mld) in plaats van € 2,0 mld.

Vermindering van leereffect

Als het generieke leereffect in de boom wordt vermindert van 10% naar 5%, leidt dat tot een 25-50% lagere slaagkans van de portfolio. Dit resulteert in circa 25 PJ realiseerbare potentie ten opzichte van de base case. De verlaging van het leereffect leidt tot een beperkte verlaging van de kostenbesparing, die circa € 0,1 mln bedraagt ten opzichte van de base case. Het kleine verschil hangt samen met het beperkte herhaalpotentieel, waarin de relatief slechter presterende kostenbesparing wordt geëffectueerd. De gerealiseerde geothermische potentie is immers met

meer dan een derde afgenomen ten opzichte van de base case. Beter leervermogen levert dus bij gelijke kostenbesparing een veel hoger rendement in termen van geothermische realisatie.

Multilayer effect en andere effecten

In de analyse is nu het multilayer effect niet meegenomen. Dit effect houdt in dat met een boring meerdere lagen tegelijk geëxploreerd kunnen worden. Hierdoor kunnen meerdere plays gederiskst worden. Op deze manier is het mogelijk om subplays goedkoper te de-risken (lagere boorkosten per exploratieboring) en om vaker te de-risken (accepteren van meer mislukte boringen of falen) wat de kans op succesvolle ontwikkeling van de subplays vergroot.

Vergelijkbaar is de synergie van de ondergronddata en -kennis niet meegenomen tussen andere ondergrondactiviteiten. Het de-risken van de ondergrond voor de ene activiteit helpt ook die voor de andere activiteit. Met name op het gebied van het combineren van geothermie en olie- en gaswinning zou onshore nog veel mogelijk zijn. Dit gaat om hergebruik van bestaande olie- en gasputten, maar ook om nieuwe projectontwikkelingen waarbij tijdelijk nog olie- en gas gewonnen worden en tegelijk duurzame geothermie kan worden ontwikkeld die profiteert van een sterke risico- en kostenreductie.

Verder zijn in deze analyse relatief ondiep gelegen reservoirs van de Tertiaire Noordzeegroep, waar ondiepe geothermie mogelijk is, nu niet meegenomen, evenmin als het Dinantien. Ook hier levert de play-benadering grote meerwaarde op, net als het multilayer effect.

Tot slot verandert het herhaalpotentieel sterk als de warmtevraag beter in kaart zou worden gebracht. Zo zou het bijvoorbeeld groter kunnen worden door groei van de hoeveelheid en omvang van de warmtewetten. Er is nu uitgegaan van een totaal geïnventariseerde warmtevraag van 424 PJ, waarvan 158 PJ zich binnen de meegenomen subplays bevindt in het beperkte gebied met een $P > 30$. Dit resulteert in een conservatief scenario met een geriskeerde uitkomst van 40 PJ zoals aangegeven.







Overige vijf voordelen van de play-based portfoliobenadering

4

In het vorige hoofdstuk is aangegeven hoe de basis van de energiebron voor geothermie, de ondergrond, sterk heterogeen is en dat daarbinnen meer homogene geologische plays en subplays bestaan. Dit betekent ook dat optimale putconfiguraties en -ontwerpen, engineering, de booractiviteiten, risico-inschattingen en reservoirmanagement sterk (sub)play-specifiek zijn. De eigenschappen van de ondergrond werken door in de afstemming van de gehele projectontwikkeling. Dit betekent dat ook andere voordelen van een portfoliobenadering play-based kunnen worden ingericht.

4.1 Inleiding

Behalve de optimale play-ontwikkeling voor geologische risicoreductie zijn ook de andere vijf voordelen hierop gebaseerd.

Ze worden achtereenvolgens in dit hoofdstuk kort behandeld en waar mogelijk gekwantificeerd:

- verbetering veilige en verantwoorde integrale projectontwikkeling (4.2);
- kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie activiteiten in levenscyclus (4.3);
- optimalisatie met bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur (4.4);
- mogelijkheid tot structurele opzet R&D en innovatie (4.5);
- financieringsvoordelen (risicodeling, verlaging kosten financiering (4.6).

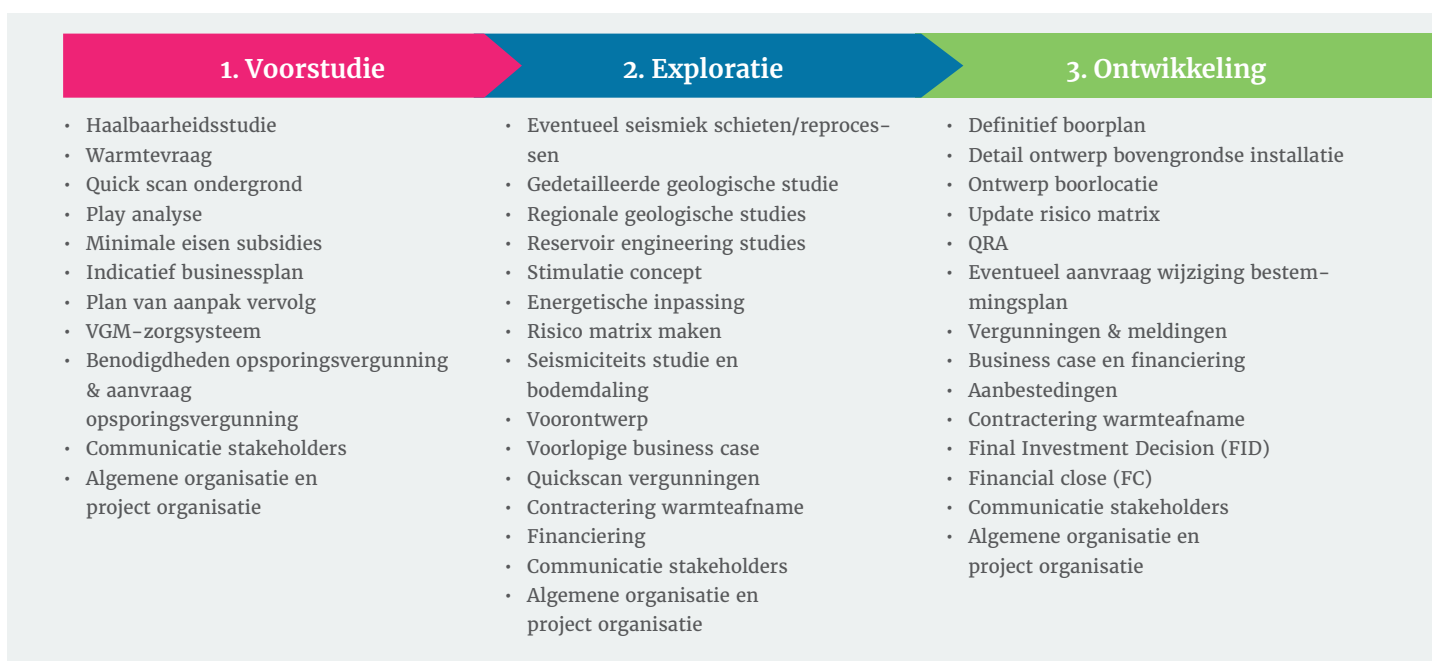
4.2 Voortdurende verbetering door integrale projectontwikkeling

De activiteiten van een geothermieproject zijn onder te verdelen in verschillende fases; voorstudie, exploratie, ontwikkeling, realisatie, productie en opruimen. **Figuur 4.1** geeft een overzicht van de verschillende activiteiten van een geothermieproject. De activiteiten in de levenscyclus van een project zijn sterk aan elkaar gerelateerd, waarbij de gedetailleerde geologische data-acquisitie, -analyse en modellering binnen de subplay de basis vormen voor de energetische inpassing, het voorontwerp en het

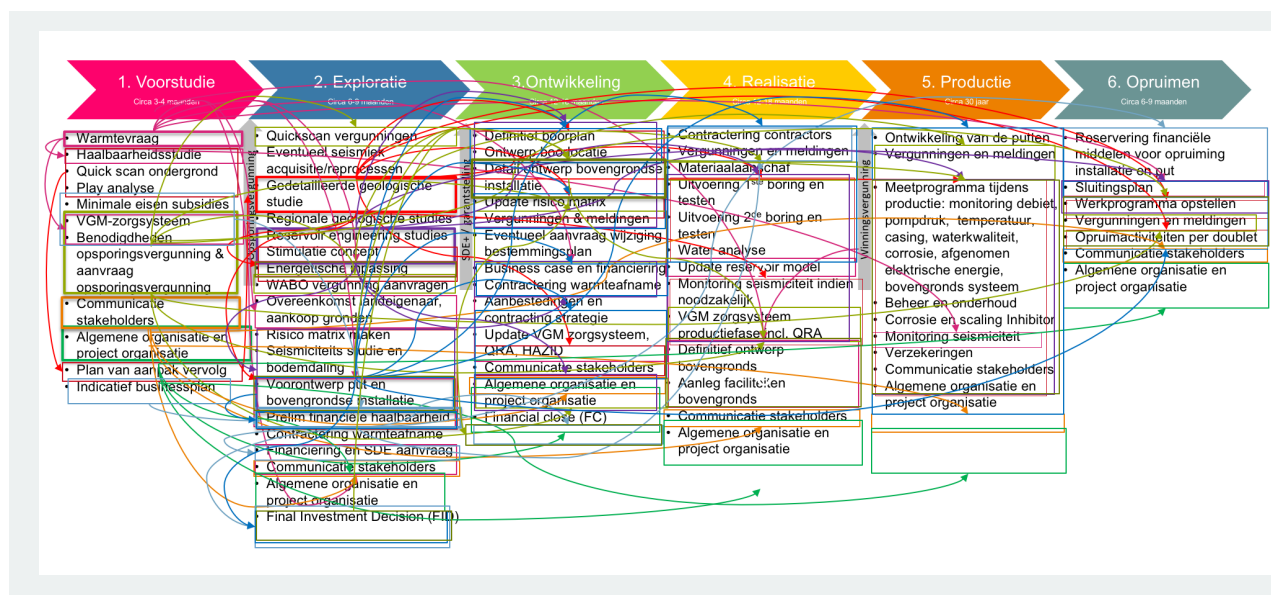
boorplan, risicomanagement, monitoring, het reservoir-management in de 30 jaar van productie tot en met het werkprogramma voor de opruimactiviteiten.

Integrale projectontwikkeling houdt in dat de onderliggende afhankelijkheden tussen alle activiteiten in de levenscyclus van een project vooraf goed worden doordacht. Ze worden geoptimaliseerd en op basis van eigen ervaring of ervaringen uit vergelijkbare projecten uitgevoerd door andere partijen voortdurend verbeterd.

Figuur 4.2 laat de afhankelijkheden tussen de verschillende activiteiten zien. Het spreekt voor zich dat als geologisch vooronderzoek, analyse en modellering niet van voldoende kwaliteit zijn, dit grote negatieve consequenties kan hebben voor het aantreffen of bereiken van de juiste lagen met de juiste eigenschappen in het reservoir, voor de toe te passen putconfiguratie, -trajecten en ontwerpen, voor de booractiviteiten zelf en voor de kwaliteit van het reservoirmanagement in de 20 tot 30 jaar van de productie. Integrale projectontwikkeling is ook essentieel voor kwalitatief goed management van de risico's tijdens het boren en produceren. En goede integrale projectontwikkeling leidt tot identificatie van grote voordelen in de ontwikkel-, boor- en productiefase door goed doordachte voorafgaande analyse-engineering.



Figuur 4.1 Activiteiten binnen de levenscyclus van een geothermie doublet.



Figuur 4.2 Samenhang tussen de activiteiten binnen de levenscyclus van een geothermieproject.

Veiligheid, integriteit, kostenefficiëntie en opbrengsten van het project worden verhoogd door integrale projectontwikkeling toe te passen. De meeste kwaliteits-, veiligheids-, gezondheids- en milieukwaliteitssystemen, zoals de ISO 9000-serie of Six sigma, gaan uit van integrale projectbenadering met iteratieve leercyclus. Hierbij worden voortdurend alle activiteiten in samenhang geanalyseerd. Een goed voorbeeld hiervan is het integraal beschouwen van

mogelijke risico's. Deze worden in kaart gebracht en gemitigeerd. Vervolgens wordt een meetprogramma opgesteld en uitgevoerd om de relevante risico's te kunnen monitoren tijdens de productie.



- Selectie en contractering contractors
- Vergunningen en meldingen
- Materiaalaanschaf
- Uitvoering 1ste boring en testen
- Uitvoering 2de boring en testen
- Water analyse
- Update reservoir model
- Monitoring seismiteit indien noodzakelijk
- VGM zorgsysteem productiefase
- QRA productiefase
- Definitief ontwerp bovengronds
- Aanleg faciliteiten bovengronds
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

- Ontwikkeling van de putten
- Vergunningen en meldingen (o.a. WVA, NORM)
- Meetprogramma tijdens productie: monitoring debiet, pompdruk, temperatuur, casing, waterkwaliteit, corrosie, afgenomen elektrische energie, bovengronds systeem
- Beheer en onderhoud
- Inhibitor
- Verzekeringen
- Monitoring seismiteit
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

- Reservering financiële middelen voor opruiming installatie en put
- Werkprogramma opstellen
- Vergunningen en meldingen
- Opruimactiviteiten per doublet
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

Ten opzichte van de huidige stand van zaken zoals beschreven in hoofdstuk 2 kunnen in de geothermie-sector met name twee ontwikkelingen bijdragen aan de toepassing van integrale projectontwikkeling:

1. Doorontwikkeling van sterke geothermie-operators die meermalig projecten willen uitvoeren als kernactiviteit. Alleen door het zich toeleggen op het ontwikkelen, uitvoeren en managen van geothermieprojecten is integrale projectontwikkeling mogelijk.
2. Play-based ontwikkeling van geothermieprojecten. Play-based ontwikkeling werkt op basis van de mate van vergelijkbaarheid van de meermalig uit te voeren projecten. Hoe sterker deze is, des te beter kunnen de relaties tussen de activiteiten worden geoptimaliseerd. In die zin is (de opbouw van) bekendheid en ervaring met en expertise van de specifieke Nederlandse ondergrond en de daarin voorkomende plays en subplays een belangrijk voordeel. Integrale projectontwikkeling kan plaatsvinden tussen geothermieprojecten in het algemeen en verder worden geoptimaliseerd per (sub)play.

