

Opschaling aardwarmte in warmtenetten

Een analyse van de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering

Berenschot



Berenschot



Datum 17 december 2018

Referentie 67282/RK/20181217

Betreft Opschaling aardwarmte in warmtenetten: Een analyse van de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering

Behandeld door Rob Kleinlugtenbelt (IF Technology)
Linde van Laerhoven (IF Technology)
Benno Schepers (CE Delft)
Marijke Meyer (CE Delft)
Rutger Bianchi (Berenschot)
Jan Warnaars (Berenschot)

Gecontroleerd door Nick Buik (IF Technology)
Guus Willemsen (IF Technology)
Benno Schepers (CE Delft)
Rutger Bianchi (Berenschot)

Versienummer Definitief

OPDRACHTGEVERS

EBN

Daalsesingel 1
3511 SV Utrecht

Gasunie

Concourslaan 17
9727 KC Groningen

Samenvatting

Deze studie laat zien dat met behulp van de zogenaamde play-based portefeuilenadering het economisch aardwarmtepotentieel met een factor 7 toeneemt ten opzichte van de situatie waarin aardwarmteprojecten individueel worden ontwikkeld.

Gekeken is naar de meerwaarde die de toepassing van de play-based portefeuilenadering biedt bij de ontwikkeling van aardwarmte gekoppeld aan de bovengrondse warmtevraag. Hierbij geeft het rapport aan welke geologische sub-plays waar in Nederland zijn te onderscheiden voor de ontwikkeling van aardwarmte. Daarnaast geeft het aan waar de gebieden in Nederland zijn met een relatief dichte warmtevraag waar naar verwachting collectieve warmtenetten de meest economische oplossing voor een toekomst zonder aardgas blijken. Beide zijn gekoppeld om aan te geven waar op basis van de huidige gegevens aardwarmte in de gebouwde omgeving en glastuinbouw zich verder kan ontwikkelen. Daarnaast is samen met de huidige aardwarmte- en warmtesector opgetrokken om de voordelen van de play-based portefeuilenadering te bespreken en tot aanbevelingen te komen.

Het rapport laat zien dat er nog relatief beperkte gegevens van de Nederlandse ondergrond beschikbaar zijn. De ontwikkeling van aardwarmte zit in grote delen van Nederland in de exploratieve fase en het aardwarmtepotentieel is dynamisch van aard.

Nederland staat voor de opgave om in 2030 de CO₂-uitstoot met 49% te reduceren ten opzichte van de uitstoot in 1990. In 2050 is het doel om de CO₂-uitstoot te reduceren met 95% (Regerakkoord, 2017). Om deze doelstelling te halen zal de warmtesector de jaarlijkse CO₂-uitstoot met circa 56 Mton per jaar moeten reduceren (Masterplan Aardwarmte, 2018). Deze reductie is alleen haalbaar door in te zetten op energiebesparing en meerdere duurzame warmtebronnen. Aardwarmte (ook wel geothermie genoemd) kan met 12 Mton een belangrijke bijdrage aan de totale CO₂-reductie gaan leveren.

Om deze CO₂-reductie te realiseren zal aardwarmte moeten opschalen van 3 PJ per jaar uit 20 aardwarmtesystemen (per 1 januari 2018, Delfstoffen en aardwarmte in Nederland, jaarverslag 2017) naar meer dan 200 PJ per jaar uit meer dan 700 aardwarmtesystemen in 2050. Om deze opschaling mogelijk te maken is een optimale afstemming nodig tussen de bovengrondse vraag (en warmtenetten) en het ondergrondse aanbod. Met dit doel voor ogen hebben TNO en EBN een eerste opzet gemaakt van de play-based portefeuilenadering, waarmee aardwarmte op een veilige en verantwoorde wijze kan opschalen terwijl tegelijkertijd de kostprijs daalt.

Doel

Deze studie is een verdieping van de eerste inzichten in de toepassing van de TNO en EBN play-based portefeuilenadering. Het doel is om inzicht te bieden in het potentieel en de voordelen van het ontwikkelen van aardwarmte met behulp van de play-based portefeuilenadering. Op basis van deze inzichten is een vertaalslag gemaakt naar wat er nodig is om aardwarmte te ontwikkelen tot een grootschalige, competitieve duurzame warmtebron.

Werkwijze

De bovengrondse warmtevraag en de alternatieve technologieën voor het bedienen van deze vraag zijn geanalyseerd, inclusief die van het ondergrondse aanbod van aardwarmte.

De bovengrondse warmtevraag is op buurniveau geanalyseerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsbouw) en glastuinbouw. Industriële warmtevraag maakt dus nog geen deel uit van deze analyse. Voor elke buurt is voor zowel **individuele oplossingen** als **collectieve oplossingen** de kostprijs bepaald van de warmtevoorziening. Hierbij is rekening gehouden met tal van fysieke eigenschappen van de buurten, zoals dichtheid, bouwjaar, huidige energieverbruik, et cetera. Door in kaart te brengen wat de kosten van deze twee oplossingen zijn, wordt het duidelijk wat per buurt de kostprijs van aardwarmte met een warmtenet moet zijn om te kunnen concurreren met andere duurzame technieken. Dit maakt duidelijk waar de gebieden in Nederland zijn waar naar verwachting collectieve warmtenetten de meest economische oplossing blijken (zie Figuur 4.11 in het rapport).

Een gedeelte van het ondergronds warmteaanbod is geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar drie geologische lagen (plays) die geschikt zijn voor het leveren van warm water en daarmee potentie hebben voor aardwarmte. Dit betreft het Rotliegend play, het Trias play en het Jura-Krijt play. Andere plays, zoals bijvoorbeeld Tertiair en Dinantien zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten. De plays zijn onderverdeeld in sub-plays. Binnen een sub-play zijn de eigenschappen van de ondergrond homogener dan binnen het play zelf, waardoor het voorspellend karakter van een eerste project op vervolprojecten nog sterker is dan binnen een play. De analyse geeft op basis van de informatie van ThermoGIS 1.2 de sub-plays van de drie genoemde plays in de Nederlandse ondergrond weer (zie Figuur 5.2 in het rapport). Dit ligt aan de basis van de geologische risicoreductie die via de play-based portfoliobenadering wordt gerealiseerd.

Bij toepassing van play-based portfoliobenadering is bepaald hoeveel bovengrondse warmtevraag gekoppeld kan worden aan ondergronds warmteaanbod. Vraag en aanbod zijn gekoppeld wanneer de afstand tussen vraag en aanbod beperkt is en wanneer de kostprijs van aardwarmte kan concurreren met ander duurzame technieken. Dit leidt tot een hoeveelheid te ontwikkelen aardwarmteprojecten. Hiervan zijn de cumulatieve netto-contante waarde en de totale hoeveelheid gekoppelde warmte bepaald. Beide waarden zijn vergeleken met de situatie waarin aardwarmteprojecten individueel worden ontwikkeld, zonder de risicoreducerende en kostprijsverlagende voordelen die een portfolio aanpak biedt. Het verschil tussen play-based portfoliobenadering en individuele ontwikkeling is een maat voor de toegevoegde waarde van play-based portfoliobenadering.

Resultaten

De Nederlandse warmtevraag bedraagt bijna 1.000 PJ per jaar. Hiervan is echter een groot deel afkomstig uit de industrie en heeft een temperatuur hoger dan 250°C. Uiteindelijk heeft ongeveer de helft van de totale warmtevraag van Nederland een temperatuurniveau waarbij aardwarmte een rol kan spelen. Aan de hand van het CEGOIA-model is gekeken naar de kosten van de gehele warmtevoorziening, gegeven verschillende individuele en collectieve technieken en de hele keten van productie tot en met verbruik. Uit de analyse met dit model blijkt dat circa 270 PJ van de warmtevraag van lager dan 250°C ingevuld kan worden met een collectieve warmtevoorziening (warmtenet op bijvoorbeeld restwarmte). Aardwarmte kan de bron zijn van dergelijke warmtenetten, mits de kostprijs van de warmte gunstig is en aardwarmte op de locatie mogelijk is.

In de ondergrond is een enorme hoeveelheid warmte aanwezig. Ingeschat is dat alleen al in de geothermische plays Rotliegend, Trias en Jura-Krijt de totaal aanwezige hoeveelheid aardwarmte 370.000 PJ bedraagt. Vermoedelijk is er nog veel meer warmte aanwezig in andere geothermische plays. De beschikbare informatie over de ondergrond in Nederland is echter niet overal voldoende; in sommige gebieden is veel bekend over de potentie en in andere nog weinig tot niets. Door toepassing van de play-based portfoliobenadering kan op maatschappelijk verantwoorde en economische wijze steeds meer bekend worden over de ondergrondse potentie en kan de koppeling met de bovengrond worden geoptimaliseerd.

De ontwikkeling van aardwarmte zit in grote delen van Nederland in de exploratieve fase en het aardwarmtepotentieel is dynamisch van aard. Op basis van de tot nog toe relatief beperkte gegevens van de ondergrond uit ThermoGIS 1.2 kan met de play-based portfoliobenadering 62 PJ van de 270 PJ aan jaarlijkse collectieve warmtevraag worden gekoppeld aan ondergrondse aardwarmte, te produceren uit ruim 370 doubletten. Deze gekoppelde aardwarmte is opgebouwd uit 34 PJ voor Rotliegend, 3 PJ voor Trias en 24 PJ voor Jura-Krijt. De gekoppelde aardwarmte ligt vooral in Noord-Holland en Zuid-Holland (55 PJ). De resterende gekoppelde aardwarmte (7 PJ) ligt verspreid over noord en midden Nederland. Wanneer aardwarmteprojecten individueel worden ontwikkeld, is ingeschat dat slechts circa 8 PJ aan aardwarmte gekoppeld kan worden, te produceren uit circa 30 doubletten. Door toepassing van de play-based portfoliobenadering neemt de hoeveelheid gekoppelde aardwarmte dus toe met circa 54 PJ. Dit komt overeen met een toename van circa 700%. Dit onderstreept de grote waarde van de toepassing van de play-based portfoliobenadering.

Dit verschil kan ook in een monetaire waarde worden uitgedrukt. De netto contante waarde van de ontwikkeling van deze 62 PJ is ingeschat op 1.400 miljoen euro. In het geval deze 62 PJ individueel wordt ontwikkeld, is de netto contante waarde ingeschat op -600 miljoen euro. Play-based portfoliobenadering levert in dit geval een meerwaarde op van 2.000 miljoen euro.

De mate van herhaalpotentieel is de kritische succesfactor bij het realiseren van meerwaarde in de ondergrond. Het herhaalpotentieel is het aantal doubletten dat binnen een sub-play gerealiseerd kan worden, gegeven de bovengrondse warmtevraag. Elk project binnen een sub-play kan leren van eerdere projecten binnen dezelfde sub-play. Bij elk volgend project nemen ook de kosten af door synergie, standaardisatie en efficiency. Ingeschat is dat significante kostenreducties haalbaar zijn. Dus hoe groter het herhaalpotentieel, hoe groter de uiteindelijke voordelen op het vlak van risicoreductie en kostenreductie. Dit effect is het grootst als het herhaalpotentieel wordt benut door één operator die de gehele sub-play in portfolio ontwikkelt. Mocht dit niet het geval zijn, dan is een vorm van diepe kennisdeling cruciaal om de leercurve binnen de sub-play te doen groeien.

De toename in gekoppelde aardwarmte en verschil in netto contante waarde zijn indicatief. Ze dienen om een gevoel te krijgen van de mogelijke voordelen van toepassing van play-based portfoliobenadering. In deze studie is een aantal andere voordelen van deze benadering nog niet meegenomen. Dit zijn (naast geologische risico-reductie door optimale play-ontwikkeling en kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie, die wel kwantitatief zijn ingeschat) de volgende voordelen:

- Veiligheid & integrale projectontwikkeling: aardwarmteprojecten binnen dezelfde sub-play zijn sterk vergelijkbaar. Wanneer operators meerdere projecten ontwikkelen, bij voorkeur binnen dezelfde sub-play, kunnen ervaringen, gegevens en kennis bijdragen aan de optimalisatie en kwaliteit van projectontwikkeling.

- Optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur: warmtenetten zijn, net zoals aardwarmte, kapitaalintensief en hebben baat bij een grote schaalomvang. Door warmtevraag en aardwarmte in samenhang met de andere warmtebronnen te bekijken en ontwikkelen is het mogelijk om de benodigde infrastructuur optimaal te ontwikkelen.
- Structurele opzet R&D en innovatie: bij grootschalige ontwikkeling van aardwarmte wordt het voor operators interessant om te investeren in gestructureerde R&D en innovatie. Dit zal leiden tot risicoreductie en kostenverlaging.
- Financieringsvoordelen: door risicoreductie zal de eigen financieringsbijdrage naar beneden kunnen (in die volgorde). Meer vreemd geld komt beschikbaar tegen een lager rentetarief. Hierdoor zullen de kapitaallasten afnemen. Kruisinvesteringen bevorderen kennisdeling en dragen daarmee bij aan risicoreductie.