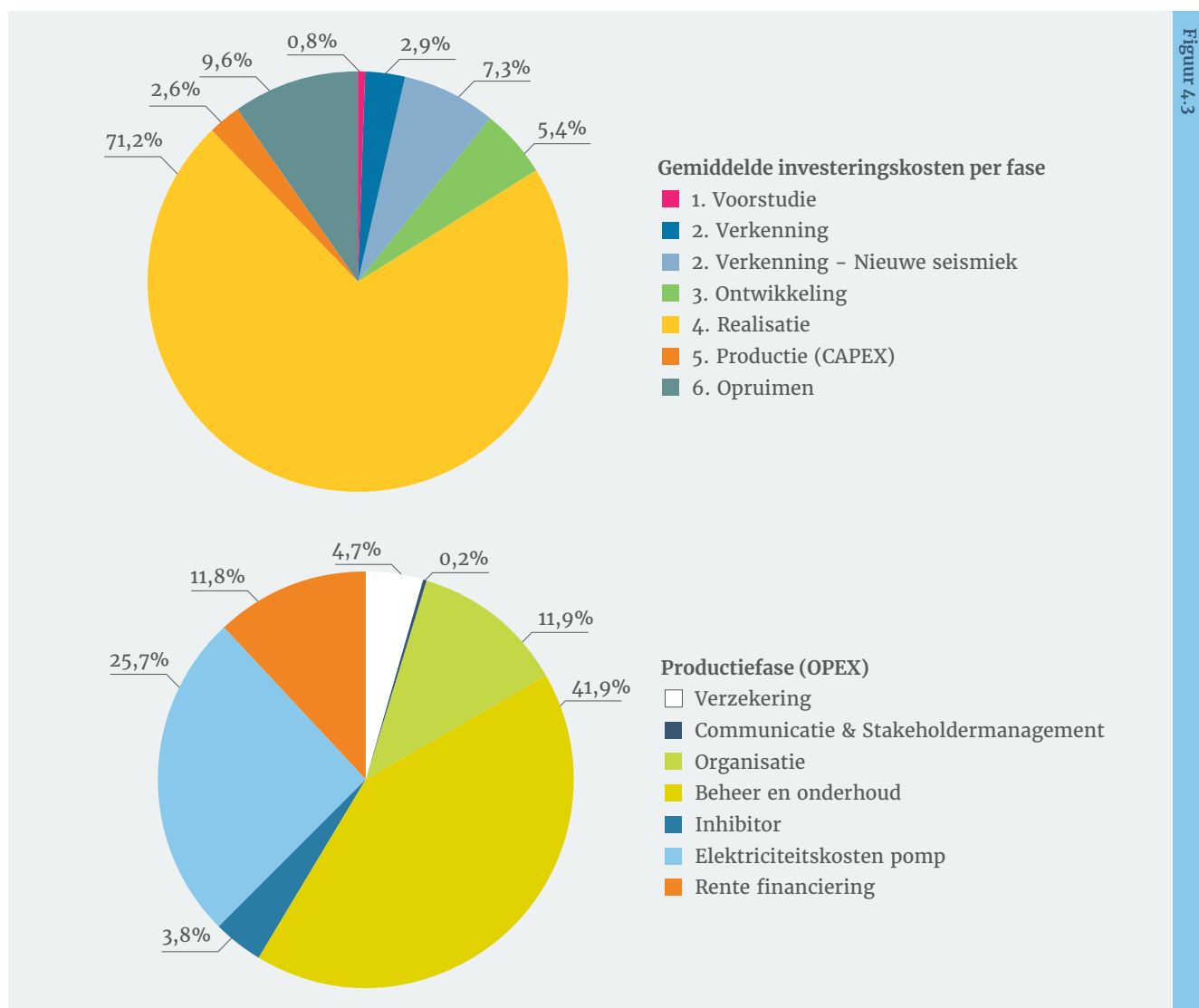
Integrale projectontwikkeling, ingericht op (sub)play basis, verhoogt de kwaliteit van de projecten sterk. Het reduceert risico's en kosten en kan opbrengsten over de hele levensduur van de projecten sterk verhogen.

4.3 Kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie activiteiten in levenscyclus

Het meermalig uitvoeren van projecten maakt niet alleen integrale projectontwikkeling mogelijk. Het creëert in het verlengde daarvan ook meerwaarde door het behalen van synergie tussen en in meervoudige projectontwikkelingen. Het zorgt voor efficiëntie en maakt standaardisatie mogelijk – zeker bij gelijksoortige ontwikkelingen binnen een (sub)play. Hoe eenvormiger de ondergrond qua target reservoir en overburden, des te eenvormiger de putconfiguratie, ontwerpen, benodigde drilling rig, risicomangement et cetera. Ook drilling crews, supervisors en operator-organisaties kunnen zichzelf en de initiële complexiteit hierin bij elk project beter managen. Met grotere aantallen putten en projecten in dezelfde subplay en geografisch gebied zijn ook bijvoorbeeld vormen van multiwell pad- of batch drilling mogelijk die grote kostenreducties met zich mee kunnen brengen. Onder synergie, efficiëntie en standaardisatie wordt hier het volgende verstaan:

- **Synergie:** slim samenvoegen van activiteiten die voor meerdere projecten nodig zijn. Voorbeelden hiervan zijn geologische voorstudies of die voor warmtevraag voor meerdere projecten, het opnemen van seismiek en reprocessen ervan, het uitwerken van geologische modellering, het inrichten van vergunningverleningsprocessen, het opzetten en voortdurend verbeteren van VGM-zorgsystemen, het inrichten en voortdurend verbeteren van risicomangementssystemen, het inrichten van de governance van SPV's, engineering, het inhuren van rig slots voor boringen, aanbesteding, contractering en engineering, et cetera.
- **Efficiëntie:** het steeds slimmer investeren op de juiste plaats in de levenscyclus om risico's en kosten later te voorkomen of opbrengsten te vergroten. Dit kan bijvoorbeeld door op basis van ervarings- en monitoringgegevens bepaalde kostitems weg te kunnen weglaten, bijvoorbeeld een BOP of een gasseparator, omdat het aantoonbaar mogelijk is. Dit kan door het toevoegen van bepaalde items, bijvoorbeeld extra meet- en monitoringtechnologie, inhibitors of extra casing, om problemen vooraf te kunnen identificeren en/of door bepaalde risico's en kosten later in de ontwikkeling te voorkomen. Dit gaat om voortdurend slimme afwegingen over de omvang van seismiek, reprocessing, meet- en monitoring voor begrip in boor-, productie- en reservoirmanagement, ontwerp- en materiaalspecificaties optimaliseren voor maintenance, of het juist timen van het proces van dialoog met alle betrokkenen, et cetera.
- **Standaardisatie:** het identificeren en optimaliseren van repetitieve activiteiten in de levenscyclus. Voorbeelden hiervan zijn: standaardisatie inkoop- en verkoopcontractvorming, database ondergronddata, interne organisatie, analyse, ontwerp- en engineeringactiviteiten, alle logistieke en constructie- werkzaamheden et cetera. Zeker als er (sub)play grote aantallen putten en doubletten kunnen worden gerealiseerd zijn hier veel risico- en kostenreducties mogelijk.

Om een inschatting te krijgen van de orde van grootte van de mogelijke kostenbesparing van deze effecten is samen met experts uit de sector een analyse gemaakt van de activiteiten in de levenscyclus van een geothermiedoublet. Deze geeft de mogelijke besparingen weer voor elk van de activiteiten die **Figuur 4.3** weergeeft.



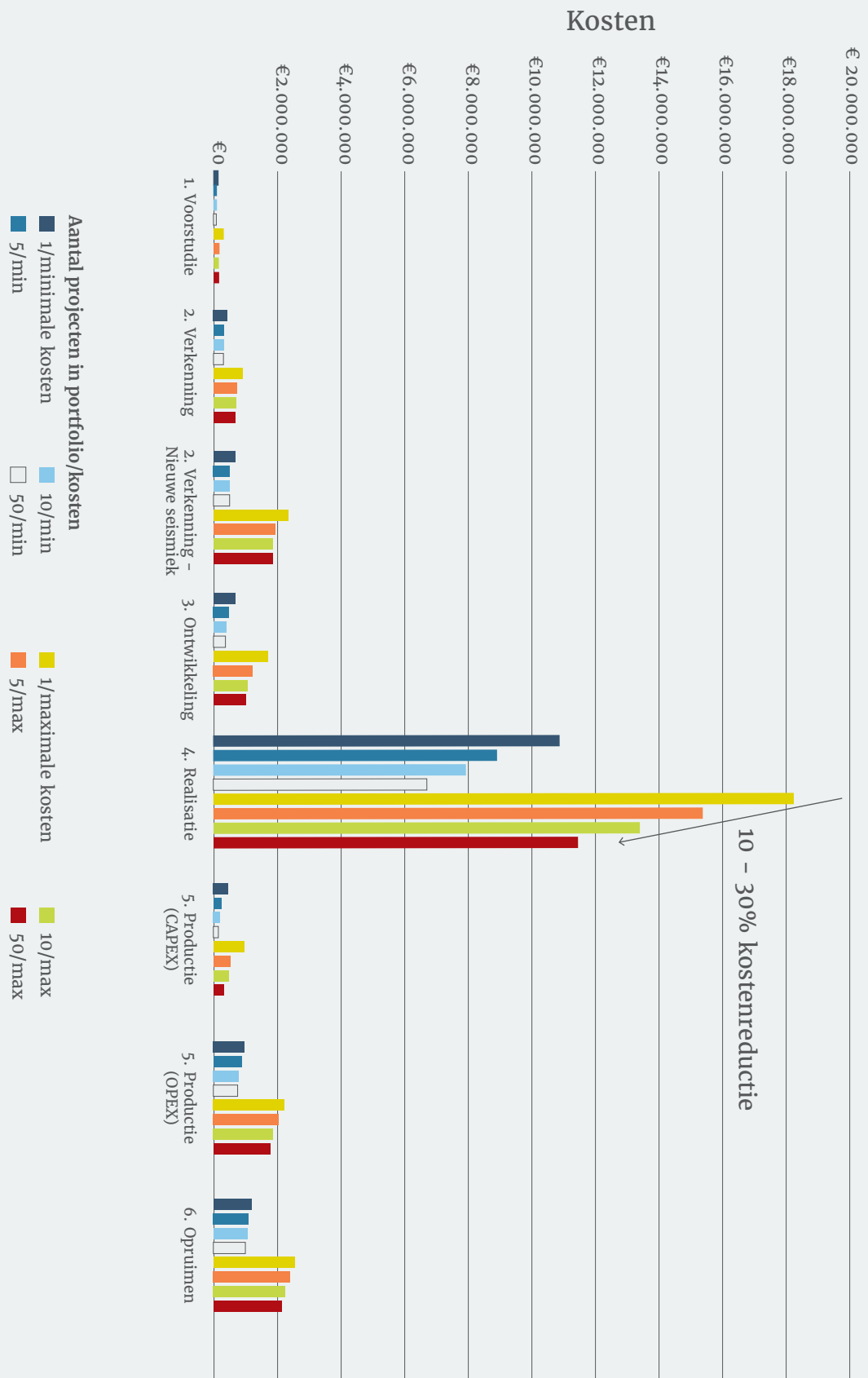
Figuur 4.3 Kostenverdeling van een stand-alone geothermieproject.

Voor elk van deze activiteiten is een kostenrange geschat voor een stand-alone project naar 3 kilometer diepte. Ze zijn ingeschat op basis van kennis en expertise van EBN en TNO. Vervolgens zijn deze beoordeeld door experts van geothermie-operators Hydreco GeoMEC B.V., ECW, Wayland en Royal Haskoning DHV.

De totale kosten van alle activiteiten in **Figuur 4.3** bedragen € 14-27 mln. De verhoudingen tussen de verschillende hoofdfasen zijn weergegeven in **Figuur 4.3**. De operationele kosten zijn ingeschat op jaarlijks € 0.9-2.1 mln. De kosten van een daadwerkelijk project op deze diepte zullen in deze bandbreedte liggen. Ze zijn afhankelijk van bijvoorbeeld de kwaliteit van de beschikbare seismiek en de opbouw van de ondergrond. Zo kost een boring die door een zoutlaag heen gaat meer dan een boring

naar diezelfde diepte zonder zoutlaag. Voor seismiek ligt die range bijvoorbeeld tussen nihil (omdat de huidige ondergronddata reeds beschikbaar zijn, tot hoog (voor het scenario waarbij nieuwe seismiek geacquireerd moet worden, omdat de bestaande data onvoldoende zijn).

Als tweede stap zijn alle activiteiten uit **Figuur 4.3** een voor een bekeken vanuit een portfolio-benadering en wat synergie, efficiëntie en standaardisatie zou kunnen besparen voor 5, 10 en 50 projecten per activiteit. De inschatting van de voordelen per activiteit bedragen in elke fase tussen de 5 a 30% van de kosten zoals weergegeven in **Figuur 4.4**. Ook deze inschattingen zijn gebaseerd op expert judgement op basis van kennis en expertise van EBN en TNO. Ze zijn beoordeeld door Hydreco GeoMEC, ECW, Wayland en Royal Haskoning DHV.



Figuur 4.4. Bandbreedte van de kosten, per fase

De verhoudingen van de kosten tussen de verschillende fases in de levenscyclus van een project blijven vrijwel gelijk in een meermalige portfolio-benadering ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling. De activiteit van het boren van de putten in de realisatiefase vormen de duurste activiteit van de ontwikkeling. De kostenreductie is daarom (in absolute termen) veruit de grootste in de realisatiefase. De besparing in deze fase bedraagt 10–30% (Figuur 4.4). Door de portfolio-benadering toe te passen ontstaat een leercurve door ervaring met de ondergrondformaties op het gebied van onder meer drilling hazards, mud-toepassing, side tracking, en optimale casing. Het leidt tot mogelijke reductie in de boortijd en kan het boortraject optimaliseren zoals bijvoorbeeld bij het bepalen van de optimale diepte van de casing schoen. Daarnaast kunnen grote besparingen gehaald worden door het uitbesteden van meerdere projecten tegelijk, meerdere doubletten te boren vanaf één boorlocatie of het huren van een rig voor een bepaalde tijd. Voor geothermie is het op termijn wellicht mogelijk tot multiwell pad- of batch drilling te komen, wat de boorkosten nog sterker kan terugbrengen.

Overigens komt uit de logica van integrale project-ontwikkeling naar voren dat kostenreducties hierin niet per se uit de booractiviteiten zelf hoeven komen. Ook de ondergrondanalyse en de ontwerpfasen kunnen hier sterk aan bijdragen. De kwaliteit van het geologische onderzoek en de modellering draagt bijvoorbeeld sterk bij aan de kwaliteit van het boorplan en de kostenbeheersing gedurende de uitvoering hiervan.