Aanbevelingen

- Om optimaal gebruik te kunnen maken van de voordelen van de portfoliobenadering wordt aanbevolen te overwegen elke sub-play te laten ontwikkelen door één of een beperkt aantal operators die hun data en kennis over de projecten diep met elkaar delen.
- Data- en kennisuitwisseling kan verder bijdragen aan optimale play-ontwikkeling. Dit kan door kennisuitwisseling tussen operators, of door kennispartners te laten deelnemen als partner in samenwerkingsverbanden voor verschillende (sub)plays. Voor commerciële partijen kan er bijvoorbeeld een incentive komen om data en kennis te delen. Een andere mogelijkheid is dat de overheid investeert in kennisontwikkeling en -deling. Het is van belang op te merken dat het hierbij gaat om data- en kennis over alle ins en outs van de projectontwikkeling, dus ook de gegevens die normaliter veelal in het confidentiële domein liggen.
- Voor elk aardwarmteproject (bestaande uit één of meerdere doubletten) wordt momenteel eerst een opsporingsvergunning aangevraagd en aansluitend een winningsvergunning. Het verlenen van een enkelvoudige vergunning of vorm van concessie voor aardwarmte sluit mogelijk beter aan bij de play-based portfoliobenadering. Het heeft hierbij de voorkeur dat zo'n vergunning of concessie voldoende ruimte biedt zodat er meerdere doubletten gerealiseerd kunnen worden, idealiter binnen (een deel van) een sub-play.
- Regelgeving met betrekking tot concessies voor warmtenetten enerzijds en vergunningverlening voor aardwarmte anderzijds sluit momenteel niet optimaal op elkaar aan. Verder onderzoek naar de gewenste situatie en regelgeving is aan te bevelen.
- De bovengrondse warmtevraag is meegenomen in de analyse, maar de organisatie daarvan niet. Voor opschaling van aardwarmte zal er ook een uitgebreid portfolio aan warmtevraag moeten komen. Bovendien is aardwarmte slechts een van de warmtebronnen die de uitbreiding of aanleg van een warmtenet voeden. De ontwikkeling van aardwarmte dient als onderdeel van de ontwikkeling van een bronnenstrategie te worden gezien. Met het oog op te vormen regionale energiestrategieën en warmtevisies, zoals benoemd in het voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord, zullen warmtebedrijven hierin samen met lokale en regionale overheden moeten optrekken en zo in samenhang aardwarmte aan de hand van een brede portfoliobenadering kunnen ontwikkelen.
- De play-based portfoliobenadering is toegepast op een deel van de warmtevraag en op een deel van de ondergrond. Geadviseerd wordt om in een volgende stap ook de industriële warmtevraag en het Tertiair mee te nemen. Momenteel loopt er ook een Green Deal Ultradiepe Geothermie met een actief exploratiewerkprogramma en start de uitvoering van de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN). Wanneer hieruit nieuwe exploratiedata beschikbaar komen, kan deze ook worden meegenomen in de analyse.

- Bij de toepassing van play-based portfoliobenadering zijn twee voordelen meegenomen, namelijk geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling en kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie. Aanbevolen wordt om bij een volgende stap te onderzoeken of de andere voordelen ook gekwantificeerd kunnen worden.
- TNO heeft lopende dit onderzoek ThermoGIS 2.0 gepubliceerd. Geadviseerd wordt om op basis van ThermoGIS 2.0 een update te doen van de analyse. Dit geeft naar verwachting een opwaartse bijstelling van het economische potentieel van aardwarmte ten opzichte van die waar in deze studie nu mee is gerekend.

INHOUDSOPGAVE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 10 |
| 1.1 | Achtergrond | 10 |
| 1.2 | Betrokken partijen | 11 |
| 1.3 | Kader, branche en toezicht | 12 |
| 1.4 | Afbakening | 12 |
| 1.5 | Leeswijzer | 13 |
| 2 | Play-based portfolio benadering | 14 |
| 2.1 | Wat is play-based portfolio benadering? | 14 |
| 2.2 | Zes Voordelen play-based portfolio benadering | 15 |
| 2.2.1 | Geologische risico-reductie door optimale play-ontwikkeling | 16 |
| 2.2.2 | Veiligheid & integrale projectontwikkeling | 20 |
| 2.2.3 | Kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie | 21 |
| 2.2.4 | Optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur | 23 |
| 2.2.5 | Structurele opzet R&D en innovatie | 25 |
| 2.2.6 | Financieringsvoordelen | 25 |
| 2.3 | Sneeuwbaaleffect en interferentie | 26 |
| 3 | Methodiek | 28 |
| 3.1 | Werkwijze | 28 |
| 3.2 | Stappenplan play-based portfolio benadering | 29 |
| 3.2.1 | Stap 1: Analyse van de bovengrond | 29 |
| 3.2.2 | Stap 2: Analyse van de ondergrond | 30 |
| 3.2.3 | Stap 3: Clusteren van de warmtevraag | 30 |
| 3.2.4 | Stap 4: Koppelen van vraag en aanbod | 31 |
| 3.2.5 | Stap 5: Opdelen per sub-play | 31 |
| 3.2.6 | Stap 6: Toepassen play-based portfolio benadering | 32 |
| 4 | Bovengrondse warmtevraag- en aanbod | 33 |
| 4.1 | Huidige warmtevraag | 33 |
| 4.1.1 | Gebouwde omgeving | 33 |
| 4.1.2 | Glastuinbouw | 36 |
| 4.2 | Warmteaanbod | 39 |
| 4.2.1 | HT-(rest)warmte | 39 |
| 4.2.2 | Gecombineerde inzet warmtebronnen | 41 |
| 4.2.3 | LT-(rest)warmte | 41 |
| 4.2.4 | Alternatieve bronnen | 43 |
| 4.3 | Ontwikkeling warmtevraag | 44 |
| 5 | Warmteaanbod uit de ondergrond | 49 |
| 5.1 | Definities | 49 |
| 5.2 | Stappenplan onderverdeling in sub-plays | 50 |
| 5.3 | Olie- en gasvoorkomens | 52 |
| 6 | Toepassing play-based portfolio benadering | 53 |
| 6.1 | Toepassingsgebied | 53 |

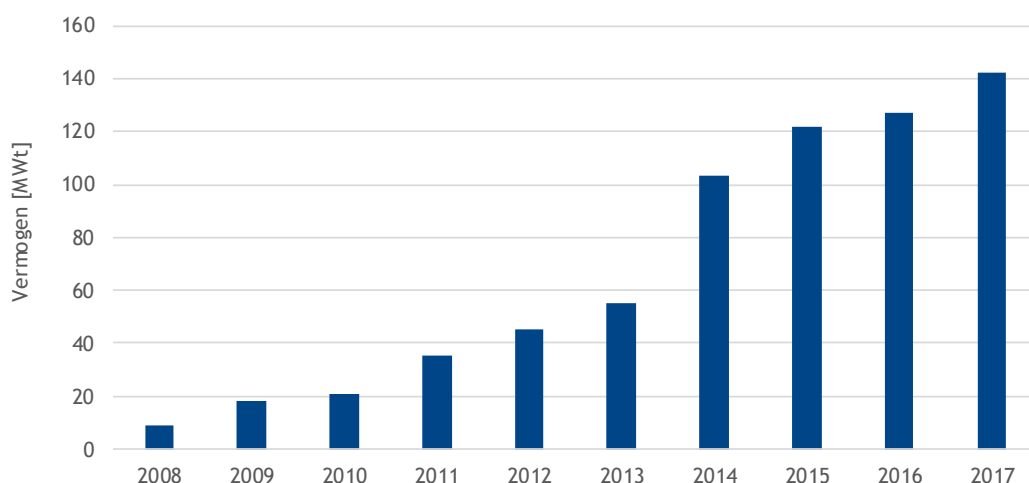
| | |
|---|-----------|
| 6.1.1 Toepassingsgebied warmtevraag: gebouwde omgeving en glastuinbouw | 53 |
| 6.1.2 Toepassingsgebied winbare aardwarmte | 54 |
| 6.1.3 Toepassingsgebied play-based portfoliobenadering | 55 |
| 6.2 Voordelen toegepast in play-based portfoliobenadering | 56 |
| 6.3 Resultaten Rotliegend | 57 |
| 6.4 Resultaten Trias | 61 |
| 6.5 Resultaten Jura-Krijt | 63 |
| 6.6 Resultaten totaal | 65 |
| 6.7 Upsides | 66 |
| 7 Opschaling en ontwikkelstrategie | 68 |
| 7.1 Het speelveld rondom warmte | 68 |
| 7.1.1 Overzicht rollen partijen nu en richting 2050 | 72 |
| 7.1.2 Kansen en belemmeringen | 75 |
| 7.2 Opschaling door play-based portfoliobenadering | 75 |
| 7.2.1 Welke voordelen worden er geïdentificeerd en hoe worden deze gewaardeerd? | 75 |
| 7.2.2 Hoe komt samenwerking tot stand? | 78 |
| 7.2.3 Wat zijn de belangrijkste aandachtspunten/waar liggen belemmeringen? | 78 |
| 7.3 Hoe kunnen verschillende voordelen worden ingericht? | 79 |
| 7.4 Ontwikkelstrategie | 80 |
| 8 Conclusies en aanbevelingen | 83 |
| 8.1 Conclusies | 83 |
| 8.2 Aanbevelingen | 84 |
| Literatuurlijst | 86 |
| Bijlage 1 Portfoliobenadering | 88 |
| Bijlage 2 Sub-plays | 97 |
| Bijlage 3 Kostprijs aardwarmte | 114 |
| Bijlage 4 Toelichting CEGOIA | 118 |
| Bijlage 5 Warmtenetten | 131 |
| Bijlage 6 Werksessies | 139 |

1 Inleiding

1.1 ACHTERGROND

Ontwikkeling van aardwarmte in Nederland

Aardwarmte (ook wel geothermie genoemd) wordt gezien als een belangrijke potentiële bron voor duurzame warmte. De aardwarmtesector in Nederland is volop in beweging. Het eerste succesvolle aardwarmteproject in Nederland is in 2006/2007 gerealiseerd bij tomatenteler Van den Bosch in Bleiswijk. Sindsdien is het aantal systemen in Nederland gegroeid naar 20 aardwarmteprojecten (per 1 januari 2018, Delfstoffen en aardwarmte in Nederland, jaarverslag 2017). Daarnaast zijn er diverse projecten in ontwikkeling. Het geïnstalleerd vermogen nam in dezelfde periode toe van circa 10 MW_t naar circa 140 MW_t in 2017 (zie Figuur 1.1).



Figuur 1.1 | Ontwikkeling van geïnstalleerd aardwarmtevermogen in Nederland. Bron: Stichting Platform Geothermie en EGEC market reports 2016 en 2017

Toekomstvisie aardwarmte

Nederland staat voor de opgave om in 2030 de CO₂-uitstoot met 49% te reduceren ten opzichte van de uitstoot in 1990. In 2050 is het doel om de CO₂-uitstoot te reduceren met 95% (Regerakkoord, 2017). Om deze doelstelling te halen zal de warmtesector de jaarlijkse CO₂-uitstoot met circa 56 Mton per jaar moeten reduceren (Masterplan Aardwarmte, 2018). Deze reductie is alleen haalbaar door in te zetten op energiebesparing en meerdere duurzame warmtebronnen. Aardwarmte kan met 12 Mton een belangrijke bijdrage aan de totale CO₂-reductie gaan leveren.

Om deze CO₂-reductie te realiseren zal aardwarmte volgens het Masterplan Aardwarmte in Nederland kunnen opschalen van 3 PJ per jaar uit 17 aardwarmtesystemen naar meer dan 200 PJ per jaar uit meer dan 700 aardwarmtesystemen in 2050 (figuur 5 in Masterplan Aardwarmte). Om deze opschaling mogelijk te maken is een optimale afstemming nodig tussen de bovengrondse vraag (en warmtenetten) en het ondergrondse aanbod. Met dit doel voor ogen hebben TNO en EBN een

eerste opzet gemaakt van de play-based portfoliobenadering, waarmee aardwarmte op een veilige en verantwoorde wijze kan opschalen terwijl tegelijkertijd de kostprijs daalt.

Doel van deze studie

Deze studie is een verdieping van de eerste inzichten in de toepassing van de TNO en EBN play-based portfoliobenadering. Het doel is om inzicht te bieden in het potentieel en de voordelen van het ontwikkelen van aardwarmte met behulp van de play-based portfoliobenadering. Op basis van deze inzichten is een vertaalslag gemaakt naar wat er nodig is om aardwarmte te ontwikkelen tot een grootschalige, competitieve duurzame warmtebron.

Ontwikkelingen

Binnen het Klimaatakkoord waar nu over onderhandeld wordt, speelt aardwarmte een belangrijke rol. Met name aan de tafel gebouwde omgeving wordt uitgegaan van een fors aandeel aardwarmte. Dit aandeel is vooral gebaseerd op het Masterplan aardwarmte en de PJ's die hierin staan (50 en 200 PJ in 2030 respectievelijk 2050). Het PBL heeft in september 2018 gewezen op de mogelijkheid dat een grotere toepassing van restwarmte een goedkopere bron kan zijn van collectieve warmte. Het kabinet heeft mede op basis van de PBL visie een standpunt gepubliceerd op 5 oktober 2018. Uit dit standpunt blijkt dat het kabinet de doelen van de sector (200 PJ in 2050) ambitieus vindt en graag wil dat het potentieel goed in kaart wordt gebracht voor 2023 (onder andere middels de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland - SCAN). Daarnaast vindt het kabinet kostenreductie essentieel. De onderhavige studie naar de voordelen van een play-based portfoliobenadering sluit aan bij de gevraagde nadere onderbouwing van het potentieel en bij de gevraagde kostenreductie.

Play-based portfoliobenadering

In mei 2018 publiceerden TNO en EBN de studie 'Play-based portfoliobenadering'. Hierin is onderzocht hoe de play-based portfoliobenadering, zoals deze ook in de olie- en gaswereld wordt toegepast, toe te passen is op aardwarmte. In de voorliggende studie is de play-based portfoliobenadering verder uitgediept en toegepast op de Nederlandse situatie waarbij zowel de bovengrondse warmtevraag als het ondergrondse aanbod zijn betrokken.

1.2 BETROKKEN PARTIJEN

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van EBN en Gasunie. EBN en Gasunie kunnen een belangrijke rol vervullen in de verdere ontwikkeling van aardwarmte vanwege hun relevante ervaring vanuit gaswinning en transport. De aandacht van EBN gaat hierbij vooral uit naar de ondergrond en de relatie tussen warmtevraag en warmteaanbod. Gasunie richt zich vooral op grootschalig transport van warmte van de bron naar de afnemer/distributeur.

Het onderzoek is uitgevoerd door IF Technology, CE Delft en Berenschot. Berenschot heeft zich in dit onderzoek voornamelijk gericht op het betrekken en interviewen van diverse stakeholders. CE Delft heeft een analyse uitgevoerd van het bovengrondse deel, waarbij onderzoek is gedaan naar zowel het alternatieve aanbod van als vraag naar warmte. Met behulp van modellen is op buurtniveau bepaald welke optie van duurzame warmtelevering het meest efficiënt is. IF Technology heeft zich gericht op het ondergrondse deel en de uitwerking van de play-based portfoliobenadering.

1.3 KADER, BRANCHE EN TOEZICHT

De Stichting Platform Geothermie (SPG) werd in 2002 opgericht en telt inmiddels meer dan 80 leden. De SPG treedt op als belangenbehartiger van aardwarmte en is een schakel tussen alle betrokken partijen. Daarnaast is kennisdeling en ontwikkeling een belangrijke activiteit. DAGO (Dutch Association Geothermal Operators) is een samenwerkingsverband van alle aardwarmte-operators in Nederland (een operator is een vergunninghouder annex uitvoerende binnen een aardwarmte vergunningsgebied). Door samenwerking en kennisdeling willen ze de toepassing van aardwarmte op een veilige wijze in Nederland versnellen en de kostprijs tegelijkertijd verlagen¹.

In juli 2017 publiceerde Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) het rapport 'Staat van de Sector Geothermie'. SodM uit hierin haar zorgen over de onervarenheid van de relatief jonge en relatief kleine sector. Zo zou er onvoldoende inzicht zijn in milieu- en veiligheidsrisico's, onvoldoende kennis over de wet- en regelgeving, een zwak ontwikkelde veiligheidscultuur en onvoldoende kennisdeling.

In februari 2018 verscheen er een 'Beleidsbrief Geothermie' van de minister van Economische Zaken en Klimaat. Hierin worden een aantal versterkingsmaatregelen gepresenteerd die moeten bijdragen aan een veilige en verantwoorde groei van aardwarmte. Hierin worden onder andere kennisopbouw en kennisdeling, het vergroten van kennis van de ondergrond en innovatie als belangrijke punten genoemd.

1.4 AFBAKENING

Een van de doelen van dit onderzoek is om inzicht te geven in de voordelen van play-based portfoliobenadering. Deze studie is, om verschillende redenen, geen studie naar het potentieel van aardwarmte. In deze tekst wordt vooral de term aardwarmte gebruikt als overkoepelend begrip voor de warmte die aanwezig is in de aarde. Een andere term die hiervoor ook veelvuldig wordt gebruikt is geothermie. Om de resultaten van deze studie in context te plaatsen, is het goed om onderstaande in het achterhoofd te houden.

Toepassingsgebied

De play-based portfoliobenadering is toegepast op een deel van de warmtevraag en een deel van het ondergronds potentieel. Deze studie gaat daarbij uit van de warmtevraag in de gebouwde omgeving en in de glastuinbouw. Industriële warmtevraag is buiten beschouwing gelaten. Meer gedetailleerde informatie over de warmtevraag is te lezen in hoofdstuk 4. Bij de ondergrond is gekeken naar een drietal plays (Rotliegend, Trias en Jura-Krijt). Andere plays, zoals het Tertiair (ondiepe aardwarmte) en het Dinantien (Ultra Diepe Geothermie, UDG) zijn buiten beschouwing gelaten. Meer informatie over plays en de ondergrond is te lezen in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 5.

ThermoGIS 1.2

Om van de drie plays op landelijk niveau het potentieel mee te kunnen nemen in de analyse, is een dataset nodig op landelijk niveau. Hiervoor is gebruik gemaakt van ThermoGIS 1.2. Deze versie stamt uit 2012. Hiervan geeft TNO aan dat het potentieel aan de conservatieve kant is. Lopende dit

¹ zie ook de strategie van DAGO op <https://www.dago.nu/>: 'Ontwikkelen, toepassen, toetsen en verbeteren van industriestandaarden door het verzamelen en delen van kennis en kunde in een actieve dialoog en samenwerking met belanghebbenden'.

onderzoek heeft TNO hiervan een update gepubliceerd (ThermoGIS 2.0), die echter nog niet gebruikt is in deze studie.

Dynamisch karakter van de exploratieve fase van aardwarmte in Nederland

Hoewel de ondergrond vast ligt, verandert het inzicht in de ondergrond continu. Van grote delen van de ondergrond is het potentieel momenteel onbekend. Door toepassen van seismiek en bij het plaatsen van elke nieuwe exploratie- en productieput verandert en verbetert het inzicht in de ondergrond voortdurend. Met deze nieuwe inzichten zullen de uitkomsten en verwachtingen van het aardwarmtepotentieel in Nederland veranderen. Ook technologische ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld reservoirstimulatie zullen van invloed zijn op de resultaten. Daarnaast heeft ook de warmtevraag een sterk dynamisch karakter. Bestaande warmtevraag kan zowel toe- als afnemen. Als laatste is het niet ondenkbaar dat in de toekomst warmtevraag zal ontstaan op plekken waar aardwarmtepotentieel aanwezig is.

1.5 LEESWIJZER

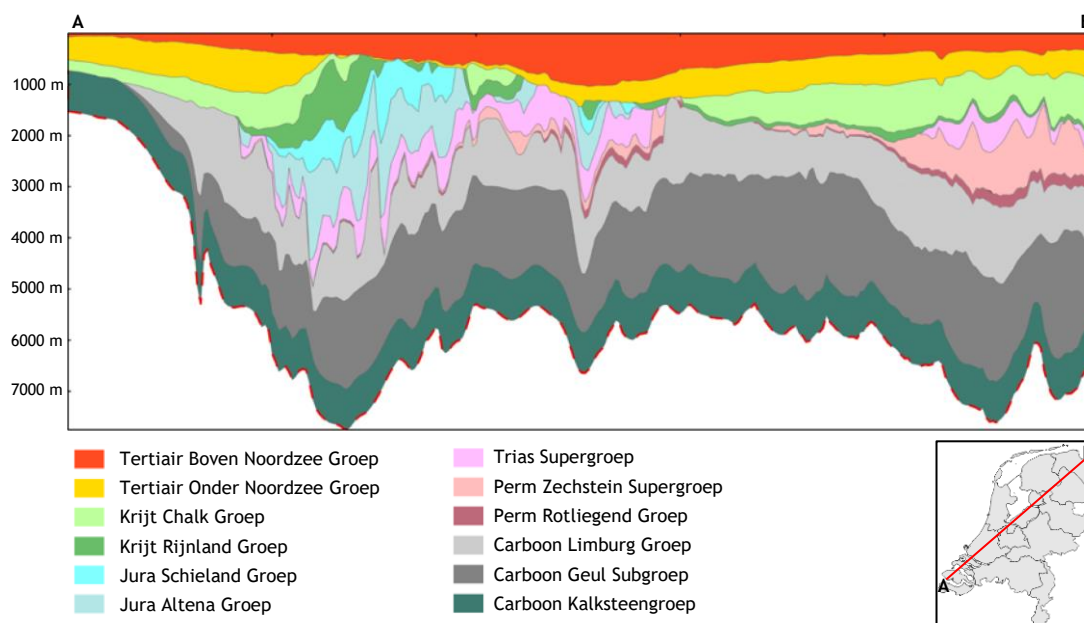
De play-based portfoliobenadering en de voordelen hiervan zijn toegelicht in hoofdstuk 2. TNO en EBN (J.G. Veldkamp et al., 2018) hebben een eerste opzet gemaakt van de play-based portfoliobenadering. Deze studie is een verdieping hierop. In hoofdstuk 3 is de werkwijze van het onderzoek toegelicht, evenals het stappenplan van de play-based portfoliobenadering. De bovengrondse warmtevraag en -aanbod zijn toegelicht in hoofdstuk 4. De indeling in sub-plays is toegelicht in hoofdstuk 5. In de play-based portfoliobenadering is gekeken naar de samenhang van vraag en aanbod en de meerwaarde van play-based portfoliobenadering. De resultaten hiervan staan in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de rollen van belanghebbenden nu en in de toekomst. Ook is een voorstel gedaan voor een ontwikkelstrategie.

2 Play-based portfoliobenadering

Met dit onderzoek wordt inzicht gegeven in de meerwaarde die een play-based portfoliobenadering heeft in de opschalingsmogelijkheden voor aardwarmte in Nederland. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op deze benadering en uitgelegd waar de eventuele meerwaarde haalbaar is.

2.1 WAT IS PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING?

De ondergrond van Nederland is sterk verbreekt en de diepteligging van voor aardwarmte geschikte lagen varieert sterk. In Figuur 2.1 is een doorsnede gegeven van de ondergrond van Nederland, lopend van Middelburg tot en met Groningen. Het op grote schaal sterk heterogeen karakter van de ondergrond maakt dat elk aardwarmteproject dat tot nu toe in Nederland gerealiseerd is, in bepaalde mate uniek is. Op regionale en lokale schaal zijn er echter gelijkenissen in de ondergrond, waardoor projecten overeenkomsten vertonen. Wil aardwarmte op de lange termijn competitief kunnen zijn met andere duurzame energiebronnen, dan is het van belang dat aardwarmte veilig en verantwoord kan opschalen en dat tegelijkertijd de kostprijs daalt. Play-based portfoliobenadering levert hieraan een belangrijke bijdrage.



Figuur 2.1 | Dwarsdoorsnede ondergrond Nederland (Bron: TNO)

Het uitgangspunt van de play-based portfoliobenadering is dat aardwarmteprojecten zodanig worden gegroepeerd en ontwikkeld, dat de projecten onderling optimaal van elkaar kunnen 'leren'. Een fundamenteel uitgangspunt hierbij is dat de ondergrond binnen een bepaald gebied overeenkomsten vertoont in afzettingmilieu en geologische geschiedenis (denk aan tektonische

processen die de ondergrond hebben beïnvloed) zodat informatie uit één put binnen dit gebied een voorspellende waarde genereert voor andere putten binnen dit gebied. Wanneer de ondergrond binnen een gebied overeenkomstig is, heeft een gerealiseerd project een voorspellende waarde voor vervolgprojecten. Hoe hoger de mate van overeenkomsten in de ondergrond, hoe groter de voorspellende waarde. Deze voorspellende waarde vertaalt zich onder andere in geologische risicoreductie en kostenreductie. Dit is in meer detail toegelicht in paragraaf 2.2.

Om te bepalen welke lagen van de ondergrond interessant zijn voor toepassing van aardwarmte, wordt het begrip geothermische play geïntroduceerd. Binnen een geothermische play wordt het aardwarmtepotentieel gebaseerd op de aanwezigheid van water in een formatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden. Binnen een tijdvak waren er in Nederland min of meer vergelijkbare condities zodat alle eenheden die binnen een bepaald tijdvak zijn afgezet meer overeenkomsten hebben dan eenheden die in andere tijdvakken zijn afgezet. Vervolgens zijn de afzettingen binnen een tijdvak onderverdeeld naar sub-plays waarbinnen de geologische kenmerken nog meer overeenkomsten hebben en derhalve intern homogener zijn dan de play als geheel.

In de doorsnede (zie Figuur 2.1) zijn de volgende vijf plays te onderscheiden, die gebaseerd op karakteristieken die relevant zijn voor aardwarmte:

- Tertiair (Tertiair Boven Noordzee Groep en Tertiair Onder Noordzee Groep)
- Jura-Krijt (Krijt Rijnland Groep en Jura Schieland Groep)
- Trias (Trias Supergroep)
- Rotliegend (Perm Rotliegend Groep)
- Dinantien (Carboon Kalksteengroep)

In deze studie zijn de plays Rotliegend, Trias en Jura-Krijt geanalyseerd. Het Tertiair en het Dinantien zijn momenteel buiten beschouwing gelaten. Beide plays kunnen echter bijdragen aan de levering van aardwarmte. Aanbevolen wordt om bij een update van de play-based portfoliobenadering zoals behandeld in deze rapportage deze plays ook mee te nemen.

Toepassing van aardwarmte is altijd in combinatie met bovengrondse warmtevraag. Doordat transport van warmte relatief duur is en bovendien warmteverlies optreedt, dient de warmtevraag zoveel mogelijk in de nabijheid te liggen van de aardwarmte. Binnen een sub-play wordt in de directe omgeving gezocht naar potentieel geschikte warmte-afzet. De potentiële projecten (match tussen vraag en aanbod) die op deze wijze gevormd worden, worden gegroepeerd in een portfolio. Deze portfolio kan door de hoge mate van homogeniteit van de ondergrond optimaal worden ontwikkeld.

2.2 ZES VOORDELEN PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING

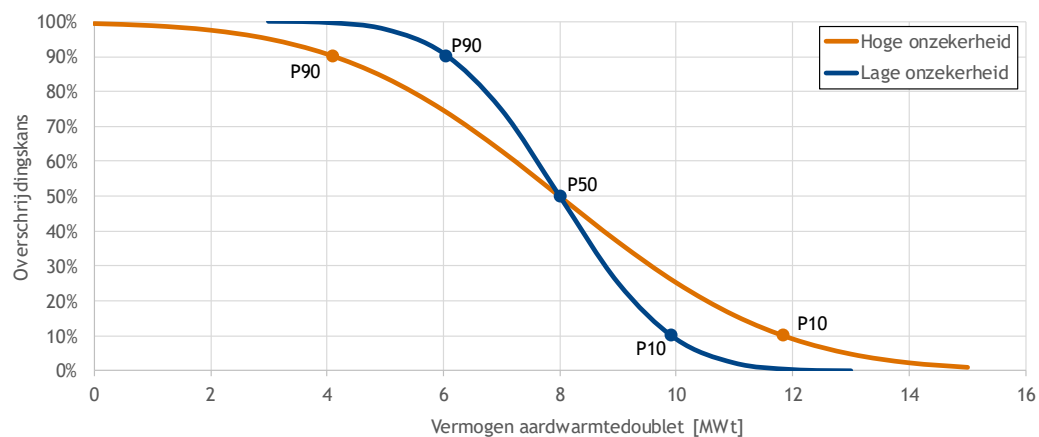
In de eerste aanzet tot het toepassen van de play-based portfoliobenadering bij aardwarmte benoemen TNO en EBN in hun rapport (TNO & EBN, 2018) een zestal voordelen, namelijk:

- 1 Geologische risico-reductie door optimale play-ontwikkeling
- 2 Veiligheid & integrale projectontwikkeling
- 3 Kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie
- 4 Optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur
- 5 Structurele opzet R&D en innovatie
- 6 Financieringsvoordelen

De play-based portfoliobenadering is in twee werksessies gepresenteerd aan operators en warmtebedrijven. Gedurende de werksessies is de deelnemers de mogelijkheid geboden om feedback te geven. Specifiek is gevraagd naar hoe zij de genoemde voordelen ranken en of er nog andere voordelen zijn met betrekking tot play-based portfoliobenadering. Dit komt aan bod in hoofdstuk 7.