Naar verwachting kunnen op termijn ook sterke kostenreducties en opbrengstoptimalisaties worden behaald bij een veilige en verantwoorde inzet van stimulatietechnieken. Deze zijn in de analyse nu nog niet meegenomen.

Voorts leveren deze voordelen echter niet alleen een kostenbesparing op. Ze vergroten ook sterk de kwaliteit en de uptime van het gehele project. Deze zijn echter in deze analyse nog niet gekwantificeerd. Door goede meet- en monitoringsprogramma's op de bestaande en nieuwe putten kan ook hier inzicht in worden verkregen en kunnen deze voordelen worden gekwantificeerd en verder geoptimaliseerd. De huidige mogelijkheden op het gebied van ICT bieden hier grote kansen voor veel snellere, intelligentere dataverwerking van alle aspecten van de activiteiten, risico's, kosten en consequenties van bepaalde keuzes

hierin. Het toepassen van big-data systemen in de complexe integrale project- en portfolio-benadering kan hier significante risico- en kostenreducties met zich meebrengen.

Als derde stap is deze waarderingsmethode van kostenbesparing toegepast per subplay op het conservatieve scenario uit de optimale play-benadering uit het vorige hoofdstuk van circa 200 doubletten en 40 PJ. Dit geeft een orde-van-grootte-inschatting van het potentieel om dergelijke kostenbesparingen te realiseren. Tabel 4.1 toont hiervan de resultaten. Hierbij zijn de volgende aannames gehanteerd:

- een portfolio om de besparing te realiseren, bestaat uit de hoeveelheid doubletten in een enkele subplay zoals eerder geïdentificeerd in paragraaf 3.a. De hoeveelheid besparing hangt af van dit aantal en wordt gerelateerd aan de percentage kostenbesparing zoals ingeschat voor 5, 10 of 50 doubletten uit Figuur 4.4;
- er zijn geen voordelen aangenomen tussen de verschillende subplay-portfolio's binnen een zelfde play. Dit betekent bijvoorbeeld dat twee naast elkaar liggende subplays van het Rotliegend als twee aparte portfolio's worden. De mogelijke synergie, efficiëntie en standaardisatie hiertussen die ook mogelijk is, wordt hier nog niet meegenomen;
- er zijn geen voordelen aangenomen tussen de verschillende play-portfolio's. Zo zijn er meer voordelen te halen als een operator zowel een sub-play uit het Krijt en Rotliegend in zijn portfolio heeft dan het voordeel van de twee uit dit overzicht bij elkaar opgeteld. Ook deze bredere synergie, efficiëntie en standaardisatie is niet meegenomen;
- het vermogen van een doublet bedraagt 10 MW_{th}. Dit houdt in dat afwijkingen voor kleinere of grotere configuraties niet zijn meegenomen;
- een gemiddelde investering van een doublet bedraagt € 20,7 mln.

| play | subplay | aantal gerealiseerde doubletten | gemiddelde investeringen doubletten stand-alone [mln €] | gemiddelde investeringen doubletten portfolio [mln €] | kostenreductie portfolio t.o.v. stand-alone [mln €] | kostenreductie portfolio t.o.v. stand-alone [%] |
|---------------|---------------------|---------------------------------|---|---|---|---|
| Jura/Krijt | Bollenstreek | 3 | 62,0 | 56,5 | 5,5 | 9 |
| | omgeving Zoetermeer | 13 | 268,5 | 194,8 | 73,7 | 27 |
| | Rotterdam | 9 | 185,9 | 139,5 | 46,4 | 25 |
| | Vierpolders | 1 | 20,7 | 20,7 | 0,0 | 0 |
| | Westland | 30 | 619,7 | 425,9 | 193,8 | 31 |
| | Zuidoost Drenthe | 1 | 20,7 | 20,7 | 0,0 | 0 |
| | totaal | 57 | 1.177 | 858 | 319 | 27 |
| Trias | omgeving Zaltbommel | 1 | 20,7 | 20,7 | 0 | 0 |
| | omgeving Zoetermeer | 8 | 165,2 | 126,9 | 38,3 | 23 |
| | Rotterdam | 2 | 41,3 | 39,5 | 1,8 | 4 |
| | RVG | 1 | 20,7 | 20,5 | 0,2 | 1 |
| | Steenbergen Breda | 1 | 20,7 | 20,5 | 0,2 | 1 |
| | Trias Slenk | 5 | 103,3 | 84,9 | 18,4 | 18 |
| | Vierpolders | 8 | 165,2 | 126,9 | 38,3 | 23 |
| | West Alblasserdam | 23 | 475,1 | 334,0 | 141,1 | 30 |
| | Westland | 9 | 185,9 | 139,5 | 46,4 | 25 |
| | Zuidoost Drenthe | 3 | 62,0 | 56,5 | 5,5 | 9 |
| totaal | 61 | 1.260 | 970 | 290 | 23 | |
| Rotliegend | Bollenstreek | 1 | 20,7 | 20,7 | 0 | 0 |
| | Friesland Groningen | 25 | 516,4 | 360,7 | 155,7 | 30 |
| | MRA | 6 | 123,9 | 99,6 | 24,3 | 20 |
| | Noord Holland noord | 29 | 599,0 | 413,0 | 186,0 | 31 |
| | Noordoost-polder | 11 | 227,2 | 165,9 | 61,3 | 27 |
| | omgeving Zaltbommel | 4 | 82,6 | 71,6 | 11,0 | 13 |
| | omgeving Zoetermeer | 3 | 62,0 | 56,5 | 5,5 | 9 |
| | Trias Slenk | 3 | 62,0 | 56,5 | 5,5 | 9 |
| totaal | 82 | 1.694 | 1.244 | 449 | 27 | |
| totaal | | 200 | 4.131 | 3.072 | 1.058 | 26 |

Tabel 4.1 Inschatting potentieel aan kostenreductie op basis van het aantal mogelijk doubletten per subplay.

Tabel 4.1 laat zien dat er een totaal initieel potentieel aan kostenreductie is van meer dan € 1.0 mld ten opzichte van een stand-alone ontwikkelingsscenario. Dat is een kostenreductie van 26%. Naar verwachting zal deze kostenreductie hoger kunnen zijn als de effecten zich niet hoeven te beperken tot een enkele subplay.

Het voorgestelde potentieel aan kostenreductie is gezien de aannames conservatief ingeschat. Ten eerste zijn, zoals in paragraaf 3.6 aangegeven en zoals paragraaf 5.4 ook verder zal onderbouwen, naar verwachting meer doubletten in Nederland te realiseren dan het hier aangenomen scenario. Ten tweede zijn in het aangenomen besparingspotentieel een aantal mogelijkheden als besproken nog niet meegenomen.

4.4 Optimalisatie met bovengrondse warmtevrage en -infrastructuur

Op dit moment liggen de geothermiebron en de warmteafname bij de bestaande doubletten relatief dicht bij elkaar. Er is relatief beperkt kostbaar leidingwerk nodig tot hooguit enkele kilometers. Doublet en warmtevrage zijn over het algemeen *dedicated*. Het optimaliseren van de bron met de warmtevrage en -infrastructuur is daarmee overzichtelijk en gaat voornamelijk om het verkorten van het tracé en het planologisch optimaal inpassen bij de aanleg ervan.

Bij opschaling van geothermie wordt inzet van geothermie behalve in de glas- en tuinbouw voorzien in de industrie, utiliteitsbouw en gebouwde omgeving. Dergelijke opschaling verhoogt enerzijds de complexiteit van de invoeding, omdat de wederzijdse afhankelijkheid van mogelijk meerdere aanbieders van warmte, meerdere vragers van warmte en meerdere warmtenettracés en netwerken toeneemt. Dit betekent ook dat het optimaliseren hiervan toenemend aan belang wint. Deze optimalisatie gaat over het in samenhang ontwikkelen van de drie hoofdonderdelen van geothermieprojecten:

- Het ondergrondse aanbod van geothermie
- Het inrichten van de optimale warmtevrage-portfolio
- Het ontwikkelen van optimale warmtenetwerken, mogelijk in combinatie met warmte-buffering (HTO)

De analyse van het ondergrondse aanbod is in het vorige hoofdstuk aan bod gekomen. Het is van belang de geologische subplays en de mogelijke optimale play-ontwikkelingen van de Nederlandse ondergrond in kaart te brengen. Deze dient te worden gecombineerd met de mogelijke nationale, regionale en lokale warmtevrageportfolio's en de mogelijke ontwikkeling van warmtenetten.

Het inrichten van de optimale warmtevrageportfolio gaat over het combineren van de warmtevrage die past bij de invoeding van de temperatuurrange die de ondergrond kan bieden. Deze laatste kan variëren van circa 40–60°C voor ondiepere geothermie, van circa 60 – 120°C voor diepe geothermie en 120–230°C voor ultradiepe geothermie. Het optimaliseren van de warmtevrage betekent het bij elkaar brengen van een zo groot mogelijke vrage met a) zo groot mogelijke hoeveelheid nuttige draaiuren per jaar³⁰, en b) van zo hoog mogelijk nuttig warmtegebruik ofwel gebruik van het temperatuurverschil ΔT . Door het slim bijeenbrengen van warmtevrage kunnen door middel van cascadering beide parameters zo veel mogelijk worden geoptimaliseerd. Zo kan een baseload warmtelevering voor de industrie van bijvoorbeeld 160°C die uitkoelt naar 100°C vervolgens weer worden gebruikt in de glastuinbouw of gebouwde omgeving met een bestaande relatief beperkte geïsoleerde woningvoorraad. De restwarmte hiervan, ongeveer 60°C, zou weer kunnen worden gebruikt voor zwembaden of andere bestemmingen, bijvoorbeeld in de gebouwde omgeving met een beter geïsoleerde woningvoorraad. De inventarisatie van de huidige en toekomstige warmtevrage is essentieel.

Vanwege de in verhouding hoge kapitaalkosten en lage operationele kosten is geothermie sterk gebaat bij baseload levering en grootschaligheid van de vrage. Voor geothermie geldt: hoe groter de schaal, des te lager de kosten.

Het is van belang na te gaan op wat voor wijze geothermie ingepast kan worden in deze warmtevrage:

- Welke aanpassingen aan het warmtesysteem zijn nodig om de bron goed in te passen?
- Welke bronnen kunnen de piekload aan warmte in het vraagpatroon het beste naast geothermie invullen?
- Welke back-up warmtebron is er als het doublet niet werkt of tijdelijk in onderhoud is?

³⁰ Een jaar duurt 8760 uur. Vanaf ongeveer 5500 draaiuren kan worden gesproken van baseloadlevering.

Zo kan hoge temperatuuropslag een oplossing vormen voor het gebrek aan warmtevraag in de zomer om in de winter meer te kunnen leveren aan de gebouwde omgeving. In een groter systeem zouden verschillende geothermiebronnen ook zelf de back-up voor elkaar kunnen verzorgen. Een hoge temperatuuropslag zou ook voor meerdere dubletten kunnen functioneren. Een andere belangrijke parameter bij het optimaliseren van de warmtevraagportfolio zijn de verschillende prijzen die verschillende soorten afnemers betalen voor de afgenomen warmte en hoe deze zich op termijn ontwikkelen. Kleinverbruikers in de gebouwde omgeving betalen door verschillen in belastingregime meer dan bijvoorbeeld de industrie en glas- en tuinbouw.

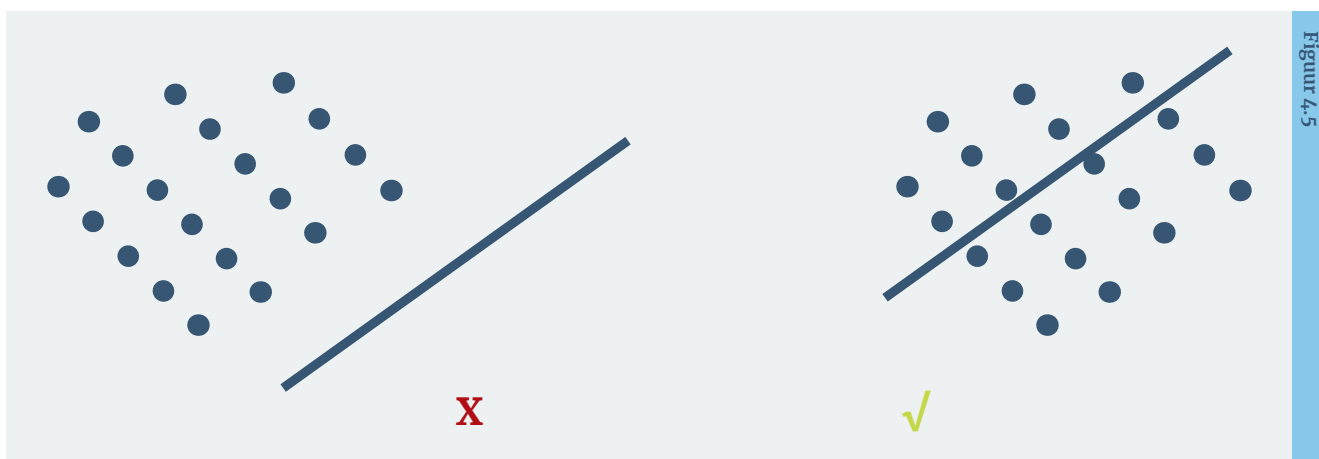
Het is ook van belang bij de warmtevraagportfolio te analyseren welke alternatieve warmtebronnen er nu en in de toekomst zullen zijn. Momenteel is aardgas de meest gebruikte bron voor verwarming. Het is de bedoeling om deze fossiele warmtebron uit te faseren en te verduurzamen. Dit kan door geothermie maar ook door gebruik van bijvoorbeeld biogas, biomassa, (wellicht op termijn groene) restwarmte, warmte-koude-pompen, blauwe en groene waterstof of elektrificatie van de warmte. Geothermie is hierbij met name competitief als deze grootschalig voor baseload kan worden ingezet. Geothermie is daarom gebaat bij bundeling van warmtevraag in een portfolio. Hierbij zijn de verschillende duurzame opties niet per se competitief, maar in de transitie in veel gevallen ook complementair om te zorgen voor voldoende warmteaanbod voor bestaande of nieuw aan te leggen warmtenetten en -infrastructuur. Het is bijvoorbeeld voorstelbaar dat op basis van bestaande restwarmte er

nieuwe grootschalige warmtenetten kunnen worden aangelegd waar stapsgewijs duurzamere geothermie op een verantwoorde wijze in kan groeien. Op die manier kan de leveringszekerheid en investeringszekerheid van aanbod, warmtenet en -vraag beter worden gewaarborgd.