2.2.1 Geologische risico-reductie door optimale play-ontwikkeling

Het meest fundamentele voordeel van play-based portfoliobenadering is geologische risico-reductie. De ondergrond ligt vast, maar de kennis over en het inzicht in de ondergrond neemt steeds toe. Door de jaren heen is door o.a. olie- en gasexploratie veel kennis opgedaan van de Nederlandse ondergrond. Bij een aardwarmteproject wordt bestaande data gebruikt om een inschatting te maken van het ondergronds potentieel. Uiteindelijk vertaalt zich dat naar een verwacht thermisch vermogen van een aardwarmtesysteem. Het is echter goed om te beseffen dat er een bepaalde mate van onzekerheid is (zie Figuur 2.2). Het verwachte vermogen wordt ook wel de P50 genoemd. Er is een kans van 50% dat het behaalde vermogen hoger ligt. Er is ook een kans van 50% dat het behaalde vermogen lager ligt. Vergelijkbaar hieraan kan ook een P90 en P10 worden bepaald (respectievelijk 90% en 10% kans dat het vermogen gelijk of hoger ligt). Wanneer in een gebied weinig data beschikbaar is, zal de onzekerheid hoog zijn. Dit vertaalt zich in een grote spreiding in verwachte vermogen (vlakke helling van de curve). Wanneer er veel data beschikbaar is, zal de onzekerheid laag zijn. Dit vertaalt zich in een beperkte spreiding in verwacht vermogen (steile helling van de curve).

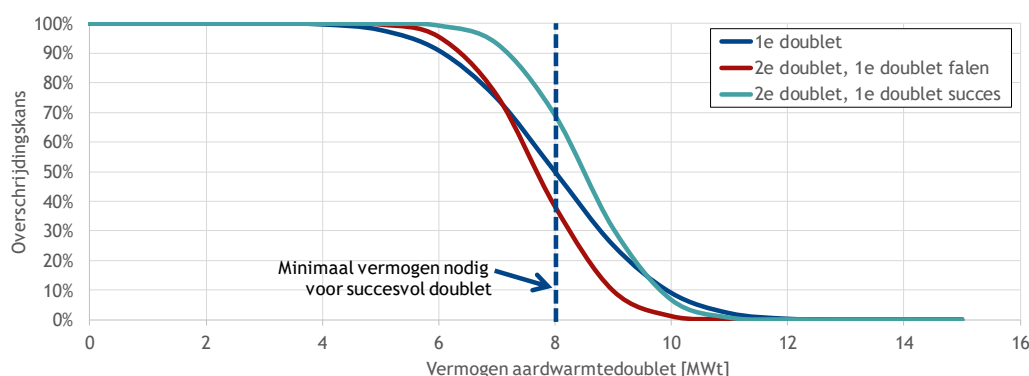


Figuur 2.2 | Verwachtingscurve vermogen aardwarmte-douplet

Geologische risico-reductie wordt uitgelegd aan de hand van het volgende voorbeeld.

Stel dat op een locatie tenminste een vermogen van 8 MW_t nodig is voor een 'succesvol' douplet. Dit betekent dat bij een vermogen van 8 MW_t of meer, voldoende warmte onttrokken wordt om de investering 'terug te kunnen verdienen'. Wanneer het vermogen lager ligt dan 8 MW_t, zijn de inkomsten onvoldoende om de investering terug te verdienen en 'faalt' het project. Merk op dat in werkelijkheid het verschil tussen een succesvol en niet-succesvol project minder zwart-wit zal zijn dan deze modelmatige benadering. Stel dat de verwachtingscurve van het vermogen gegeven is door de blauwe lijn in Figuur 2.3. Onder de aanname dat een succesvolle boring leidt tot een succesvol project, is de kans op een succesvol project 50% (P50 = 8 MW_t). Na het boren van de eerste put en eventueel de tweede put, is nieuwe kennis vergaard over de ondergrond en zal bij

een volgend doublet binnen dezelfde sub-play de onzekerheid afnemen. Dit vertaalt zich in een steilere curve voor het tweede doublet. *De vergaarde data en kennis van de eerste put verkleint het ondergrondrisico van de tweede put (en de tweede van de derde enzovoort).* Wanneer het eerste doublet succesvol is, en er inderdaad 8 MW_t of meer wordt gevonden, neemt het verwachte vermogen toe. De curve schuift naar rechts. De kans op een succesvol tweede doublet neemt toe. Wanneer het eerste doublet faalt, neemt het verwachte vermogen voor het tweede doublet af. De curve schuift naar links. De kans op een succesvol tweede doublet neemt af. Merk op dat wanneer een project faalt, er nog steeds kennis en ervaring wordt opgedaan welke gebruikt kan worden bij een volgend project (generiek leereffect).



Figuur 2.3 | Verandering verwachtingscurve vermogen door geologische risico-reductie

TNO en EBN hebben in hun eerste opzet van de play-based portfolio benadering een inschatting gemaakt in de verandering van de kans op een succesvol tweede doublet:

- In het geval het eerste doublet succesvol is, dan neemt de kans op een succesvol tweede doublet toe. Vanwege de ondergrondse correlatie neemt de kans op succes toe met 15%. Door het generieke leereffect neemt de kans op succes toe met 5%. In totaal neemt de kans op succes toe met 20%. In het gegeven voorbeeld neemt de kans op succes toe van 50% voor het eerste doublet naar 70% voor het tweede doublet.
- In het geval het eerste doublet faalt, dan neemt de kans op een succesvol tweede doublet af. Vanwege de ondergrondse correlatie neemt de kans op succes af met 15%. Door het generieke leereffect neemt de kans op succes toe met 5%. In totaal neemt de kans op succes af met 10%. In het gegeven voorbeeld neemt de kans op succes af van 50% voor het eerste doublet naar 40% voor het tweede doublet.

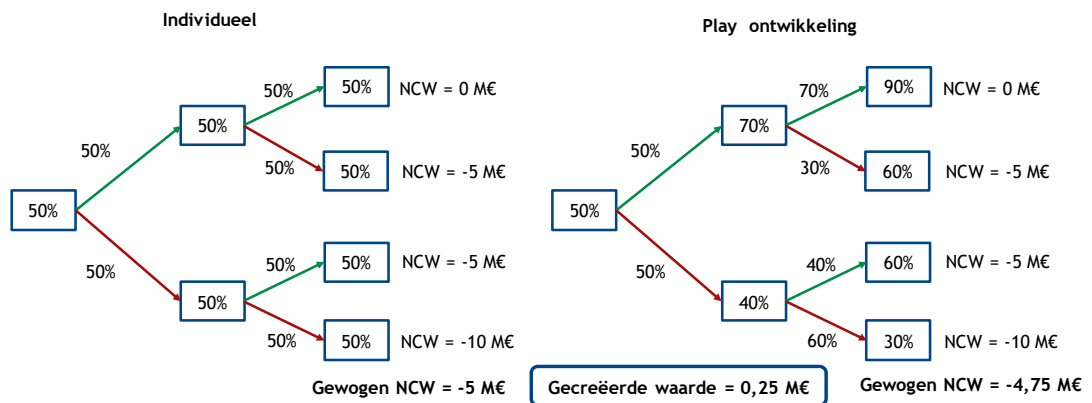
Gecreëerde meerwaarde

Door geologische risico-reductie ontstaat een financiële meerwaarde. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een opeenvolging van twee doubletten, met de volgende uitgangspunten:

- Kans op succesvol 1e doublet: 50%
- Toename kans bij succes: +20%
- Afname kans bij falen: -10%
- Netto contante waarde bij succes: M€ 0,- (gewenste projectrendement wordt gehaald)
- Netto contante waarde bij falen: -M€ 5,-²

² Kosten tot en met 1e boring. Na de eerste boring is bekend of het vermogen voldoende is. Met een kans van 50% op een succesvol project is de RNES niet van toepassing. Voor de RNES is een kans op succes van 90% nodig.

In Figuur 2.4 is links de kansboom uitgewerkt voor wanneer projecten individueel worden ontwikkeld en rechts voor play-based ontwikkeling. De verandering in percentages laten de meerwaarde zien van het leereffect, ook wel Value of Information (Vol) genoemd.



Figuur 2.4 | Voorbeeld kansboom individuele ontwikkeling en play-based ontwikkeling. NCW = Netto Contante Waarde

Bij individuele ontwikkeling is er geen kennisoverdracht. De kans op succes van het tweede doublet blijft 50%, ongeacht het resultaat van het eerste doublet. De verwachte netto contante waarde (gewogen NCW) wordt berekend door voor elke tak de kans van optreden te vermenigvuldigen met de bijbehorende netto contante waarde. In het geval van individuele ontwikkeling is dit:

$$NCW_{gewogen} = 0,5 * 0,5 * 0 + 0,5 * 0,5 * -5 + 0,5 * 0,5 * -5 + 0,5 * 0,5 * -10 = -5M€$$

Bij play-based ontwikkeling is er optimale kennisdeling, waardoor het tweede doublet optimaal voordeel heeft van kennis uit het eerste doublet. De verwachte NCW wordt nu:

$$NCW_{gewogen} = 0,5 * 0,7 * 0 + 0,5 * 0,3 * -5 + 0,5 * 0,4 * -5 + 0,5 * 0,6 * -10 = -4,75M€$$

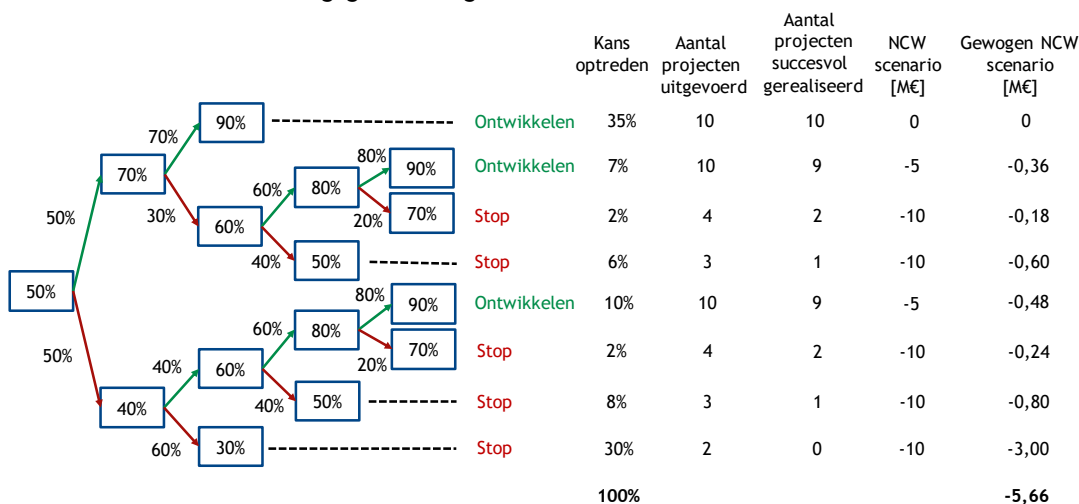
De netto contante waarde is nog steeds negatief, maar minder negatief dan bij individuele ontwikkeling. Het verschil in netto contante waarde kan gezien worden als de gecreëerde meerwaarde. In dit geval bedraagt de meerwaarde 0,25 M€.

Het belang van herhaalpotentieel

Voor een optimale play-ontwikkeling en de gecreëerde meerwaarde is het herhaalpotentieel van groot belang. Het herhaalpotentieel is het aantal potentiële doubletten binnen een sub-play. Hoe hoger het herhaalpotentieel, hoe hoger de gecreëerde meerwaarde van geologische risico-reductie. Dit wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld, met de volgende uitgangspunten:

- Kans op succesvol 1e doublet: 50%
- Toename kans bij succes: +20%
- Afname kans bij falen: -10%
- Netto contante waarde bij succes: M€ 0,- (gewenste projectrendement wordt gehaald)
- Netto contante waarde bij falen: -M€ 5,- (kosten tot en met 1e boring)
- Herhaalpotentieel van 10 doubletten
- Na 2x falen stopt de ontwikkeling
- Wanneer de kans op succes 90% bedraagt, wordt de sub-play verder ontwikkeld. Resterende doubletten vallen onder de RNES Aardwarmteregeling.

De kansboom hiervan is weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5 | Kansboom voor een ontwikkeling met een herhaalpotentieel van 10 en een startkans op succes van 50%

De gewogen NCW bedraagt -5,66 M€. In geval van individuele ontwikkeling zou de NCW -25 M€ bedragen (5 succesvolle projecten met een NCW van 0 € en 5 gefaalde projecten met een NCW van 5 M€). De gecreëerde meerwaarde bedraagt in dit geval 19,3 M€. Een dergelijke vergelijking kan ook gemaakt worden voor andere herhaalpotentiëlen. Een aantal berekende waarden zijn weergegeven in Tabel 2.1. Hierin is te zien dat bij een toenemend herhaalpotentieel de gecreëerde meerwaarde niet alleen in absolute zin toeneemt, maar ook per doublet.

Tabel 2.1 | Effect van herhaalpotentieel op de gecreëerde waarde

| Herhaalpotentieel [-] | Gecreëerde waarde [M€] | Gecreëerde waarde per doublet [M€] |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|
| 2 | 0,25 | 0,13 |
| 5 | 6,8 | 1,4 |
| 10 | 19,3 | 1,9 |
| 20 | 44,3 | 2,2 |

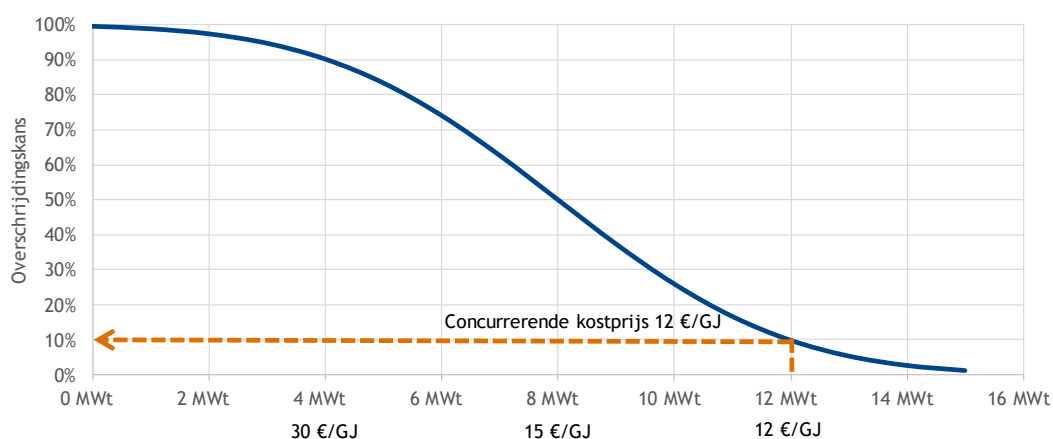
Geconcludeerd wordt dat hoe groter het herhaalpotentieel is, hoe groter de gecreëerde meerwaarde is van geologische risico-reductie.

Startkans succesvol doublet

In bovenstaande voorbeelden is steeds uitgegaan van een startkans op een succesvol project van 50%. De startkans op succes kan verschillen per situatie. De facto heeft iedere play en sub-play zijn eigen startkans en kansboom. Dit is een belangrijk gegeven bij werken in de diepe ondergrond. Uiteindelijk zijn zowel ondergrondse als bovengrondse omstandigheden hiervan op invloed. Een hoog verwacht vermogen en een lage onzekerheid verhogen de startkans op economisch succes. Het verwachte vermogen hangt af van de gesteldheid van de ondergrond en de gehanteerde technologie. Maar ook concurrentie van andere duurzame energietechnieken zijn van invloed. Wanneer concurrerende duurzame energietechnieken duur zijn, neemt de startkans op economisch

succes voor aardwarmte toe, omdat dit de warmteprijs weer beïnvloedt. Dit kan worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

Stel dat de verwachtingscurve voor het vermogen op de locatie is zoals weergegeven in Figuur 2.6. Afhankelijk van het vermogen is de kostprijs voor aardwarmte te berekenen. In bijlage 3 is na te lezen hoe de kostprijs voor aardwarmte wordt berekend.



Figuur 2.6 | Verwachtingscurve vermogen met bijbehorende kostprijs voor aardwarmte

In dit voorbeeld is de kostprijs voor aardwarmte 12 € per GJ bij een vermogen van 12 MW, 15 €/GJ bij een vermogen van 8 MW en 30 €/GJ bij een vermogen van 4 MW. Stel dat in dit geval de concurrerende kostprijs van andere duurzame energietechnieken 12 €/GJ bedraagt, dan is minimaal een vermogen nodig van 12 MW. De kans hierop bedraagt 10%. In dit voorbeeld is de startkans op economisch succes met een benodigd vermogen van 12 MW dus 10%.

2.2.2 Veiligheid & integrale projectontwikkeling

In juni 2017 publiceerde SodM (Staat van de Sector geothermie) waarin het haar zorgen uit over de veiligheid door gebrek aan kennis en kunde. De ontwikkeling van de markt is begonnen met het realiseren van met name individuele projecten voor diverse tuinders. Inmiddels is de aardwarmtemarkt zich verder aan het professionaliseren. De SPG bestaat sinds 2002 en aardwarmteoperators hebben zich verenigd onder DAGO sinds 2014. Dit geeft een goed begin om gezamenlijk kennis en ervaring uit te wisselen en te ontwikkelen om de veiligheid te bevorderen.

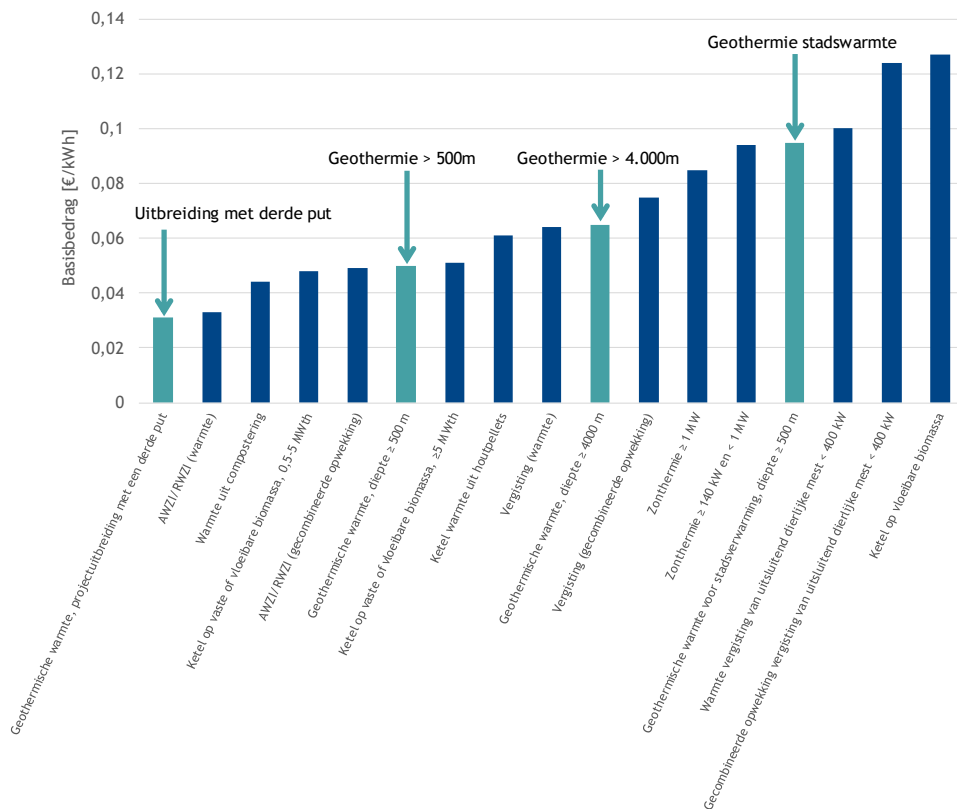
Met behulp van de play-based portfolio benadering kan dit nog een stap verder gebracht worden. Het grote voordeel van aardwarmte-operators die meerdere projecten ontwikkelen, is dat er integrale projectontwikkeling kan plaats vinden. Er kan een kwaliteitssysteem worden ingericht, waarmee ervaringen uit het ene project mee kunnen worden genomen naar een volgend project.³

Het voordeel wordt versterkt door geologische risico-reductie door middel van optimale play-ontwikkeling. Doordat binnen een sub-play projecten een hoge mate van vergelijkbaarheid zullen hebben, kunnen ervaringen van het ene project maximaal worden meegenomen naar een volgend project, wat (onder andere) de veiligheid nog meer ten goede zal komen.

³ Dit heeft bij het ontwikkelen van alleen een enkel doublet weinig zin.

2.2.3 Kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie

De kosten van aardwarmte zullen altijd een belangrijke rol spelen bij de toepassing ervan. Momenteel zijn de meeste duurzame energietechnieken duurder dan conventionele, fossiele energietechnieken. De onrendabele top wordt gefinancierd via de SDE+ subsidie. In Figuur 2.7 is van een aantal duurzame warmtebronnen het basisbedrag weergegeven.



Figuur 2.7 | Basistarieven (SDE+ 2019 conceptadvies) van duurzame warmtebronnen

Het basisbedrag geeft de gemiddelde kostprijs weer van de duurzame warmte. Figuur 2.7 is een momentopname. De markt is continu in beweging. De prijzen voor fossiele energie en die van duurzame energie zullen zich blijven ontwikkelen. ‘Reguliere’ aardwarmte (geothermie >500m) is een van de goedkopere duurzame warmtebronnen. Maar om competitief te worden en/of te blijven met ander duurzame warmtebronnen en met fossiele energie, is het van belang om continu te streven naar een zo laag mogelijke kostprijs. Onder andere synergie, standaardisatie en efficiëntie leiden tot kostprijsverlaging.

Synergie is het slim samenvoegen van activiteiten waardoor voor het geheel een voordeel ontstaat dat groter is dan wanneer de activiteiten afzonderlijk worden uitgevoerd. Een goed voorbeeld hiervan is de exploratie van de ondergrond. Het is voordeliger om een groot gebied in beeld te brengen, bijvoorbeeld via seismiek en proefboringen, waarvan meerdere projecten gebruik kunnen maken dan voor elk project afzonderlijk de ondergrond in beeld te brengen.

Standaardisatie kan worden toegepast bij onderdelen met een repeterend karakter. Standaardisatie werkt sterk kostenverlagend, zowel in de investeringsfase als in de exploitatiefase,

en bevordert kwaliteit en veiligheid. Bij de ontwikkeling van meerdere projecten binnen een sub-play kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een gestandaardiseerd putontwerp.

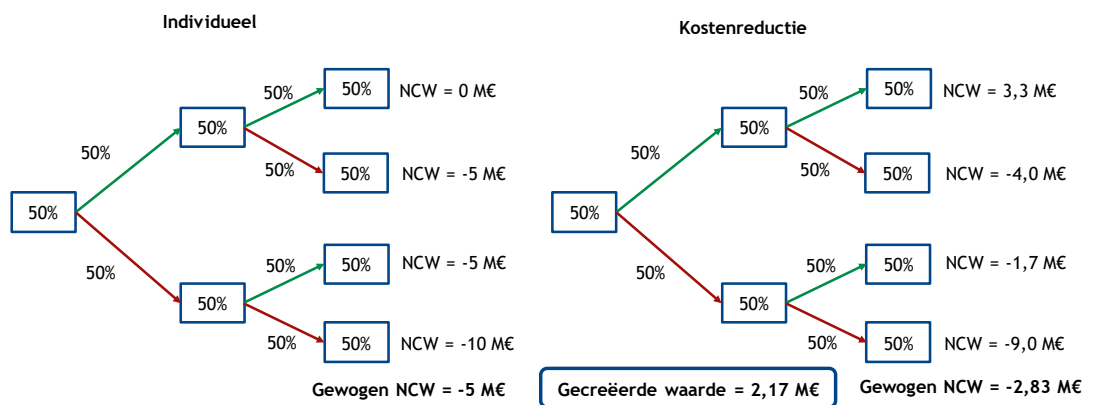
Efficiëntie is het slimmer en effectiever inzetten van middelen gedurende de gehele looptijd van het project. Dit is vooral goed mogelijk door opgedane ervaringen uit eerdere projecten mee te nemen. Een goed voorbeeld is het uitvoeren van boorcampagnes. Boorteamen raken beter op elkaar ingespeeld en raken goed bekend met de ondergrond, waardoor boortijden af zullen nemen. Een ander voorbeeld is het toepassen van inhibitors⁴. Ervaringen met het toepassen van inhibitors uit eerdere projecten kunnen worden toegepast in nieuwe projecten om problemen te voorkomen.

Gecreëerde meerwaarde kostenreductie

Net als bij geologische risicoreductie leidt kostenreductie ook tot meerwaarde. Dit wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld, met de volgende uitgangspunten:

- Kans op succesvol doublet: 50%
- Investering 1^e doublet 16,67 M€
- NCW 1^e doublet bij succes: M€ 0 (gewenste projectrendement wordt gehaald)
- NCW 1^e doublet bij falen: -M€ 5,0 (kosten tot en met 1^e boring, 30% van de investering)
- Investering 2^e doublet 13,33 M€ (20% kostenreductie, aannahme ter illustratie)
- NCW 2^e doublet bij succes: M€ 3,33 (16,67 M€ - 13,33 M€)
- NCW 2^e doublet bij falen: -M€ 4,0 (kosten tot en met 1^e boring, 30% van de investering)

De kansboom hiervan is weergegeven in Figuur 2.8.



Figuur 2.8 | Voorbeeld kansboom individuele ontwikkeling en kostenreductie. NCW = Netto Contante Waarde

De gewogen NCW bij individuele ontwikkeling is toegelicht bij Figuur 2.4 in paragraaf 2.2.1. De verwachte NCW bij kostenreductie wordt nu:

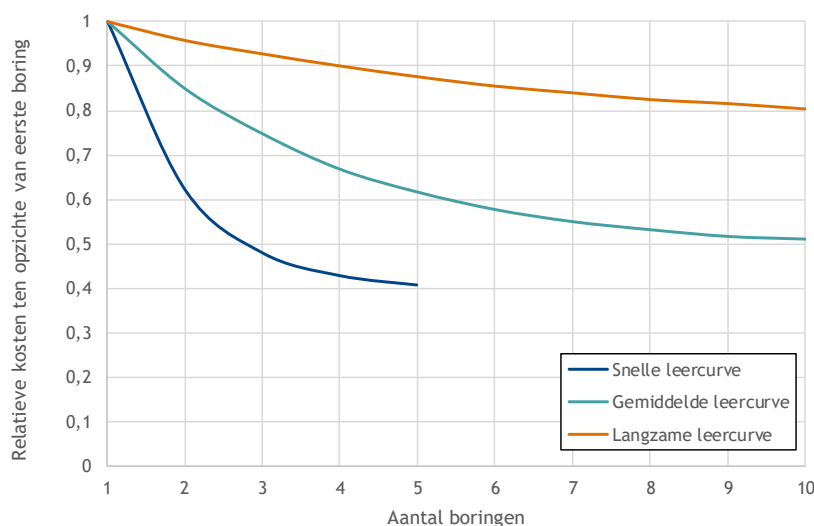
$$NCW_{gewogen} = 0,5 * 0,5 * 3,3 + 0,5 * 0,5 * -4,0 + 0,5 * 0,5 * -1,7 + 0,5 * 0,5 * -9,0 = -2,83 M€$$

Het verschil in netto contante waarde kan gezien worden als de gecreëerde meerwaarde. In dit geval bedraagt de meerwaarde 2,17 M€.

⁴ Een toevoeging aan het geothermisch water om o.a. corrosie en neerslag van mineralen te voorkomen.

Bij de kostenreductie zal het aantal doubletten een belangrijke rol spelen. Hoe meer doubletten er worden ontwikkeld in samenhang, hoe groter het kostenvoordeel zal zijn. In de studie van TNO en EBN is een inschatting gemaakt van de kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie. Ingeschat wordt dat de kostenreductie 10% bedraagt bij 5 projecten, 20% bij 10 projecten en 30% bij 50 projecten.