Dergelijke optimalisatie van de invulling van de warmtevraag kan alleen worden ingevuld door de warmtevraag in grotere samenhang te analyseren en voor zowel de kortere en middellange als langere termijn in te kunnen plannen. De analyse zoals nu in de WarmteAtlas wordt gedaan, vormt daarbij een goede start. Tegelijkertijd is dit nog maar een eerste stap. De analyse van de nationale, regionale en lokale warmtevraagportfolio's qua omvang, soort vraag (plaats in de jaarbelastingduurcurve) en kost- en vraagprijzen vergt nog meer en nadere analyse. Dit is een essentiële exercitie voor de ontwikkeling van geothermie.

De opschaling van geothermie kan niet worden losgezien van de ondergrond, de warmtevraagportfolio's en de warmtenetten die deze met elkaar verbinden. De gecombineerde optimalisatie van boven- en ondergrond en de verbindende warmtenetten kan alleen plaatsvinden door naar de nationale, regionale en lokale portfolio's van het geothermieaanbod en de vraag te kijken.

Hierbij geldt voor de warmtenetten, net als bij geothermie-investeringen met relatief hoge kapitaalkosten en lagere operationele kosten, dat hoe meer verschillende bronnen en vragen aangesloten kunnen worden op het net die kosten relatief lager



Figuur 4.5 Illustratie van een ondoordacht tracé waarbij niet is gekeken naar de bredere samenhang van de ondergrond en de bovengrond (links) en een tracé (rechts) waar vooraf is nagedacht over de optimale samenhang.

worden. Ook hier geldt dat hoge kapitaalkosten en relatief lage onderhoudskosten vragen om schaal-grootte. Ook voor de dimensionering van deze infra-structuur geldt dat het optimaal aanleggen van de pijpen (zo dicht mogelijk bij de bron en vraag) en het zorgen voor voldoende capaciteit (dikte van de aan te leggen pijp), een kwestie is van planmatig en in samenhang de omvang van de vraag en het aanbod te ontwikkelen. Voor geothermie geldt hierbij bijvoorbeeld dat de beschikbare ondergrondse tempera-tuurrange bruikbaar ingevoerd zou moeten kunnen worden, maar ook dat de nieuw aan te leggen warm-teleidingen optimaal in de buurt moeten liggen van de ondergrondse mogelijkheden: een mismatch door gebrek aan samenhangend perspectief zoals aange-geven in de linkerzijde van **Figuur 4.5** kan betekenen dat geothermie-ontwikkeling veel (of te) duur(der) wordt door hoge distance-to-pipe kosten. Terwijl een vergelijkbaar tracé voor dezelfde aanlegkosten ook aangelegd had kunnen worden zoals weergege-ven in de rechterzijde van **Figuur 4.5**.

Voor optimalisatie van het ondergrondse geother-mieaanbod en de bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur zijn in ieder geval de volgende vragen van belang:

1. Waar bevinden zich, en ontwikkelen zich, warm-tevragers in een regio en wat is hun gewenste warmtevraag en temperatuur op korte, middel-lange en lange termijn? Wat zijn de verschillende afnamepatronen hierbij? In hoeverre zijn er regi-onale of lokale geaggregeerde en/of gecascadeerde warmteportfolio's mogelijk? Wat zijn daarbij de load-duration-curves (bedrijfstijden van de vraag door de tijd heen) van de portfolio's? Hoe ziet het huidige warmtesysteem eruit? Wat zijn de belangrijke overhaul of (her)investeringsmomen-ten? Welke alternatieven zijn er gewenst voor de korte, middellange en lange termijn?
2. Waar in deze regio bevinden zich welke geother-mie(sub)plays met welke ondergrondpotentie om deze warmtevraag mede te realiseren?
3. Hoeveel doubletten of andere putconfiguraties zouden de warmtevraag specifiek vanuit deze (sub) plays wanneer en voor hoe lang kunnen invullen?
4. Hoe kunnen de doubletten zo worden gepositio-neerd dat deze qua veiligheid, planologie, ruim-telijke ordening en economie optimaal worden verbonden met aanwezige en/of aan te leggen infrastructuur.

5. Hoe verhouden zich de kosten van de te ontwik-kelen portfolio aan geothermieprojecten ten opzichte van alternatieve (duurzame) warmte-bronnen op korte en langere termijn?

De waarde van een portfolio van geothermieprojec-ten die aldus in samenhang van de netwerken en warmtevraag tot stand komt, heeft naar verwachting een veel grotere waarde dan de som van stand-alone ontwikkelde projecten. Dit betekent dat geother-mie ontwikkeld in samenhang een substantieel lagere kostprijs kan hebben en daarmee een meer competitieve positie inneemt als warmtebron dan stand-alone ontwikkeling.

4.5 Mogelijkheid tot structurele opzet R&D en innovatie

Er is in de geothermiesector in deze fase van haar ontwikkeling groeiende aandacht voor R&D en inno-vatie. Deze vindt onder meer plaats in de vorm van particuliere initiatieven. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van composiet verbuizing als alternatief voor staal, of het ontwikkelen van het mantelbuis-boren. Dergelijke bottom-up innovatie maakt gebruik van creativiteit uit diverse hoeken van de sector. Ook op andere specifieke onderdelen vindt innovatie plaats, soms ook tussen verschillende projecten die op deze wijze kennis delen. Dergelijke ontwikkelin-gen worden door regelingen van RVO ondersteund. Daarnaast heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat samen met onder meer DAGO, SPG, LTO Glaskracht Nederland en TNO de Kennisagenda Aardwarmte opgezet. Doelen van de Kennisagenda zijn onder meer het terugdringen van onzekerheden en risico's (met de focus op de operationele fase en de ontwerpfase), het verbeteren van de operationele en energetische efficiency en het verlengen van de gebruiksduur van een aardwarmtebron³¹. Verder speelt bijvoorbeeld TNO op het gebied van R&D voor geothermie een belangrijke rol in de kennisopbouw in Europese programma's zoals Horizon2020.

Omdat de geothermie-operators veelal in opbouw zijn voor meermalige en grootschaligere geother-mie-activiteiten ligt het accent van de R&D agenda nog meer op kortere termijn problematiek dan op mogelijke toekomstige risico- en kostenreducties of optimalisatie van de opbrengsten. De Horizon2020 projecten met een relatief laag technology readiness level (TRL) die daar meer op gericht zijn, liggen over

³¹ Zie ook www.kasalsenergiebron.nl/duurzame-energie/aardwarmte/ik-heb-al-een-bron/kennisagenda-aardwarmte.

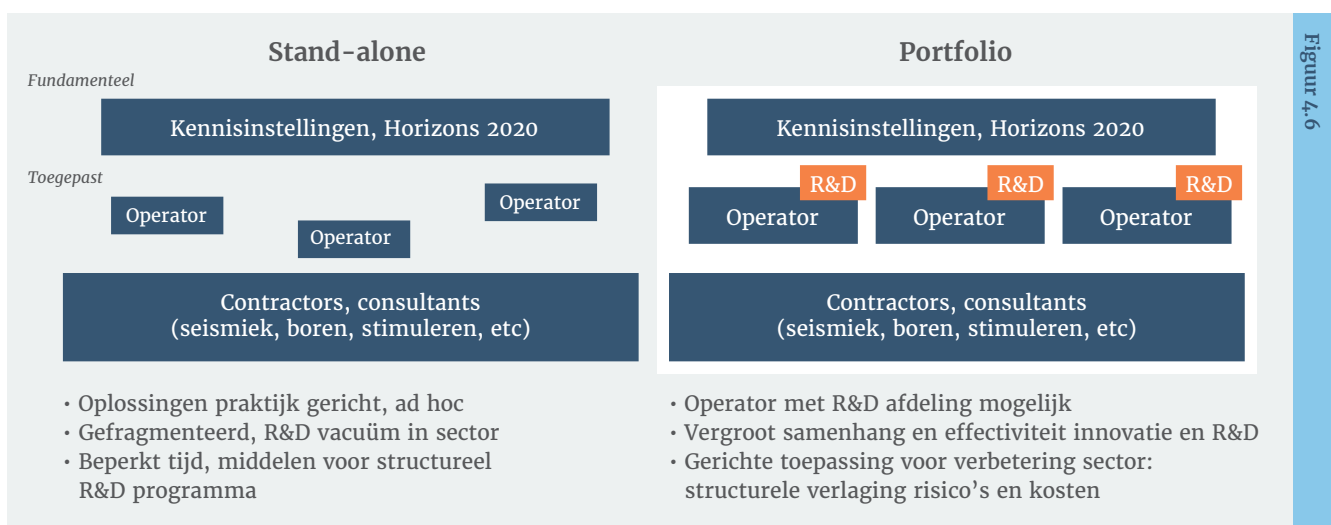
het algemeen nog wat verder af van de activiteiten van de Nederlandse operators. TNO mag ook geen activiteiten voor operators ontplooiën als deze invloed hebben op exploratie of productievergunningsaanvragen, die door TNO AGE beoordeeld moeten worden. Ook R&D op universiteiten zoals Delft, Groningen en Utrecht zijn in de praktijk nog niet met alle partijen in de sector afgestemd en gericht op een structurele ontwikkeling hiervan. Deze initiële fase wordt visueel weergegeven in de linkerzijde van **Figuur 4**.

Om ervoor te zorgen dat geothermie zich als goede duurzame, competitieve warmtebron ontwikkelt, is het van belang dat de sector voortdurend risico- en kostenreductie weet te realiseren, en de opbrengsten weet te verhogen. Structurele R&D en innovatie is hierbij onontbeerlijk. Die vindt op haar beurt plaats zodra opschaling plaats gaat vinden en sterke geothermie-operators ontstaan die R&D in hun organisatie verankeren. Alleen een portfolio van geothermieprojecten maakt dit relevant voor geothermie-operators. Zonder R&D en innovatie vanuit de operator mist geothermie naar verwachting essentiële vernieuwingskracht. De geothermie-operators hebben een sleutelrol. Zij hebben als investeerder, uitvoerder en aansprakelijke voor de projecten het grootste belang bij goedwerkende, efficiënte geothermie. Bovendien zijn zij de enige partij die gedurende de hele levenscyclus verantwoordelijkheid draagt voor de ontwikkeling. De operators zijn ook de partijen die de samenhang in R&D en innovatie tussen de kennisinstellingen en de praktijk van

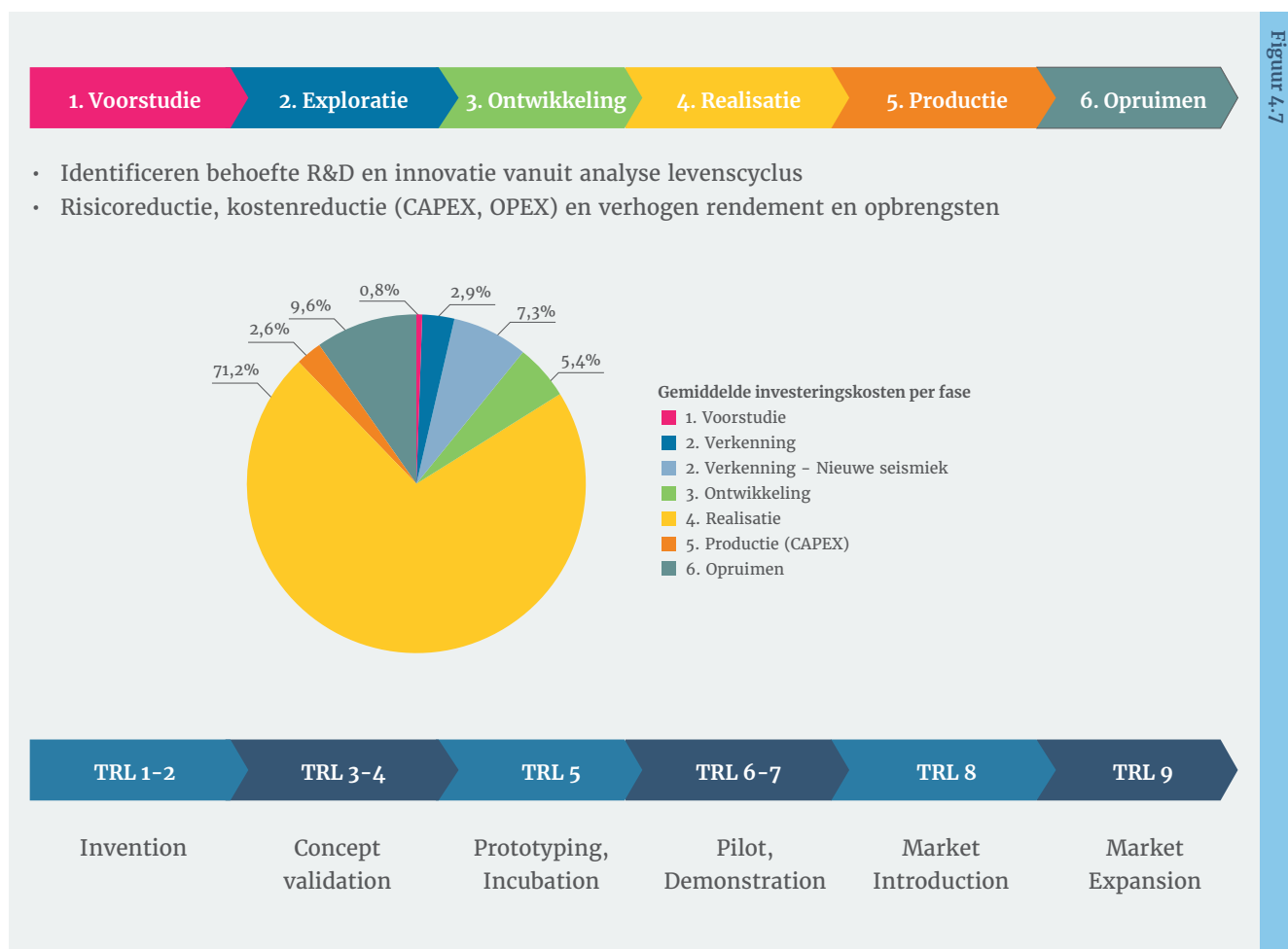
geothermie in programma's aan kunnen brengen. De rol van de operators met grotere geothermieportfolio's is derhalve een voorwaarde en consequentie van de mogelijkheid tot het ontwikkelen van structurele R&D en innovatie in de sector. De rechterzijde van **Figuur 4.6** geeft dit weer.