De boorkosten bedragen ca 60% van de totale investeringskosten van een aardwarmteproject (ECN, 2018). Lukawski (2014) heeft onderzoek gedaan naar de leercurve van de boorkosten van aardwarmteputten. Op basis van gerapporteerde boortijdreducties uit de olie- en gaswereld en een kostenopbouw van de boorkosten voor aardwarmteputten is een leercurve opgesteld voor aardwarmteputten (Figuur 2.9). De kostenreductie loopt op tot 30%.



Figuur 2.9 | Inschatting kostenreductie bij boren van meerdere aardwarmteputten (Lukawski 2014)

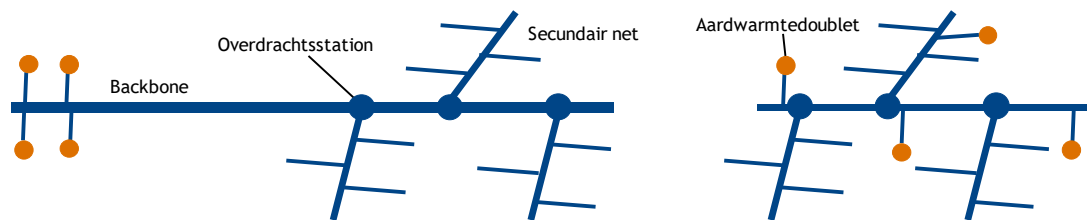
Tijdens de werksessie is er input gekomen op de haalbare kostenreductie. Ingeschat is dat de kostenreductie kan oplopen tot 40%. Een kostenreductie van 40% wordt als ambitieus gezien, maar niet onmogelijk. Vooralnog is in deze studie aangenomen dat een kostenreductie tot 40% haalbaar is.

2.2.4 Optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur

De huidige omvang van aardwarmte in Nederland is relatief beperkt. Momenteel wordt aardwarmte voornamelijk toegepast in de glastuinbouw. In Den Haag wordt momenteel een doorstart gemaakt van een doublet dat gekoppeld is aan een warmtenet in de gebouwde omgeving. In Pijnacker-Nootdorp is één project met een combinatie van glastuinbouw, appartementen en een zwembad. De meeste projecten zijn individueel ontwikkeld en hebben een zeer grote warmtevraag. Voor de opschaling van aardwarmte is naast glastuinbouw warmtelevering aan de gebouwde omgeving ook noodzakelijk. Om de warmte bij al deze afnemers te krijgen, zullen (nieuwe) warmtenetten nodig zijn.

Traditioneel worden warmtenetten gevoed door grootschalige energiecentrales. De energiecentrale voedt een primair net. Het primaire net vertakt zich, waarbij naar buiten toe de diameter steeds verder afneemt. Op diverse punten wordt via een overdrachtsstation warmte overgedragen aan een

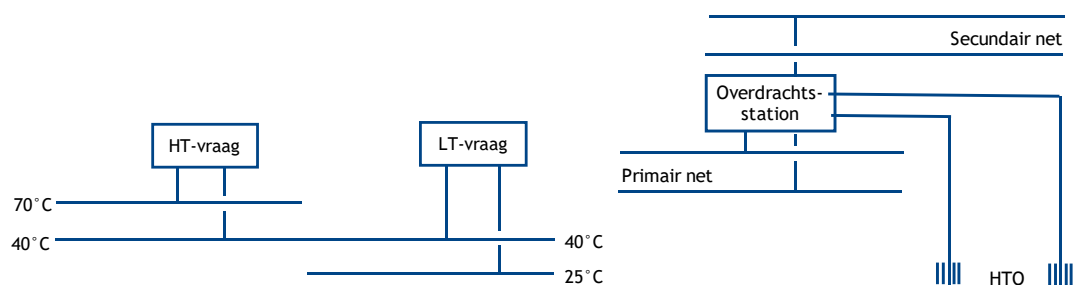
secundair net. Dit secundaire net transporteert warmte naar individuele gebruikers. Bij optimaal ontwerp van een warmtenet dat gevoed wordt met aardwarmte, is het ook van belang om rekening te houden met de ligging van het aardwarmtepotentieel. Wanneer het aardwarmtepotentieel geconcentreerd ligt, ligt het voor de hand om gebruik te maken van een centrale leiding (ook wel backbone) die de warmte transporteert naar de secundaire netten (zie Figuur 2.10 links). Het ontwerp van een warmtenet kan er dan vergelijkbaar uitzien als huidige warmtenetten. Wanneer het aardwarmtepotentieel meer verspreid ligt, zal het meer voor de hand liggen om aardwarmte op verschillende punten in het primaire net in te voeden (zie Figuur 2.10 rechts). De gemiddelde diameter van het primaire net kan daarmee kleiner worden uitgevoerd, waardoor de totale kosten van het warmtenet omlaag gaan.



Figuur 2.10 | Links) mogelijk warmtenetwerk bij geconcentreerd aardwarmtepotentieel (met backbone) Rechts) mogelijk warmtenetwerk bij gespreid aardwarmtepotentieel (kleinere diameters)

Andere aspecten die kunnen bijdragen aan een optimaal ontwerp zijn bijvoorbeeld:

- Cascadering: Aardwarmte wordt optimaal toegepast wanneer het zo ver mogelijk wordt afgekoeld. Dit kan bereikt worden door te cascaderen. Hierbij worden laagtemperatuurnetten gevoed door de retour van hogetemperatuurnetten (zie Figuur 2.11 links).
- Hogetemperatuuropslag: Warmtenetten hebben een zogenaamd 'badkuiprofiel'. In de zomer is de warmtebehoefte laag en in de winter juist hoog. Aardwarmte is kapitaalintensief en is er bij gebaat om zoveel mogelijk uur per jaar warmte te leveren zodat de kosten van de investeringen over veel energie-eenheden verdeeld kan worden. Daarnaast is het technisch gezien beter om een doublet zo constant mogelijk te laten draaien. Dit verkleint de kans op neerslaan van deeltjes en heeft een positief effect op de putintegriteit. Door gebruik te maken van seizoensmatige hogetemperatuuropslag kan in de zomermaanden aardwarmte worden opgeslagen in de bodem. Deze warmte kan vervolgens in de wintermaanden geleverd worden. Inpassing nabij een overdrachtsstation zou het meest voor de hand liggen. Het hogetemperatuuropslagsysteem wordt in de zomer dan geladen via het primaire net. In de winter wordt vervolgens warmte geleverd aan het secundaire net (zie Figuur 2.11 rechts).



Figuur 2.11 | Links) Voorbeeld van cascadering Rechts) Inpassing HTO in warmtenet

Dergelijke optimalisaties in het warmtenetwerk zijn alleen mogelijk wanneer zowel de warmtevraag als geheel en het warmteaanbod als geheel (boven- en ondergronds) worden meegenomen in de planvorming.

2.2.5 Structurele opzet R&D en innovatie

R&D en innovatie kan een belangrijke bijdrage leveren aan zowel kostenverlaging als het verhogen van de veiligheid. Bij individuele projecten zal de focus vooral liggen op het optimaal laten draaien van de huidige systemen. Binnen de exploitatie zullen door ervaring en onderzoek de nodige optimalisaties uitgevoerd worden. Door onderlinge kennisuitwisseling en de rol van overkoepelende organisaties zoals SPG en DAGO vindt momenteel de nodige R&D en innovatie plaats. Onder andere via de Kennisagenda worden zaken onderzocht die bij kunnen dragen aan kosten- en risicoverlaging.

Wanneer echter meerdere projecten door één operator worden gerealiseerd en geëxploiteerd, kan de impact van R&D en innovatie sterk toenemen. Nieuwe kennis en technieken kunnen op grotere schaal worden toegepast. De operators zullen zelf ook beter in staat zijn om onderzoeksrichtingen te definiëren waar in de praktijk behoefte aan is. Hierdoor zal de vraag meer markt gestuurd zijn dan momenteel het geval is. In het Masterplan Aardwarmte is een Routekaart Innovatie opgesteld. Hierin zijn een aantal voorstellen gedaan voor de korte en lange termijn om innovatie meer te structureren. Begonnen wordt om de behoeftes samen met de markt te inventariseren en prioriteren. In het begin wordt vooral een trekkersrol vanuit kennisinstituten voorzien. Op de langere termijn is de verwachting dat de trekkersrol wordt overgenomen door operators.

2.2.6 Financieringsvoordelen

Financieringslasten

De kosten voor financiering zullen voor een groot deel bepaald worden door het risicoprofiel. Het risicoprofiel van aardwarmte is relatief hoog. De markt in Nederland is relatief jong en beperkt in omvang, waardoor er nog geen sterk trackrecord is. Ook is er altijd een bepaalde mate van onzekerheid over het potentieel van de ondergrond. Uiteindelijk is pas na het boren van de put bekend wat het daadwerkelijk potentieel is.

Als gevolg van het nog hoge risicoprofiel van aardwarmte vragen banken een bijbehorend relatief hoog aandeel eigen vermogen en rendement (rente) op hun vreemd vermogen financiering. In de rapportage 'Financiering en financierbaarheid van geothermie projecten' (Nederlandse Vereniging van Banken, 2015) wordt gesproken van minimaal een eigen bijdrage van 30%. Ook bij het vaststellen van de SDE+ basisbedragen is gerekend met een eigen bijdrage van 30%. In vergelijking tot sommige andere duurzame energietechnieken is dit hoog. Zo wordt bijvoorbeeld voor de minder risicovolle windturbines gerekend met een eigen bijdrage van 20%. Eigen vermogen is relatief duur. Binnen de SDE+ systematiek (2018) wordt gerekend met een rendement op eigen vermogen van 14,5%. Vreemd vermogen daarentegen is relatief 'goedkoop'. Binnen de SDE+ systematiek (2018) wordt gerekend met 2% rente. Wanneer door risicoverlaging in de projecten het eigen vermogensaandeel zou zakken van bijvoorbeeld 30% naar 20%, dan daalt daarmee de basisprijs van aardwarmte van 53 €/MWh naar 49 €/MWh. Dit komt overeen met een kostenreductie van 6%.

Uit voorgaande voordelen blijkt dat play-based portfoliobenadering sterk kan bijdragen aan risico- en kostenreductie, onder andere door integrale projectontwikkeling en door R&D en innovatie. Op

deze wijze draagt play-based portfolio benadering ook bij aan het verlagen van de financieringslasten.

Kruisinvesteringen

Aardwarmteoperators kunnen naast hun eigen projecten ook investeren in elkaars projecten. Dergelijke kruisinvesteringen kunnen bijdragen aan een hogere opbrengst en een lager risicoprofiel. Dit wordt ook toegepast binnen de olie- en gaswereld waarin meerdere operators investeren in de exploratie van meerdere velden. Kruisinvesteringen zullen leiden tot meer en diepere onderlinge expertise- en kennisuitwisseling, wat in het belang is van alle aardwarmteprojecten. Kruisinvesteringen kunnen zodoende bijdragen aan een lager risicoprofiel.

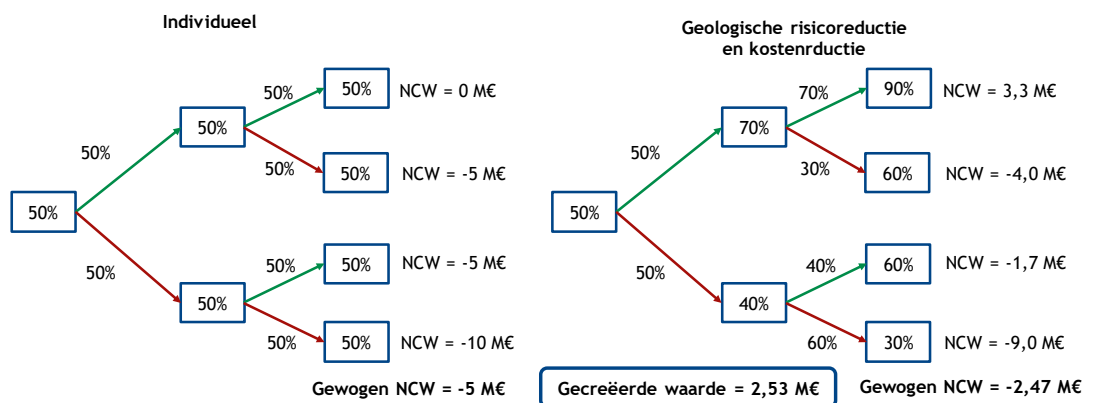
2.3 SNEEUWBALEFFECT EN INTERFERENTIE

In voorgaande paragrafen zijn diverse voordelen van de play-based portfolio benadering toegelicht. Elk voordeel is in meer of mindere mate afzonderlijk uitgewerkt. Voordelen zullen elkaar echter ook beïnvloeden, waardoor ze elkaar versterken. Dit wordt het sneeuwbaaleffect genoemd.

Een voorbeeld is dat een sterk gestandaardiseerd putontwerp en opgedane kennis en ervaring (synergie, standaardisatie en efficiëntie) zullen leiden tot kostenreductie. Naast kostenreductie zal door standaardisatie de veiligheid verbeteren. Door lagere kosten en hogere veiligheid zullen de financieringslasten afnemen. Door afnemende financieringslasten nemen de kosten nog verder af.

Het sneeuwbaaleffect kan ook worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

Voor zowel geologische risicoreductie als voor kostenreductie zijn kansbomen opgesteld aan de hand van een voorbeeld (Figuur 2.4 en Figuur 2.8). Combineren van beide voorbeelden geeft een kansboom zoals weergegeven in Figuur 2.12.



Figuur 2.12 | Voorbeeld kansboom individuele ontwikkeling en toepassing geologische risicoreductie en kostenreductie.

NCW = Netto Contante Waarde

De NCW van individuele ontwikkeling, zonder kennisoverdracht en leereffect wordt berekend door:

$$NCW_{gewogen} = 0,5 * 0,5 * 0 + 0,5 * 0,5 * -5 + 0,5 * 0,5 * -5 + 0,5 * 0,5 * -10 = -5M€$$

De NCW bij toepassing van geologische risicoreductie en kostenreductie wordt berekend door:

$$NCW_{gewogen} = 0,5 * 0,7 * 3,3 + 0,5 * 0,3 * -4,0 + 0,5 * 0,4 * -1,7 + 0,5 * 0,6 * -9,0 = -2,47M€$$

De gecreëerde meerwaarde bedraagt in dit voorbeeld 2,53 M€. Dit is meer dan de som van de afzonderlijke voordelen (0,25 M€ + 2,17 M€ = 2,42 M€).