Het structureel opzetten van R&D en innovatie kan door deze juist in te richten leiden tot grote risico- en kostenreducties en verhoging van de opbrengsten van geothermie. Voor een gericht programma is een aantal uitgangspunten aan te wijzen:

- gebruik maken van integrale projectontwikkeling zoals omschreven;
- identificatie van de grote risico- en kostcategorieën waarvoor door aanpassingen in de activiteiten van in de levenscyclus grote reducties te behalen zijn. Hetzelfde geldt voor het door R&D en innovatie identificeren van mogelijkheden tot het vergroten van het warmte-aanbod (bijvoorbeeld door stimulatie van het reservoir), het vergroten van het aantal draaiuren of de mate van uitkoeling, in samenhang met de warmtevraag en de warmtenetten;
- het verbinden van de verschillende R&D en innovatiemogelijkheden op de korte, middellange en lange termijn aan de ontwikkeling van projecten in de sector. Het tempo van de ontwikkeling van bepaalde technologieën in de TRL maakt ontsluiting van bepaalde vormen van geothermie pas later of vroeger mogelijk en vice versa.



Figuur 4.6 Illustratie van de huidige situatie waarin R&D en innovatie plaats vindt (linkerzijde) naar een situatie waarbij de sector door opschaling en de vorming van operators met een portfolio aan projecten aan structurele R&D en innovatie kan doen (rechterzijde).



Figuur 4.7 Uitgangspunten en samenhang structurele R&D en innovatie.

Figuur 4.7 visualiseert deze uitgangspunten. Ook hier geldt dat ondergrondse R&D en innovatie play-based en portfoliospecifiek ingericht kan worden, omdat de relatie geologie-technologie in de ondergrond veelal leidend is. Dit betekent dat een R&D en innovatieprogramma voor de Nederlandse context zich wat betreft de ondergrond met name op de ontwikkeling van de Nederlandse plays en subplays zou richten.

In deze analyse nemen operators niet alleen een cruciale rol in vanwege hun verantwoordelijkheidsrol en management van de hele levenscyclus. Zij zijn ook de partijen die direct samen met de toeleverende partijen en contractors in de keten de R&D- en innovatieprogramma's op kunnen zetten. De wijze waarop de toeleveranciers en contractors tot R&D en innovatie kunnen komen, bepaalt de ontwikkeling van geothermie. De kosten van de toeleverende industrie, veelal geënt op de 'boom en bust' marktontwikkeling van de olie- en gasmarkt, zou bij een vernieuwende inrichting wel eens sterk omlaag kunnen.

Voor zowel de operators als de toeleverende industrie geldt dat naarmate de activiteiten van de geothermiesector kunnen worden opgeschaald er meer ruimte en belang is bij R&D en innovatie. Ook hier speelt herhaalpotentieel een belangrijke rol.

Vanuit vrijwel alle activiteiten in de projectontwikkeling kennen R&D en innovatie voor geothermie een zeer grote synergie met vergelijkbare R&D en innovatie van de projectontwikkeling in de olie- en gassector en voor andere ondergrondse ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld de ontwikkeling van zoutcavernes, energieopslag of de opslag van CO₂. Hetzelfde geldt voor het bovengrondse deel van de installatie en het warmtenet. Het overzichtelijk verbinden van deze programma's kan een sterke hefboomwerking veroorzaken en levert daarmee een sterk verhoogd R&D en innovatie rendement op de investeringen hierin. Identificatie van deze synergie en het benutten ervan zou de inrichting van de R&D en innovatie sterk aan slagkracht kunnen doen winnen.

Een aantal voorbeelden waar R&D en innovatie gericht zouden kunnen bijdragen liggen bijvoorbeeld op het vlak van:

- exploratietechnologie voor beter en scherper inzicht in en nauwkeurigere modellering van de diepe ondergrond;
- verbeteren booractiviteiten door ontwikkeling van innovatieve, dedicated geothermie rigs, het toepassing van innovatieve technieken en materialen, het reduceren van de boortijd, het verhogen van de utilisatie van drilling rigs en equipment door bijvoorbeeld vormen van multiwell pad-, batch of campagne drilling;
- well completion en materialen gericht op verhoogde putintegriteit en langere productie-duur;
- verbeterde boorconfiguraties, -ontwerpen en stimulatietechnieken gericht op (soft) stimulatie en optimalisatie van de debieten;
- intelligente (big data) meet- en monitoringsystemen ondergrond, put- en reservoirgegevens voor voortdurende optimalisatie gedurende de levenscyclus van projecten van de risico's, kosten en productiecapaciteit van het reservoir of de subplay;
- nieuwe manieren voor het minimaliseren en communiceren van projectrisico's en delen in de opbrengsten met direct betrokkenen en bewoners in de leefomgeving;
- systeemintegratie voor optimaal gebruik van de bronnen, inpassing in de warmtenetten en bijhorende warmtevraagportfolio's.

4.6 Financieringsvoordelen (risicodeling, verlaging kosten financiering)

Waar de vijf voorgaande voordelen van de play-benadering, veilige en verantwoorde integrale projectontwikkeling, synergie, efficiëntie en standaardisatie, optimalisatie met bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur en de mogelijkheid tot het opzetten van structurele R&D en innovatie de daadwerkelijke ontwikkeling van geothermie zelf betreft, zijn er ook nog de portfolievoordelen zoals die bij de financiering van assets in een portfolio zich voordoen.

Allereerst zorgen de vijf voorgaande voordelen van een portfoliobenadering voor de ontwikkeling van aanzienlijke risico- en kostenreducties en verhoging van de opbrengsten. De effecten hiervan zijn voor een deel van betrekkelijk directe aard zoals de play-based benadering en de veilige en verantwoorde integrale projectontwikkeling van meermalige operators. Voor een deel zullen de voordelen zich op de midden- en langere termijn voordoen, omdat het ontwikkelen en

opbouwen van een projectenportfolio tijd zal kosten en de voordelen van R&D en innovatie pas in een later stadium tot uiting komen. De voordelen zullen überhaupt leiden tot verbetering van het risico- en rendementsprofiel van geothermie wat financiering voor financiële instellingen aantrekkelijker maakt. Overigens is het hierbij van belang voor financiers dat geothermie zich ook op de lange duur competitief blijft ontwikkelen vis á vis vergelijkbare (duurzame) warmtebronnen.

Behalve deze intrinsieke bijdrage van de play-based portfoliobenadering zal een portfoliobenadering vanuit financieringsoptiek ook belangrijke voordelen met zich meebrengen. Dit zijn voordelen die zich momenteel nog betrekkelijk weinig voor kunnen doen gezien de nog ontluikende activiteit in de geothermiesector.

Op basis van een analyse van de sector in samenwerking met experts van geothermie-operators en financiers van projecten kan de huidige situatie als volgt worden gekenschetst: Doorgaans zijn de investeringen in geothermieprojecten gefinancierd met 30 - 40% eigen vermogen en 60 - 70% vreemd vermogen. Het grootste deel van het eigen vermogen is afkomstig van de operator met ondersteuning van andere betrokken partijen en gelden uit nationale, regionale of lokale overheidsfondsen of -subsidies. Het vreemd vermogen is momenteel afkomstig van banken. Bij het verstrekken van vreemd-vermogen-financiering worden normaliter bepaalde zekerheden gevraagd, bijvoorbeeld op het verdienvermogen van de andere bedrijfsactiviteiten van de operator van het project of op een eventuele uitkering uit het RNES garantiefonds. Een groot deel van de projecten kent een vorm van semi-projectfinanciering, waarbij er uiteindelijk een of andere garantie bestaat, buiten het geothermieproject om, die de financiering van het project mede draagt. Sommige projecten kennen een volledige zogenaamde non-recourse projectfinanciering. Op deze manier wordt doorgaans elk project op dit moment nog in wezen stand-alone gefinancierd.

Uit gesprekken met en analyse van financiers over de huidige situatie voor de financiering van stand-alone projecten kwam het beeld naar voren van de volgende aandachtspunten rondom de risico's en bereidheid tot financiering:

- **Geologisch risico:** onzekerheid over de mate waarin de ondergrond 'levert' wat op voorhand wordt verwacht, en hoe de productie over langere termijn verloopt;

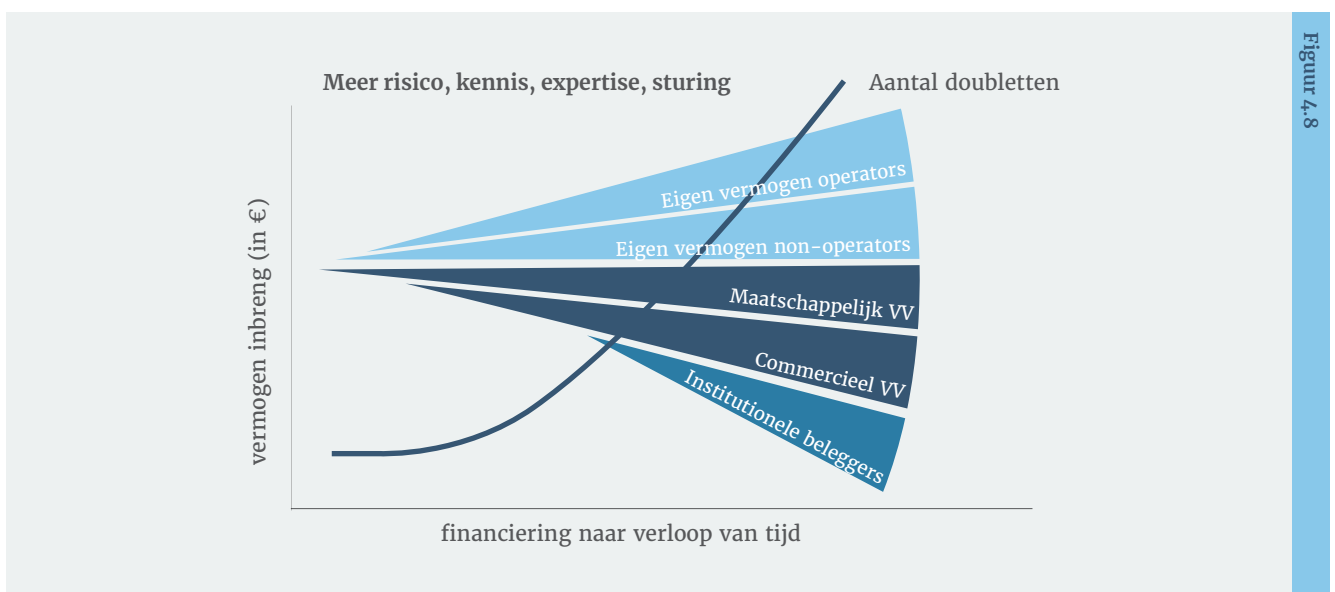
- **Contractors:** bij de bouw van een geothermieproject zijn veel verschillende partijen betrokken. De mate van kwaliteit en kennis van deze partijen is van groot belang voor financiers om comfort te hebben tijdens de bouwfase;
- **Exploitatierisico:** onverwachte (want nog weinig track record) operationele problemen tijdens de exploitatiefase, met inherente onderbreking van productie en/of remediërende kosten;
- **Wet- en regelgeving:** inzake de diepe ondergrond sluit deze onvoldoende aan op geothermie, maar is wel de basis voor handhaving; debat over de warmtewet leidt tot onzekerheid in de markt over de afnameprijs van warmte;
- **Afnamerisico:** gegeven het lokale/regionale product dat warmte is vormt het wegvallen van vraag door bijvoorbeeld faillissement van een afnemer of door besparing een risico;
- **Operator:** na de crisis worden financieringsverzoeken van kleinere operators strenger beoordeeld op hun financiële reserves. Het hoge aandeel eigen vermogen van een relatief grote investering in een geothermieproject kan voor een dergelijke operator een knelpunt zijn; zo ook zijn vermogen om tijdens de bouw en exploitatie tegenvallers op te vangen. Risico van een operator is daarnaast dat hij technisch niet voldoende capabel is, of bijvoorbeeld de wet onvoldoende kent;
- **Tekort aan risicodragend vermogen:** banken zijn terughoudend om in de (CAPEX-intensieve) ontwikkelingsfase vreemd vermogen in te brengen; beschikbaarheid van voldoende risicodragend

vermogen in deze fase wordt als belangrijke buffer gezien;

- **Reputatie risico:** financiers zijn beducht voor reputatieschade die het gevolg kan zijn van seismiteit en/of stimulering van de ondergrond.

Opschaling van geothermie door meermalige geothermie-operators met groeiende portfolio's leidt in de visie van de financiers tot een toename van kennis en expertise en daarmee de afname van risico's en kosten. Dit vermindert bovenstaande geïdentificeerde risico's en leidt tot een professionele, competitieve sector in de warmtevoorziening. Dit leidt ook in de financiering zelf tot een aantal belangrijke voordelen of portfolio-effecten:

1. **Risicospreiding.** Naarmate verschaffers van vermogen in meerdere projecten (een portfolio) investeren, wordt de zekerheid op de te realiseren waarde groter, en neemt de invloed van een afzonderlijk project (dat geen positieve NPV realiseert) af (de wet van de grote getallen). Risicospreiding resulteert dus in stabielere cashflows en daarmee een lager risico, waardoor projecten gunstiger gefinancierd kunnen worden. Dit effect is ook voor operators te verwezenlijken door middel van kruisaandeelhouderschap: wederzijds risicodragend vermogen investeren in elkaars projecten.
2. **Vertrouwen.** Een portfolio benadering zal resulteren in een grotere en professionelere sector die succesvolle projecten uitvoert. Het vertrouwen dat daarmee groeit leidt tot gunstiger financieringscondities.



Figuur 4.8

Figuur 4.8 Portfolio-voordelen en beschikbaarheid financiering

3. **Vergroten financieringsmogelijkheden** bij meerdere investeerders. Het groter worden van de geothermiesector en het betrokken raken van steeds meer en professionelere partijen, zal leiden tot de beschikbaarheid van meer kapitaal en op termijn andere partijen die kapitaal verstrekken, zoals meer banken, regionale fondsen, private equity en op termijn institutionele beleggers en pensioenfondsen.