Interferentie

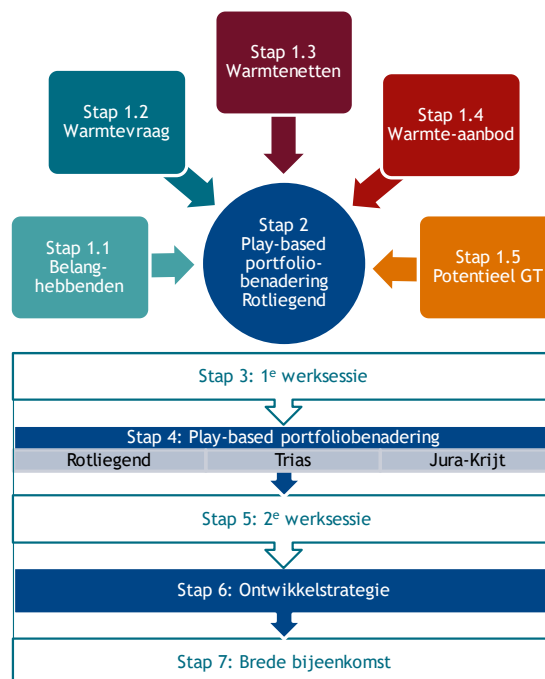
Naast (monetaire) meerwaarde heeft play-based portfolio benadering ook als voordeel dat de beschikbare aardwarmte optimaal kan worden benut. Door een grootschalige aanpak waarbij alle partijen nauw samenwerken en kennis en ervaring uitwisselen, kan vooraf een bronnenplan worden uitgewerkt. Dit voorkomt interferentie en roofovername en bevordert optimaal gebruik van de aanwezige aardwarmte. Daarnaast is het ook mogelijk om bij de planvorming rekening te houden met andere ondergrondse belangen, zoals het winnen van andere delfstoffen, waterwinning etc.

3 Methodiek

De in het voorgaande hoofdstuk beschreven play-based portfoliobenadering wordt gecombineerd met de kennis van de bovengrondse mogelijkheden om zo ook kwantitatief te onderbouwen waar de kansen liggen. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd welke methodiek hiervoor wordt gehanteerd. In paragraaf 3.1 is de werkwijze toegelicht. In paragraaf 3.2 zijn globaal de stappen van de play-based portfoliobenadering toegelicht.

3.1 WERKWIJZE

De werkwijze is schematisch weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 | Schematische weergave werkwijze

In de eerste stap is een aantal aspecten geanalyseerd die als input dienen voor de play-based portfoliobenadering. De warmtevraag is geanalyseerd, evenals welk deel van deze warmtevraag in aanmerking komt voor warmtelevering door warmtenetten (collectieve warmte). Het aanbod aan duurzame bronnen is geanalyseerd, waaronder het potentieel voor aardwarmte. Belanghebbenden zijn geïnventariseerd. Er zijn drie interviews gehouden (zie bijlage 6) met belanghebbenden in het speelveld rond aardwarmte en warmtenetten. LTO Glaskracht, DAGO en Interprovinciaal Overleg (IPO) samen met provincie Utrecht zijn geïnterviewd voor dit onderzoek.

In de tweede stap is de samenhang van de bovengrondse warmtevraag en het ondergrondse aardwarmteaanbod geanalyseerd. Vraag en aanbod zijn technisch en economisch aan elkaar gekoppeld. De play-based portfoliobenadering zoals ontwikkeld door TNO en EBN (2018) is doorontwikkeld. Belangrijke toevoegingen zijn dat qua bovengrond ook een vergelijking is gemaakt

met andere duurzame energietechnieken en qua ondergrond zijn de geothermische plays onderverdeeld in sub-plays. De aangepaste play-based portfoliobenadering is vervolgens toegepast op de play Rotliegend.

In een eerste werksessie (stap 3) zijn diverse warmtebedrijven en aardwarmte-operators uitgenodigd. In de eerste werksessie zijn de methodiek en voorlopige resultaten van het onderzoek gedeeld (zie bijlage 6). In deze werksessie zijn partijen gevraagd naar hun visie op de play-based portfoliobenadering en zijn er extra voordelen van de play-based portfoliobenadering benoemd.

In de vierde stap is de play-based portfoliobenadering toegepast op de plays Trias en Jura-Krijt.

In de tweede werksessie (stap 5) zijn wederom warmtebedrijven en aardwarmte-operators gevraagd om feedback en input te geven. Deelnemers zijn gevraagd om een eerste poging te doen om de voordelen van de play-based portfoliobenadering in te richten, met als hoofdvraag: 'welke partijen moeten welke stappen nemen om de play-based portfoliobenadering werkelijkheid te laten worden'.

In de zesde stap is op basis van de resultaten, input en feedback een opzet gemaakt voor de ontwikkelstrategie.

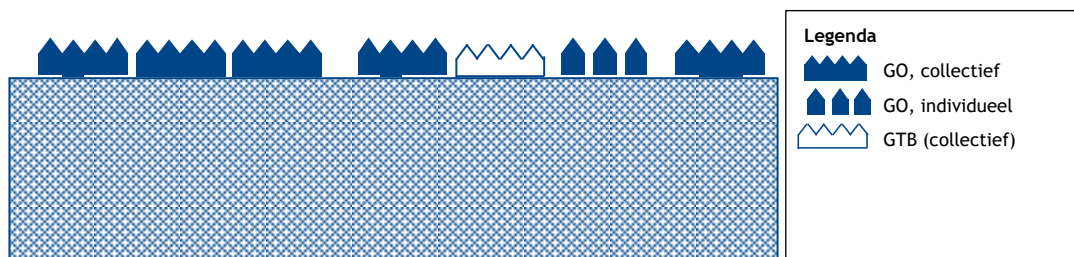
In de laatste bijeenkomst (stap 7) is een bredere groep partijen uitgenodigd. Met deze groep zijn de resultaten van het Masterplan Aardwarmte en de resultaten van deze studie gedeeld en bediscussieerd.

3.2 STAPPENPLAN PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING

Opschaling van aardwarmte is altijd een samenspel tussen bovengrondse warmtevraag en ondergronds aanbod. Het is van belang om zowel naar de bovengrondse vraag, het ondergronds potentieel en de samenhang daartussen te kijken. Toepassing van play-based portfoliobenadering levert vele voordelen op bij opschaling van aardwarmte. Om de voordelen maximaal te benutten is het van belang om bij de samenhang tussen bovengrondse warmtevraag en ondergronds aanbod ook rekening te houden met sub-plays. Voor het toepassen van de play-based portfoliobenadering zijn een aantal stappen doorlopen. Deze stappen zijn aan de hand van schematische weergaves toegelicht. Het stappenplan is in meer detail uitgewerkt in bijlage 1.

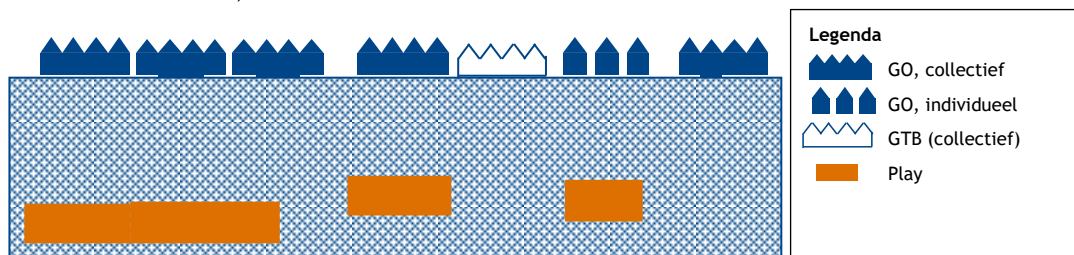
3.2.1 Stap 1: Analyse van de bovengrond

De bovengrondse warmtevraag is geanalyseerd. Hierbij is op buurtniveau de warmtevraag in de gebouwde omgeving (GO: woningbouw en utiliteit/zakelijk) en glastuinbouw (GTB) geanalyseerd. Voor elke buurt is de omvang van de warmtevraag ingeschat en bepaald of de warmtevraag het beste collectief of individueel kan worden ingevuld en wat de kostprijs van aardwarmte moet zijn om te kunnen concurreren met andere duurzame energietechnieken. In onderstaand voorbeeld zijn schematisch 7 buurten weergegeven, waarvan 6 buurten met gebouwde omgeving (GO) en 1 buurt met glastuinbouw (GTB). In één buurt met gebouwde omgeving kan de warmtevraag het beste individueel worden ingevuld. In de overige 5 buurten met gebouwde omgeving en de buurt met glastuinbouw kan de warmtevraag het beste collectief worden ingevuld.

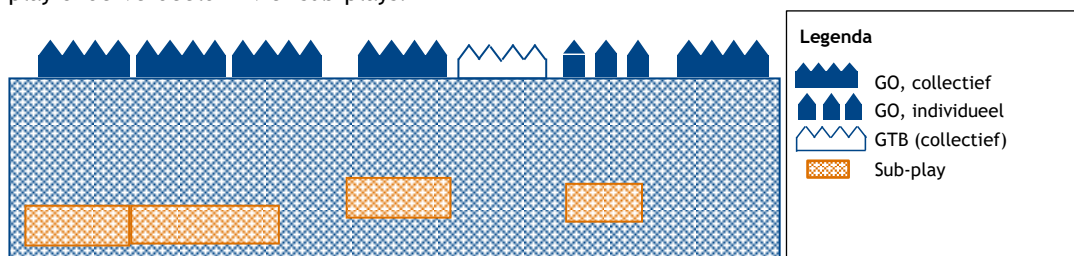


3.2.2 Stap 2: Analyse van de ondergrond

Van elke play is de ligging in de ondergrond bepaald. In sommige delen van Nederland is de play wel aanwezig, maar in sommige delen van Nederland kan de play ontbreken (zie ook Figuur 2.1). Naast de ligging zijn onder andere ook de diepte, dikte, temperatuur, doorlatendheid en hoeveelheid warmte die uit de play gewonnen kan worden bepaald. In dit voorbeeld is schematisch één play weergegeven. In een aantal gebieden is de play wel aanwezig, in een aantal gebieden is de play afwezig. De play varieert in diepte en dikte, maar heeft wel overeenkomstige geologische kenmerken. Voor de gehele play is op basis van het verwachte vermogen (P50) de kostprijs voor aardwarmte ingeschat (zie bijlage 3). Ook is de standaarddeviatie van het vermogen bepaald, waarmee het mogelijk is om ook de kostprijs te bepalen voor afwijkende vermogens (boven of onder de P50 waarde).



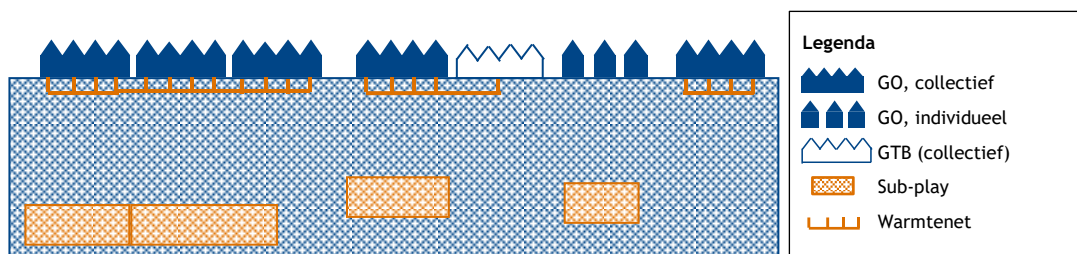
De gehele play is onderverdeeld in sub-plays. Sub-plays zijn deelgebieden met sterkere overeenkomstige geologisch kenmerken dan een play (zie ook hoofdstuk 5). In dit voorbeeld is de play onderverdeeld in vier sub-plays.



3.2.3 Stap 3: Clusteren van de warmtevraag

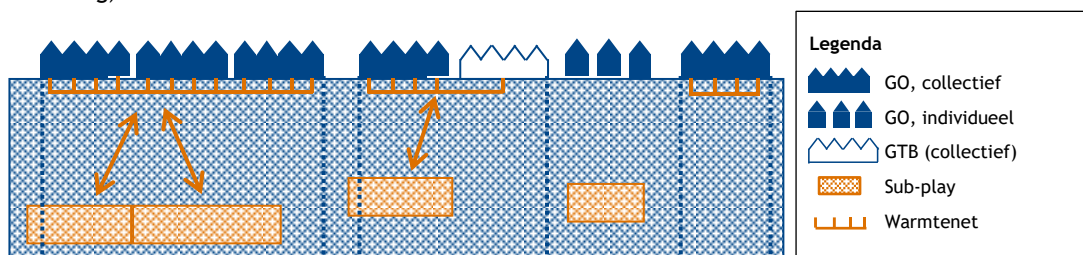
Buurtten die in aanmerking komen voor collectieve warmte worden geclusterd. Alle buurten binnen een afstand van 500 m ten opzichte van elkaar worden geclusterd. Alle warmte binnen een cluster wordt door middel van een warmtenet geleverd. In dit voorbeeld worden drie warmtenetten gevormd:

- één warmtenet met drie buurten met warmtevraag in de gebouwde omgeving;
- één warmtenet met één buurt met warmtevraag in de gebouwde omgeving en één buurt met warmtevraag in de glastuinbouw;
- één warmtenet met één buurt met warmtevraag in de gebouwde omgeving.



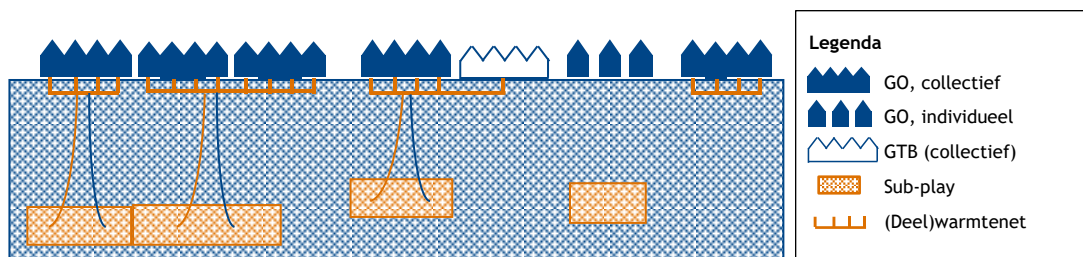
3.2.4 Stap 4: Koppelen van vraag en aanbod

De bovengrondse warmtevraag per warmtenet wordt gekoppeld aan de ondergrondse sub-plays. Binnen een afstand van 1 km⁵ van het warmtenet is bepaald of er in de ondergrond een sub-play aanwezig is. In dit voorbeeld zijn twee van de drie warmtenetten gekoppeld aan sub-plays. Alleen het deel van een sub-play dat binnen de blauwe stippellijnen ligt wordt benut. Voor één van de drie warmtenetten is geen sub-play aanwezig in de directe nabijheid. Dit warmtenet zal op een andere wijze van warmte voorzien moeten worden (of door één van de andere plays, indien aanwezig).