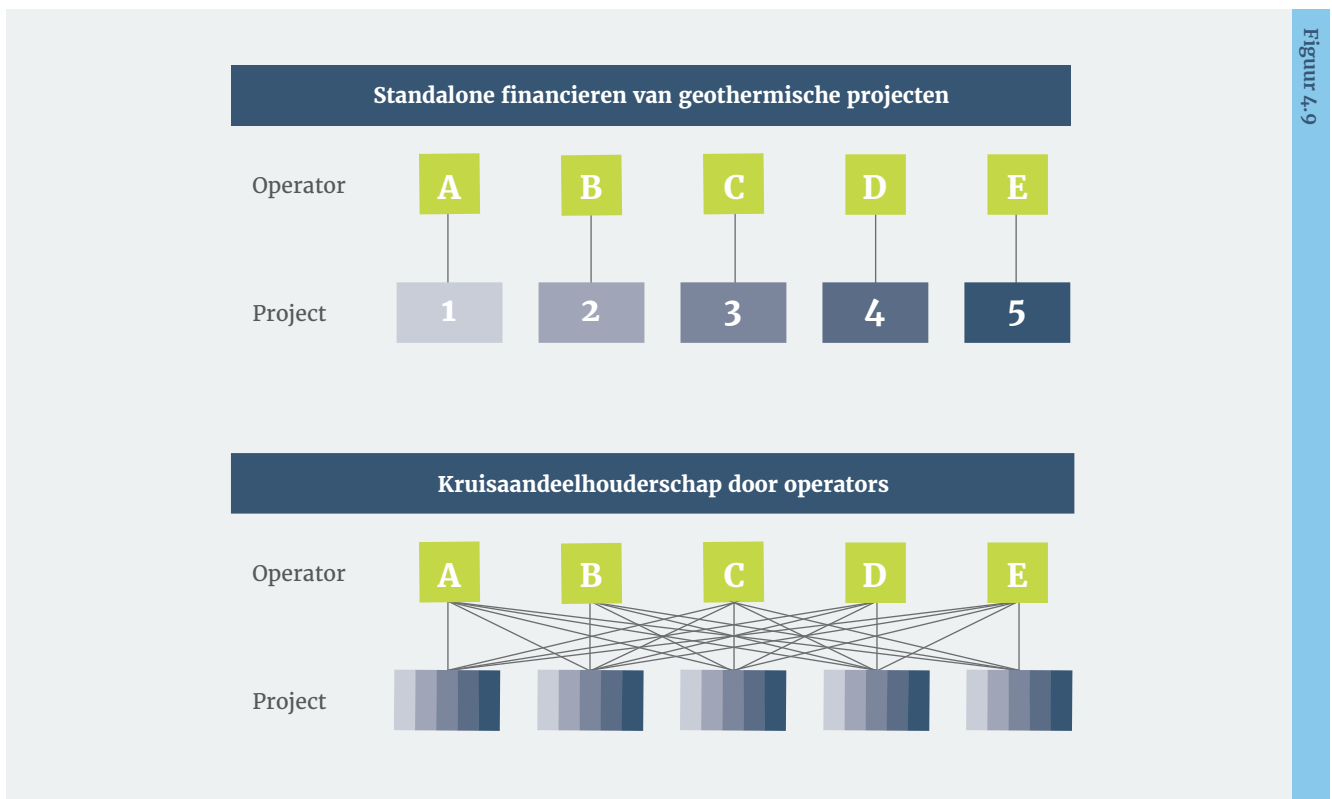
Figuur 4.8 illustreert de bovenstaande voordelen en de beschikbaarheid van de financiering. Ze gelden zowel voor groeiende beschikbaarheid van eigen vermogen als vreemd vermogen.

De verhouding van eigen en vreemd vermogen om een project te financieren, de financiële hefboom of leverage, zal op termijn ten gunste veranderen door het risico-reducerend effect van een portfolio. Ook groei en professionalisering van de sector, opschaling en herhaalpotentieel, zullen hieraan naar verwachting bijdragen. Door het risico-reducerend effect van een portfolio, en grotere zekerheid op de te realiseren waarde, kan dit leiden tot gunstiger financieringscondities en goedkoper

vreemd vermogen. Om dezelfde redenen zal ook het vereiste rendement op eigen vermogen afnemen. De verwachting is dat het groter worden van de geothermiesector en het betrokken raken van steeds meer en professionelere partijen als gevolg van een portfoliobenadering zal leiden tot de beschikbaarheid van meer kapitaal. Een laatste voordeel is dat de investerings- en andere kosten per project lager zullen worden, zodat de financieringsbehoefte lager wordt. Zodra geothermie-operators een stabiele portfolio aan projecten hebben die voldoende cash flow genereert zouden ze over kunnen gaan van relatief dure projectfinanciering naar veel goedkopere balansfinanciering.

Hoewel het opbouwen van een portfolio voor een geothermie-operator veel tijd kan kosten gezien de gemiddelde ontwikkeltijd van een geothermiedou- blet van ongeveer 3 tot 5 jaar, kan dit sterk worden versneld door kruisaandeelhouderschap. **Figuur 4.9** geeft dit weer.

Het stand-alone financieren van een geothermisch project (linkerzijde) betekent dat de operator een groot deel van zijn beschikbare eigen vermogen in



Figuur 4.9 Stand-alone financiering eigen vermogen versus kruisaandeelhouderschap.

een project zal investeren. Hij neemt het gehele eigen vermogen voor zijn rekening. Een consequentie hiervan is dat de operator volledig op zijn eigen project gefocust zal zijn en kennisdeling in de sector slechts beperkt plaatsvindt. Ook de projectrisico's worden zo niet gespreid over meerdere projecten. Indien operators samen gaan werken en kruisinvesteren, kan elke operator een deel van zijn eigen vermogen investeren in alle 5 de projecten. Hierbij zal sprake zijn van één operator per project en andere operators die uitsluitend als investeerder optreden. Door deze vorm van kruisinvestering kan ondergrond- en projectkennis diepgaand tussen de projecten onderling optimaal worden gedeeld en worden de risico's in de projecten sterke gemitigeerd en het investeringsrisico optimaal gespreid. Deze vorm van samenwerken via kruisinvesteringen tussen concurrerende operators wordt in de olie- en gaswereld om deze reden veel toegepast. Dit gebeurt overigens op een vergelijkbare manier bij portfoliovorming in de financiële wereld. Ook zij spreiden hun inleg van eigen en vreemd vermogen bij voorkeur over een brede portfolio van projecten. Dergelijke vorm van kruisinvesteren zou ook in de geothermiesector tot voordelen en versnelling kunnen leiden.







Het geheel is groter dan de som der delen

5

De eerste inzichten uit de toepassing van de play-based portfoliobenadering op geothermie laten grote voordelen zien voor het ontwikkelen in samenhang ervan. Het geheel is groter dan de som der delen.

5.1 Inleiding

Paragraaf 5.2 vat de zes voordelen nogmaals samen, en bespreekt hun samenhang. Er is sprake van een zogenaamd sneeuwbaaleffect. Daarnaast speelt in de ondergrond nog een belangrijk interferentie-effect dat om goede afstemming vraagt. Paragraaf 5.3 legt uit wat de rol van Value of Information (VoI) is binnen de play-based benadering, en hoe deze optimaal kan worden benut. Tot slot laat paragraaf 5.4 zien dat de ontwikkeling van geothermie een sterk dynamisch karakter heeft, en geeft een prognose van het bruikbare potentieel met toepassing van de play-based portfoliobenadering.

5.2 Play-based portfoliobenadering, zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie

Bij het toepassen van de play-based portfoliobenadering op geothermie zijn zes voordelen onderscheiden. Deze analyse geeft een eerste inzicht hierin en heeft deze, waar mogelijk, in een orde van grootte van waarde kwantitatief uitgedrukt.

5.2.1 Geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling

In paragraaf 3.1 zijn op basis van de informatie uit ThermoGIS (2012) en de WarmteAtlas drie geothermische hoofdplays geïdentificeerd: de Jura/Krijt-play, de Trias-play en de Rotliegend-play. Deze zijn vervolgens ingedeeld naar subplays op basis van geografische nabijheid, startkans van de subplay en concentratie van aanwezige warmtevraag. Binnen deze subplays is nagegaan hoeveel vraag er is en met hoeveel standaarddoubletten van 10 MW deze vraag in de subplay zou corresponderen. De Dinantien play is benoemd maar is verder niet geanalyseerd. Ook de Tertiaire zanden zijn niet meegenomen in deze eerste toepassing van de play-benadering. Ook voor het Dinantien en de Tertiaire zanden geldt dat substantiële risicoreductie mogelijk is door optimale play-ontwikkeling.

Vervolgens is uitgelegd hoe bij een optimale play-ontwikkeling geothermieprojecten de vervolgprijzen in een subplay derisken door de ondergrondgegevens, kennis en expertise van het ene project naar het andere mee te nemen. Dit derisk effect staat voor een substantiële geologische risicoreductie van de investeringskosten en vertegenwoordigt een grote waarde. Om de meerwaarde van de optimale play-ontwikkeling in samenhang te kwantificeren is deze vergeleken met een stand-alone ontwikkeling van

geothermie waarbij de geologische en bijhorende technische informatie en kennis niet of nauwelijks wordt overgedragen. De meerwaarde van de ontwikkeling in samenhang ten opzichte van een dergelijke stand-alone ontwikkeling is zeer groot. Deze meerwaarde bedraagt voor het aangenomen scenario ongeveer € 2 mld op een totaal te ontwikkelen hoeveelheid doubletten van ongeveer 200 doubletten die ongeveer 40 PJ genereren. De Jura/Krijt play draagt aan deze rekensom € 940 mln aan waarde van bij in zeven onderscheiden subplays met een herhaalpotentieel van ongeveer 288 doubletten. De Trias-play draagt ongeveer € 411 mln bij in elf onderscheiden subplays en een herhaalpotentieel van 198 doubletten. Het Rotliegend draagt € 664 mln aan waarde bij in zeven subplays met 276 doubletten aan herhaalpotentieel.

Benadrukt wordt dat het standalone scenario zonder enige kennisdeling noch het optimale play-ontwikkeling scenario met perfecte kennisdeling zich in de praktijk zullen voltrekken. Het belang van het uitdrukken van dit grote waardeverschil laat met name zien hoe belangrijk het is om de ondergrondinformatie, kennis en expertise zo volledig mogelijk van het ene project optimaal over te dragen aan het andere project. Binnen zogenaamde subplays is er sprake van een zeer groot geologisch derisk effect dat deze waarde vertegenwoordigt. Het laat ook zien dat als de play-benadering niet wordt toegepast en een vorm van stand-alone scenario prevaleert, de ontwikkeling van geothermie in bepaalde gebieden erg langzaam zal gaan of niet van de grond zal komen.

Verder belangrijke inzichten die volgen uit de analyse zijn:

- het herhaalpotentieel (H) in een subplay bepaalt samen met de startkans (P) en de onzekerheid van de startkans (O) de economische waarde van een bepaalde match tussen ondergrondgeologie en warmtevraag. Ook het geothermisch potentieel is afhankelijk van deze drie factoren;
- een groter herhaalpotentieel betekent ook dat het de moeite waard kan zijn gebieden met een lagere startkans en grote onzekerheid te exploreren. Het is dan ook de moeite waard meer misboringen te accepteren. Een hoog herhaalpotentieel (H) en hoge onzekerheid van de startkans (O) maken het de moeite waard om de werkelijke waarde van de startkans (P) te onderzoeken door middel van exploratie (E);

- de eerste versie van ThermoGIS richt zich bij het inschatten van geothermie nu nog met name op de startkans van een enkel project. Het neemt het herhaalpotentieel en de onzekerheid van de startkans nog niet mee en daarmee ook niet de waarde voor de ontwikkeling van geothermie in plays en subplays. ThermoGIS hanteert nu nog in zekere zin een stand-alone benadering;
- door een play-benadering wordt een bij elkaar horende groep projecten in een subplay NPV-positief (of minder negatief) waar deze bij een stand-alone project in dezelfde play veelal negatief zijn. Hoe groter het herhaalpotentieel in een dergelijke groep, des te hoger de NPV. Uit het oogpunt van geologische risicoreductie en economische NPV is het van belang geothermieprojecten per (sub)play te benaderen en ontwikkelen;
- de play-benadering heeft een zeer grote meerwaarde boven stand-alone ontwikkeling. Het is van belang zoveel mogelijk van deze meerwaarde te realiseren voor een optimale ontwikkeling van geothermie als competitieve, duurzame warmtebron.

Nadere analyse kan de meerwaarde van de play-benadering nog beter vaststellen en uitdiepen. Bovenstaande analyse is gebaseerd op enigszins verouderde en conservatieve aannames uit ThermoGIS en de WarmteAtlas. Door alleen de startkans als beperkende factor mee te nemen en het herhaalpotentieel en mate van onzekerheid niet zijn nu grote gebieden niet meegenomen in de analyse. Ook het Dinantien en de Tertiaire zanden zijn niet meegenomen. Verder zijn effecten zoals bijvoorbeeld het multilayer effect, niet meegenomen. Bovendien is de informatie over de ondergrond, de warmtevraag en de aan te nemen kosten dynamisch van aard. Nadere analyse vindt reeds plaats in een lopende analyse 'Opschaling geothermie in warmtenetten in Nederland' die EBN, Gasunie in samenwerking met CE Delft, IF Technology en Berenschot uitvoert. Deze is naar verwachting in het voorjaar gereed.

5.2.2 Voortdurend verbeteren door integrale projectontwikkeling

Het tweede voordeel richt zich op de mogelijkheid tot het voortdurend verbeteren en afstemmen van de activiteiten om een geothermieproject te ontwikkelen. Door de activiteiten op een gedetailleerd niveau uit elkaar te halen en vervolgens voortdurend in samenhang te analyseren en door te ontwikkelen, wordt de kwaliteit van de integrale ontwikkeling sterk

verhoogd. De voortdurende verbetering volgt uit het systematisch meenemen van de gegevens, kennis en ervaring van de ontwikkeling van het ene project naar de vervolprojecten. Omdat projecten in (sub)plays sterk vergelijkbaar zijn, kan een dergelijke systematiek ook op die basis worden ingericht. Voorwaarde om een dergelijke integrale projectontwikkeling op te zetten, zijn meermalige geothermie-operators die geothermie als kernactiviteit ontwikkelen.

5.2.3 Kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie

De benadering van de integrale projectontwikkeling maakt ook een sterke kostenreductie mogelijk door synergie, efficiëntie en standaardisatie. Ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling zijn er grote risico- en kostenreducties op mogelijk. Het kan ook leiden tot opbrengstenverhoging door optimaliseren van het aantal draaiuren, of de mate van uitkoeling. Die laatste categorie is hier niet meegenomen.

Door de activiteiten van de levenscyclus van een projectontwikkeling op een rij te zetten en de kosten in te schatten voor een stand-alone ontwikkeling, een ontwikkeling van 10 doubletten, 20 doubletten en 50 doubletten is door experts nagegaan wat voor kostenbesparing mogelijk is door synergie, efficiëntie en standaardisatie. Deze is aanzienlijk en loopt tussen de 5 tot 30%. Deze inschatting per hoeveelheid doubletten is vervolgens toegepast op de aantallen te realiseren doubletten in de onderscheiden subplays van de drie plays in het scenario van de 200 doubletten en 40 PJ. Dit leidt tot een gemiddelde kostenreductie van 26%, in genoemd scenario ter waarde van € 1 mld.

Ook hier geldt dat dit bedrag moet worden gezien in het licht van de aannames en inzichten zoals op dit moment bekend. Deze worden hier als conservatief aangemerkt. In de eerste plaats omdat naar verwachting in Nederland veel meer doubletten mogelijk zijn dan 200. Verder ook omdat een aantal voordelen dat aanwezig is, zoals het stimuleren van productie, nu niet is meegenomen.

Het (conservatief) ingeschatte waardeverschil van een orde van grootte van € 1 mld van dit voordeel ten opzichte van een stand-alone ontwikkeling van geothermie onderstreept het belang nogmaals van het intensief delen van ondergrondinformatie, kennis en expertise van de geothermieprojecten. Alleen bij grootschalige toepassing en het diep delen van deze

kennis is de waarde van dit voordeel optimaal te benutten.

5.2.4 Optimaliseren van de bovengrondse warmte- vraag- en infrastructuur

Voor de ontwikkeling van geothermie geldt dat drie hoofdonderdelen in samenhang moeten worden ontwikkeld:

1. het ondergrondse aanbod aan geothermie;
2. het inrichten van de optimale warmtevraagportfolio;
3. het ontwikkelen van optimale warmtenetwerken.

Waar de play-based benadering aangeeft hoe de ondergrond in samenhang kan worden ontwikkeld en de status en exploratiemogelijkheden aangeeft van de geothermievraagpotentie in de subplays, zo bepaalt de bredere warmtevraagportfolio en de verspreiding van de warmtenetten waar inpassing en opschaling van geothermie mogelijk zijn. Omdat zowel geothermie-dubbelten als warmtenetten kapitaalintensief zijn en lage operationele kosten hebben, is de ontwikkeling ervan gebaat bij schaalgrootte. Derhalve is het van belang om na te gaan hoe de warmtevraagportfolio's op nationaal, regionaal en lokaal niveau zich op korte, middellange en lange termijn ontwikkelen en waar geothermie ten opzichte van de andere warmtebronnen zou kunnen worden ingepast.

Belangrijke optimalisatiemogelijkheden voor geothermie ten opzichte van andere warmtebronnen liggen onder meer in het creëren van schaalgrootte om de aanleg van warmtenetten rendabel te maken, het stap-voor-stap verduurzamen van de warmtebronnen, het juist combineren van base- en peakload, het zorgen voor elkaars back-up, het optimaliseren van de draaiuren en het in samenhang optimaliseren van de afstand van de bron naar het netwerk naar de vraag.

Om de ondergrondse en bovengrondse ontwikkeling van geothermie optimaal in samenhang te ontwikkelen is een nog veel gedetailleerdere analyse van warmtevraagportfolio's en mogelijkheid tot de ontwikkeling van warmtenetten noodzakelijk.

5.2.5 Mogelijkheid tot structurele R&D en innovatie

Omdat de sector zich nog in de beginfase van haar ontwikkeling bevindt, hebben de huidige geothermie-operators nog geen R&D- en innovatie-afdelingen. Deze zouden kunnen ontstaan als ze zich als meermalige operators doorontwikkelen met

geothermie als kernactiviteit. Omdat de geothermie-operators de partij zijn die verantwoordelijk is voor de gehele levenscyclus van een projectontwikkeling zijn zij een essentiële schakel voor het inrichten van structurele R&D en innovatie in samenwerking met de toeleverende industrie en de kennisinstellingen. De mogelijkheid tot opschaling en herhaalpotentieel spelen hierbij een belangrijke rol.

Een samenhangend R&D- en innovatieprogramma zou zich moeten richten op de integrale analyse van de gehele levenscyclus van geothermieprojecten, met als doel het reduceren van de risico's en kosten en het verhogen van het rendement op de middellange en lange termijn. Op die manier kan geothermie zich ontwikkelen tot een competitieve, duurzame warmtebron. Het is van belang om het onderzoek mede in te richten op de relevantie voor de Nederlandse hoofd- en subplays. Het kan daarbij aansluiting zoeken bij andere onderzoeksprogramma's gericht op activiteiten in de diepe ondergrond zoals olie- en gaswinning. Daarnaast is R&D en innovatie gericht op de systeemintegratie van ondergrond en bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur van groot belang.

Met het opzetten van structurele en gerichte R&D en innovatie is naar verwachting nog een groot potentieel aan risico- en kostenreductie en rendementsverhoging mogelijk.

5.2.6 Financieringsvoordelen

Ten opzichte van de stand-alone ontwikkeling van geothermie biedt een play-based portfoliobenadering een aantal belangrijke financieringsvoordelen. Ten eerste vermindert de benadering de projectrisico's en -kosten en verhoogt het de kwaliteit en het rendement van de individuele projecten. Sterke geothermie-operators met geothermie als kernactiviteit zullen makkelijker aan de juiste financiering komen tegen relatief gunstigere condities.

Daarnaast is er een aantal financieringsvoordelen te behalen door een evenwichtige opbouw van grotere geothermieportfolio's met meerdere projecten: risicospreiding waarbij tegenvallers in het ene project worden opgevangen door de andere goedlopende projecten, vertrouwen dat groeit in de sector door professionalisering en uitbreiding van de financieringsmogelijkheden door toetredende eigen en vreemd vermogensinvesteerders.

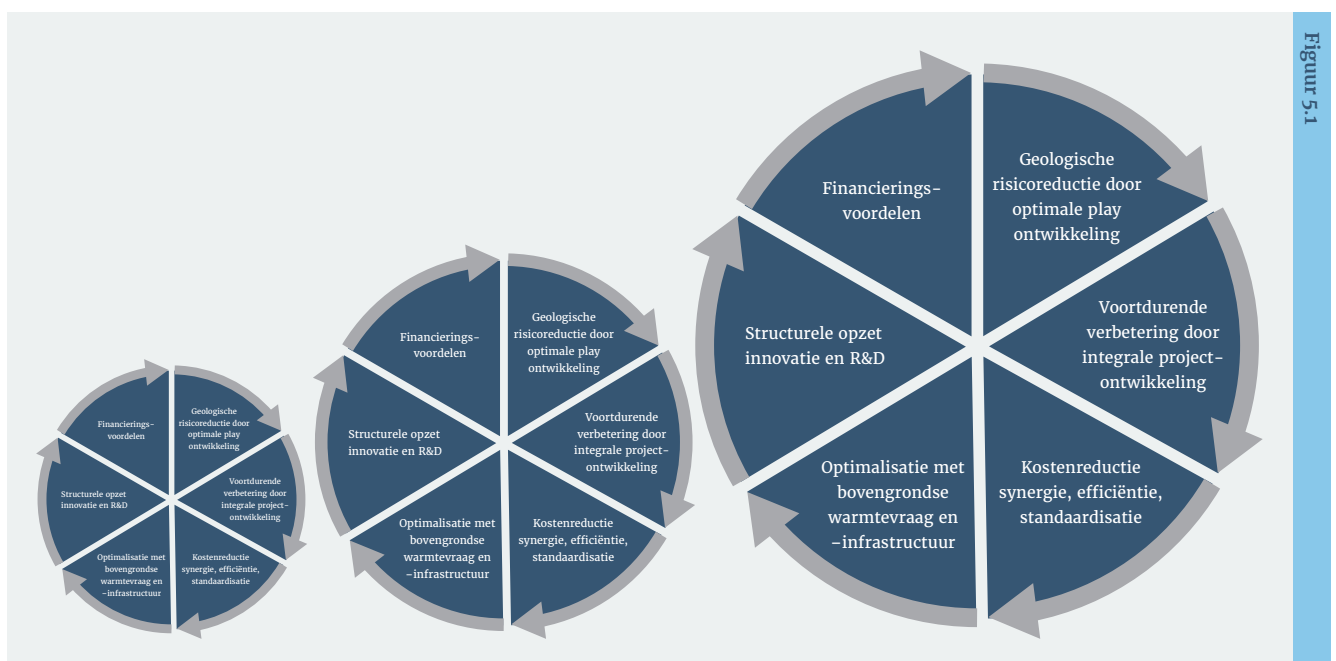
Hoewel het opbouwen van portfolio's met geothermieprojecten tijd kost, is het behalen van deze voordelen te versnellen door vormen van kruisinvesteringen. Geothermie-operators, maar ook investeerders in eigen en vreemd vermogen, kunnen hun te investeren vermogen ook samen spreiden over meerdere projecten. Op deze manier behalen ze direct een deel van de financieringsvoordelen. Ook delen partijen op die manier intensief de kennis van het ene geothermieproject met het andere. Kruisinvesteren kan in de geothermiesector nog tot grote voordelen en versnelling leiden.

5.2.7 Sneeuwbal effect en interferentie

De zes beschreven voordelen hangen sterk met elkaar samen. De optimale play-ontwikkeling gaat om het acquireren en delen van geologische en technische kennis om vervolprojecten optimaal te de-risken. Het goed organiseren en gebruik maken van deze kennis en expertise wordt logischerwijs ingericht in een integraal projectontwikkeling-management-systeem voor de hele levenscyclus van een project. Dit maakt het mogelijk om synergie, efficiëntie en standaardisatie te bewerkstelligen die leiden tot significante risico- en kostenreducties en verhoging van het rendement. De optimale aansluiting en doorontwikkeling op de bovengrondse warmtevraag en -infrastructuur is hier onlosmakelijk mee verbonden. Om te zorgen dat geothermie zich op de middellange en langere termijn ontwikkelt tot een competitieve,

duurzame warmtebron is het van belang structurele R&D en innovatie in te richten in een goede samenwerking tussen de geothermie-operators, hun toeleveranciers in de keten en de kennisinstellingen. Een dergelijke organisatorische inrichting en ontwikkeling van geothermieportfolio's en operators zal meer mogelijkheden bieden tot financiering tegen gunstigere condities. De zes verschillende voordelen versterken elkaar, wat kan leiden tot een sneeuwbal-effect. Om dit effect te bewerkstelligen zijn sterke operators nodig met geothermie als kernactiviteit. Zij kunnen de portfolio's opbouwen met een business model gericht op een groot herhaalpotentieel.

Zoals in de inleiding van dit rapport aangegeven, is er nog een ander voordeel dat de play-based benadering nu niet meeneemt. Aangenomen is in onderhavige analyse dat de geothermieprojecten niet met elkaar zullen interfereren. In de praktijk is het echter mogelijk, zeker zodra meer doubletten dicht bij elkaar worden ontwikkeld, dat afstemming tussen de activiteiten noodzakelijk is om de ondergrondse warmtevoorraad optimaal te gebruiken. Dit voorkomt onderlinge onenigheid, interferentie en roofbouw. Om optimale afstemming en verdeling van de publieke warmtebron in de ondergrond te waarborgen is diepgaande ondergrond- en actieve projectkennis en de uitwisseling tussen operators, projecten en betrokken overheden essentieel.



Figuur 5.1 Het sneeuwbal effect van de zes voordelen van de play-based portfolio benadering.

Dit interferentie-effect beperkt zich niet alleen tot de afstemming tussen de exploratie en winning van geothermie, maar ook tussen andere ondergrondse activiteiten zoals de drinkwatervoorziening, olie- en gasactiviteiten (waar behalve interferentie ook synergiemogelijkheden bestaan), zoutwinning et cetera.

5.3 Value of Information (VoI) volledig benutten

De meerwaarde van alle zes voordelen van de play-based portfoliobenadering wordt niet alleen gecreëerd door het acquireren en delen van de ondergrondgegevens, maar door het meten en monitoren en delen van alle informatie, kennis en expertise gedurende de gehele levenscyclus van een project. De mate van waardecreatie hangt af van hoe diep en intensief deze kennis wordt gedeeld.

Figuur 5.2 illustreert nog eens in de levenscyclus hoe breed de gradaties hierin kunnen zijn. Het blauwe blokje staat bijvoorbeeld voor het delen van de pre-stack data van seismisch onderzoek zoals bijvoorbeeld de Mijnbouwwet dit vraagt van de operators. Het groene blokje is een voorbeeld van het delen van de kennis op het gebied van VGM-systemen tussen operators. Over het gehele spectrum aan activiteiten kunnen operators hun gegevens, kennis en ervaring delen. De meest optimale en waardevolle vorm van kennisdeling is het oranje blok met

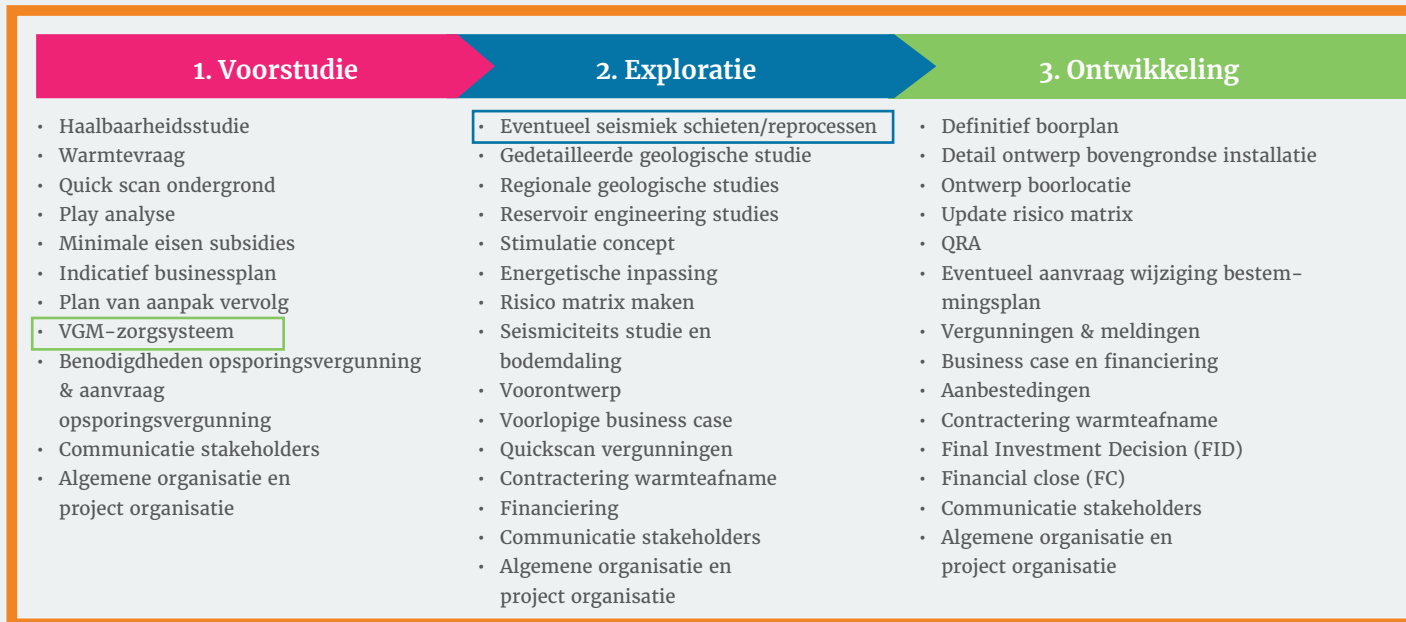
daarin alle data, kennis en expertise in samenhang met de gehele levenscyclus. Operators kunnen dit in hun eigen portfolio inrichten of kunnen dit doen in samenwerkingsverbanden door middel van kruisinvesteringen in elkaars projecten.

In de huidige situatie vindt dit reeds tot op zekere hoogte plaats via de beschikbaarheid van de ondergronddata via TNO AGE en via kennisuitwisseling tussen de bestaande operators binnen DAGO verband, de Kennisagenda en de kennisuitwisseling via Stichting Platform Geothermie. Meer intensieve vormen van het delen van gegevens, kennis en expertise in de vorm van samenwerkingsverbanden of kruisinvesteringen zou naar verwachting een aanzienlijk groter deel van de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering ontsluiten.

5.4 Dynamisch karakter geothermievorming, een prognose met toepassing van de play-based portfoliobenadering

Zoals aangegeven in paragraaf 2.7 is het bruikbaar potentieel van geothermie dynamisch van aard. Het geothermisch potentieel hangt af van de ontwikkeling van drie zaken: de ondergrond, de warmtevraag en de warmtenetten. De ontwikkeling van de risico's, kosten en opbrengsten voor geothermie spelen een doorslaggevende rol in de vraag in hoeverre geothermie een competitieve duurzame warmtebron vormt. Opschaling en toepassing van de play-based

Figuur 5.2



Figuur 5.2 Gradaties van delen gegevens, kennis en expertise. De optimale vorm die de grootste meerwaarde creëert is die waarbij alle gegevens, kennis en expertise uit de gehele projectontwikkeling te kunnen delen (oranje blok).

portfoliobenadering kan hierin een belangrijk verschil maken gezien de substantiële meerwaarde die dit met zich meebrengt. Als deze meerwaarde wordt gerealiseerd zal de ontwikkeling van geothermie versnellen en wordt meer potentieel gerealiseerd en vice versa. Voor de kapitaalsintensieve investeringen van geothermie en warmtenetten betekent dit dat er voor een competitieve toepassing een kritische minimaal efficiënte schaalgrootte bestaat die op zijn beurt weer afhangt van de mate van samenwerking tussen de geothermie-operators, de warmtevragers en warmtenetbedrijven.

In dit licht is het ook van belang te benadrukken dat het scenario dat in deze analyse is gehanteerd van circa 200 doubletten en 40 PJ niet het geothermiepotentieel scenario vertegenwoordigt dat kan worden ontwikkeld. Het gebruikte scenario is vooral bedoeld om een eerste inzicht te krijgen in de orde van grootte van waarde aan te geven van de play-based portfolio-benadering. Toepassing van deze benadering maakt de kans groter dat het genoemde potentieel in dit scenario ook daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Echter naar verwachting is de ontwikkeling van een aanzienlijk groter potentieel en aantal doubletten mogelijk, wat op zijn beurt ook de meerwaarde van de play-based portfolio-benadering verder vergroot. Het is van belang om het gebruikte scenario in perspectief te blijven plaatsen van de recente verwachtingen van het geothermiepotentieel, die

daarbij een gunstige ontwikkeling van geothermie veronderstellen. Het gehanteerde scenario gaat uit van de gegevens van het wat verouderde, aangenomen Nederlandse geothermiepotentieel uit ThermoGIS 2012 voor de plays Jura/Krijt, Trias en Rotliegend. Dit potentieel is geriskeerd ontwikkeld, wat betekent dat de huidige kans op falen en alle bestaande onzekerheid in de Nederlandse ondergrond voor geothermie-ontwikkeling in deze plays volledig is meegenomen. In principe is een dergelijke ontwikkeling van 200 doubletten op basis van de huidige kennis en technologie, bestaande warmtevraag en ondersteunend subsidiebeleid een dergelijke ontwikkeling naar 2030 binnen handbereik. Reeds uit de gevoeligheidsanalyse van de resultaten in hoofdstuk 3 blijkt dat de bandbreedte van het te realiseren potentieel voor de meegenomen subplays groot is, namelijk ongeveer 25-70 PJ.

In de 2012-versie van ThermoGIS is belangrijke nieuwe kennis over de ondergrond nog niet meegenomen. De verwachting is dat met meenemen van onder meer verbeterde geostatistische methodes de gemiddelde startkans van verschillende (sub)plays hoger wordt. Een belangrijk effect van verdere exploratie en ontwikkeling van projecten is überhaupt dat ook andere gebieden minder onzeker worden. Dit komt doordat alle nieuwe informatie in de ondergrond bijdraagt aan het structurele inzicht en de ontstaansgeschiedenis ervan. Exploratie en

4. Realisatie

- Selectie en contractering contractors
- Vergunningen en meldingen
- Materiaalaanschaf
- Uitvoering 1ste boring en testen
- Uitvoering 2de boring en testen
- Water analyse
- Update reservoir model
- Monitoring seismiciteit indien noodzakelijk
- VGM zorgsysteem productiefase
- QRA productiefase
- Definitief ontwerp bovengronds
- Aanleg faciliteiten bovengronds
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

5. Productie

- Ontwikkeling van de putten
- Vergunningen en meldingen (o.a. WVA, NORM)
- Meetprogramma tijdens productie: monitoring debiet, pompdruk, temperatuur, casing, waterkwaliteit, corrosie, afgenomen elektrische energie, bovengronds systeem
- Beheer en onderhoud
- Inhibitor
- Verzekeringen
- Monitoring seismiciteit
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

6. Opruimen

- Reservering financiële middelen voor opruiming installatie en put
- Werkprogramma opstellen
- Vergunningen en meldingen
- Opruimactiviteiten per doublet
- Communicatie stakeholders
- Algemene organisatie en project organisatie

ontwikkeling in onbekende gebieden draagt hier het sterkst aan bij. Het reduceren van deze onzekerheid betekent bijvoorbeeld dat er grote delen met een startkans $P > 30$ bij zullen komen. Tijdens het exploreren en ontwikkelen van geothermie verandert derhalve het potentieel.

Dit betekent ook dat grotere geografische delen van de (sub)plays meegenomen worden bij de P_{30} en P_{50} gebieden van de (sub)plays.

De nieuwe versie van ThermoGIS die naar verwachting in de tweede helft van 2018 wordt opgeleverd, zal deze nieuwe inzichten meenemen. Dit leidt naar verwachting tot opwaartse bijstelling van het geothermiepotentieel in de orde-grootte van tientallen PJ.

Voorts neemt ThermoGIS (2012) een aantal lagen nog niet mee zoals de Tertiaire zanden en het Dinantien. Naast de potentie voor conventionele geothermie is er ook potentie voor ondiepe geothermie (tussen de 500 en 1500 meter) en ultradiepe geothermie. Voor ultradiepe geothermie worden, op voorwaarde van het doorlopen van een succesvolle exploratiefase, voorzichtige schattingen gedaan van een realiseer-

bare potentie door TNO van 50 PJ voor 2030 (TNO 2016).

Bovendien is in deze analyse een heel groot deel van Nederland met $P < 30$ nu niet meegenomen. Afgezien van de potentie van niet meegenomen lagen, kan de ontwikkeling van gebieden met een lagere startkans potentieel veel extra bijdragen aan het te ontwikkelen geothermische potentieel. Zoals uit de analyse van de play-benadering naar voren is gekomen: als er in gebieden met een groot herhaalpotentieel (H) nog hoge onzekerheid (O) is, dan is het de moeite waard om de werkelijke startkans (P) te onderzoeken door exploratie (E). Het is van belang deze gebieden in Nederland te identificeren. Met de inzichten van nu kan, uitgaande van een warmtevraag van 300 PJ in niet meegenomen P_{50} startkans-gebieden, tenminste circa 15 PJ extra worden ontwikkeld.

Tot slot zou de ontwikkeling van warmtenetten de match tussen geothermieaanbod en relevante warmtevraag sterk kunnen vergroten, en daarmee het geothermiepotentieel. Bij een groei in 2030 van de bestaande warmtenetten tot 300% van het huidige warmteproductie, wordt een extra groei in

| geothermisch potentieel, bestaande warmtevraag | potentieel [PJ] | |
|---|-----------------|------------|
| | min | max |
| ThermoGIS 2012 reservoirs (gehanteerd scenario van 40 PJ) | 25 | 70 |
| update ThermoGIS 2018 ³² | 10 | >10 |
| ultradiepe geothermie ³³ | 25 | 50 |
| $P < 30$ gebieden | 15 | 40 |
| dynamische effecten warmtevraag | min | max |
| groei warmtenetten ³⁴ | 15 | 25 |
| Hoge Temperatuur Opslag ³⁵ | 10 | 25 |
| verplaatsing warmtevraag (e.g. kasgebieden), transport warmte | 0 | 80 |
| prognose bruikbaar potentieel geothermie | 100 | 300 |

Tabel 5.1

Tabel 5.1 Voorlopige prognose van het bruikbare geothermiepotentie in Nederland op basis van de meest recente inzichten.

³² Verwachte extra bijdrage van nieuwe reservoirs, andere behandeling van onzekerheid en kosten-baten analyse.

³³ De conservatieve inschatting is gebaseerd op een 50% kans op het doorlopen van een succesvolle ontwikkeling van 50 PJ (TNO, 2016).

³⁴ Uitgaande van groei tot 300% van het huidige vermogen van warmtenetten.

³⁵ Uitgangspunt is dat de geothermische warmte productie met minimaal 20% kan groeien, in een ca 50% deel van de kas en warmtenet-aansluitingen.

de ontwikkeling van geothermie mogelijk van circa 15-25 PJ. Een dergelijke groei van de warmtenetten is zeker niet uitgesloten. Het voorgestelde warmtenet in Zuid-Holland levert reeds een groei van meer dan 50%. Een recent rapport van Ecofys becijfert een groei van 450% tot 2030. Deze ontwikkeling kan in samenspel met hoge temperatuuropslag op zijn beurt het aantal draaiuren van geothermische doubletten met meer dan 20% vergroten. Ook dit leidt tot tientallen PJ extra potentieel. Verdere groei van het potentieel kan komen van het verplaatsen van de warmtevraag, bijvoorbeeld kassen, naar gebieden met een goede ondergrond voor de ontwikkeling van geothermie. Ook kan warmte in de toekomst waarschijnlijk makkelijker en goedkoper over grotere afstanden worden getransporteerd.

Tabel 5.1 geeft een prognose weer op basis van deze inzichten. Het blijft belangrijk te benadrukken dat de uiteindelijke realisatie sterk afhangt van nadere exploratie en samenhangende ontwikkeling van de ondergrond, de warmtevraag en de warmtenetten. Bovenstaande prognose wijzigt op basis van meer informatie van de huidige situatie, de voortgaande ondergrondse en bovengrondse ontwikkelingen en de daarbij horende stand der techniek.



6. Referenties

TNO en EBN (17 augustus, 2017).

Portfoliovoordelen van geothermie (powerpoint).

ECN (2017a).

Nationale Energieverkenning 2017 ECN (2017b).

Notitie Kostenonderzoek geothermie SDE+ 2018.

Ecofys (2017).

Overige hernieuwbare energie in Nederland.

Een potentieelstudie.

EGEC (2017).

2016 EGEC Geothermal Market Report. Full report.

Sixth edition, May 2017.

ENECO, Ennatuurlijk, Eteck, HVC, NUON, SVP (2017).

Nationaal Warmtenet Trendrapport 2017.

IGA (2014).

Best Practices Guide for Geothermal Exploration.

IF Technology, Ecofys, TNO (2011).

Diepe geothermie 2050. Een visie voor 20% duurzame energie voor Nederland. 23.8222/109143/GW.

IF Technology, ECN (2014).

Kansen voor diepe geothermie bij industriële processen.

Kramers, L., van Wees, J.-D., Pluymaekers, M.P.D., Boxem, T. (2012).

Direct heat resource assessment and subsurface information systems for geothermal aquifers; the Dutch perspective. Netherlands Journal of Geosciences 91-4.

Ministerie van Economische Zaken (2011).

Actieplan aardwarmte.

Ministerie van Economische Zaken (2015).

Kamerbrief warmtevisie.

Ministerie van Economische Zaken (2017).

Beantwoording vragen naar aanleiding van de Staat van de Sector Geothermie.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2017).

Delfstoffen en aardwarmte in Nederland. Jaarverslag 2016.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018).

Beleidsbrief geothermie.

Nederlandse Vereniging van Banken (2015a).

Technische aspecten van geothermie.

Nederlandse Vereniging van Banken (2015b).

Financiering en financierbaarheid van geothermie projecten.

Planbureau voor de Leefomgeving (2017).

Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (2018).

Regeling nationale EZ subsidies – Risico's dekken voor aardwarmte. Handleiding Garantieregeling tegen het risico van misboring – zevende openstelling.

Staatstoezicht op de Mijnen (2017).

Staat van de Sector Geothermie.

TNO (2016).

Ultradiepe geothermie: Overzicht, inzicht & to-do ondergrond. TNO rapport R10803. Auteurs T.A.P. Boxem, J.G. Veldkamp en J.D.A.M. van Wees.

Van Wees, J.-D., Kronimus, A., Van Putten, M., Pluymaekers, M.P.D., Mijnlief, H.M., van Hooff, P., Obdam, A. en Kramers, L. (2012).

Geothermal aquifer performance assessment for direct heat production – Methodology and application to Rotliegend aquifers. Netherlands Journal of Geosciences, v91-4.

Van Wees, J.-D., Pluymaekers, M.P.E., Bonté, D., van Gessel, S.F., Veldkamp, J.G. (2017).

Unlocking geothermal energy from mature oil and gas basins: a success story from the Netherlands. In: Bertani, R. (ed): Perspectives for geothermal energy in Europe.



TNO

ebn