3.2.5 Stap 5: Opdelen per sub-play

Play-based portfolio benadering wordt toegepast per sub-play. Eén van de warmtenetten bestaat uit meerdere sub-plays. Het warmtenet (en de warmtevraag) wordt opgedeeld in twee deelwarmtenetten. Elk deelwarmtenet wordt gekoppeld aan één sub-play. In dit voorbeeld zijn nu vier (deel)warmtenetten, waarvan er drie gekoppeld zijn aan een sub-play. Merk op dat het ook mogelijk is dat meerdere (deel)warmtenetten zijn gekoppeld aan dezelfde sub-play. Dit komt niet voor in dit voorbeeld.

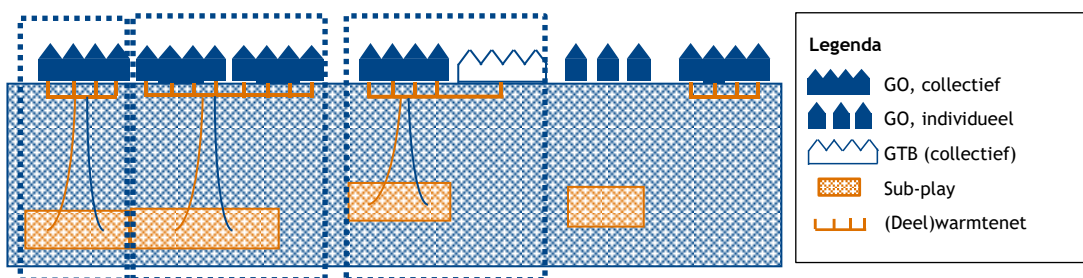


⁵ Bij (grootschalige) warmtenetten kan het de moeite waard zijn om aardwarmte van verder dan 1 km aan te voeren. Dit zal het totale aardwarmtepotentieel voor warmtenetten vergroten. De invloed hiervan en de maximale afstand waarover warmte 'economisch rendabel' nog getransporteerd kan worden, is in dit onderzoek niet onderzocht.

Voorgaande is een 'technische' koppeling op basis van vraag en aanbod. Aansluitend zijn vraag en aanbod ook 'economisch' gekoppeld. Per deelwarmtenet is op basis van de bovengrondse analyse (stap 1) bepaald wat de kostprijs van aardwarmte moet zijn om te kunnen concurreren met andere duurzame energietechnieken. Op basis van deze kostprijs is ingeschat wat het vermogen per doublet moet zijn om te kunnen concurreren, het zogenaamde 'benodigd vermogen'. Op basis van de ondergrondse analyse (stap 2) is bepaald wat de kans is dat een doublet een vermogen heeft tenminste gelijk aan het 'benodigd vermogen'. De economische koppeling is niet schematisch weergegeven, maar is in meer detail toegelicht in bijlage 1.

3.2.6 Stap 6: Toepassen play-based portfolio benadering

In deze studie is per sub-play de play-based portfolio benadering toegepast. Een project in een bepaalde sub-play heeft een voorspellende waarde op vervolprojecten binnen dezelfde sub-play. Er zal ook een mate van voorspellende waarde zijn op projecten in een andere sub-play binnen dezelfde play, maar dit is in deze studie vooralsnog buiten beschouwing gelaten. In dit voorbeeld zijn er 3 sub-plays waarop de play-based portfolio benadering wordt toegepast.



4 Bovengrondse warmtevraag- en aanbod

Om de mogelijkheden van aardwarmte in Nederland te bepalen en om een indicatie te kunnen geven van de meerwaarde van de play-based portfoliobenadering, is het noodzakelijk dat een koppeling met het 'gebruik' van aardwarmte wordt gemaakt. Hiervoor is inzicht in de bovengrondse mogelijkheden essentieel. In dit hoofdstuk zijn de bovengrondse aspecten, zoals de warmtevraag, de ontwikkeling daarvan en de concurrerende technieken bekeken.

4.1 HUIDIGE WARMTEVRAAG

Aardwarmte is bij uitstek geschikt voor het leveren van warmte aan de gebouwde omgeving en glastuinbouw. De verwachte temperatuurniveaus die mogelijk zijn met reguliere aardwarmte sluiten goed aan bij de vraag voor ruimteverwarming en warm tapwater (70-90°C). Om de warmte vanuit de ondergrond naar de afnemers te krijgen is een warmtenet nodig. Voor het aanleggen van een warmtenet en het goed functioneren van een aardwarmtebron is echter wel een bepaalde omvang van de warmtevraag nodig, waardoor het niet zomaar overal toepasbaar is. In de komende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de huidige warmtevraag in Nederland voor de sectoren huishoudens, utiliteit en glastuinbouw. Aan de hand van dit overzicht kan een eerste inzicht worden verkregen in de mogelijke locaties waar aardwarmte toegepast kan worden in Nederland.

4.1.1 Gebouwde omgeving

De warmtevraag van de gebouwde omgeving is te verdelen in de vraag van huishoudens en de vraag van utiliteit (kantoren, scholen, winkels, etc.). Onderstaand worden deze toegelicht.

Huishoudens

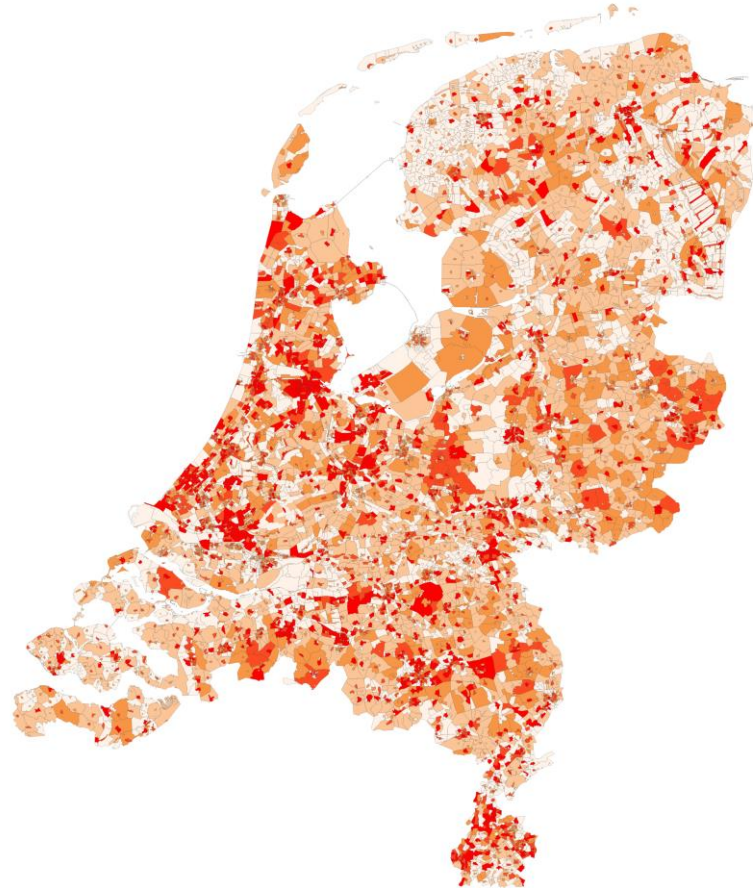
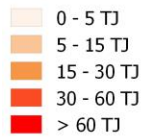
De huidige warmtevraag is verkregen uit data van het CBS op buurtniveau. Dit is het gemiddelde gasverbruik op het niveau van huishoudens. Hierbij is geen onderscheid naar warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater. Gezien de verwachte temperatuurniveaus van de beschouwde geothermische oplossingen, is dit onderscheid ook niet noodzakelijk, omdat bij een temperatuurniveau van 70-90°C geen aanvullende maatregelen nodig zijn om warm tapwater te produceren. Op dit moment is er een verhouding van circa 80/20 tussen de vraag naar warmte voor ruimteverwarming en warmte voor warm tapwater (ACM, 2018).

Op basis van de gegevens van het CBS (over het jaar 2016) bedraagt de warmtevraag van de huishoudens in Nederland circa 330 PJ. Een deel van deze warmtevraag (37 PJ) wordt geleverd via collectieve warmtevoorziening (ECN, CBS, 2017). Aardwarmte kan (naast biomassa, restwarmte, gas, ...) mogelijk als bron worden ingezet voor deze - en nieuwe - warmtenetten.

Op de volgende kaart wordt de verdeling van de warmtevraag van huishoudens weergegeven. Logischerwijs is de meeste warmtevraag terug te vinden in de stedelijke gebieden, waar veel gebouwen dicht op elkaar staan.

Legenda

Huidige warmtevraag woningen



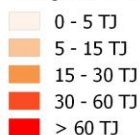
Figuur 4.1 | Verdeling huidige jaarlijkse warmtevraag woningen

Utiliteit

De utiliteitsbouw is een diverse sector, variërend van kantoren, scholen, winkels, zorginstellingen tot horeca. Voor het bepalen van de warmtevraag en de geografische verdeling van deze sector, is gebruik gemaakt van kengetallen van ECN. Door de warmtevraag per vierkante meter vloeroppervlak (per gebouwfunctie en bouwperiode) te combineren met de oppervlaktes uit de basisadministratie adressen en gebouwen (BAG, het Kadaster), kan een indicatie worden gegeven van de warmtevraag per buurt. Voor heel Nederland wordt een warmtevraag van de utiliteitsbouw berekend van circa 115 PJ. Deze warmtevraag is bijna volledig bedoeld voor ruimteverwarming. De vraag naar warm tapwater is bij utiliteit aanzienlijk lager dan bij huishoudens. In de volgende kaart wordt de verdeling van de warmtevraag van utiliteit over Nederland weergegeven.

Legenda

Huidige warmtevraag utiliteit



Figuur 4.2 | Verdeling huidige jaarlijkse warmtevraag utiliteit

Gehele gebouwde omgeving

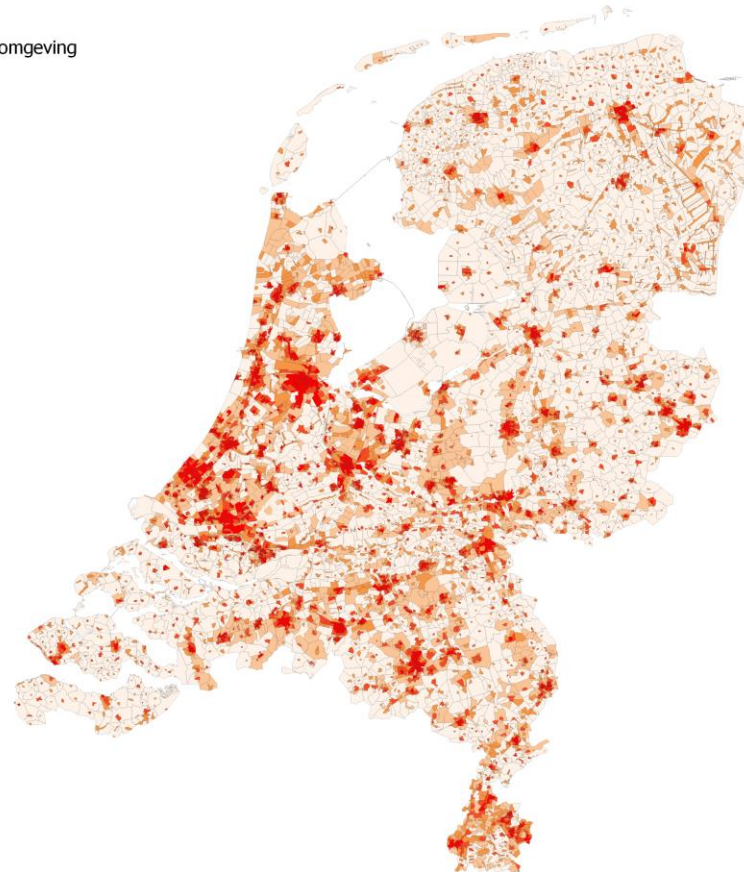
Hoewel voorgaand de warmtevragen van de huishoudens en utiliteit los van elkaar zijn gepresenteerd, zitten deze twee sectoren over het algemeen sterk vervlochten in de gebouwde omgeving. Ook de warmtevoorziening zal per gebied voor beide sectoren grotendeels hetzelfde zijn. Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden, moeten beide dan ook integraal worden beschouwd. Het gaat daarbij dan dus om een totale warmtevraag van ca. 450 PJ.

Naast de absolute warmtevraag, is ook de dichtheid van de warmtevraag relevant, als gekeken wordt naar de mogelijkheden van collectieve warmtenetten. Zo kan de absolute warmtevraag in een gebied met veel oppervlak wel hoog zijn, maar de gemiddelde vraag per hectare juist laag. Bij een sterk verspreide vraag zijn de kosten van de warmtenetten hoog, waardoor mogelijk alternatieven interessanter zijn. Om een warmtenet mogelijk te maken is dus zowel een omvangrijke warmtevraag gewenst, alsook een omvangrijke warmtevraagdichtheid. In de volgende figuur wordt daarom weergegeven wat de zogenoemde warmtevraagdichtheid per buurt is voor de gecombineerde warmtevraag van huishoudens en utiliteit.

Legenda

Huidige warmtevraag gebouwde omgeving

- 0 - 20 GJ/ha
- 20 - 100 GJ/ha
- 100 - 500 GJ/ha
- 500 - 1000 GJ/ha
- > 1000 - GJ/ha



Figuur 4.3 | Verdeling huidige warmtevraagdichtheid gebouwde omgeving

4.1.2

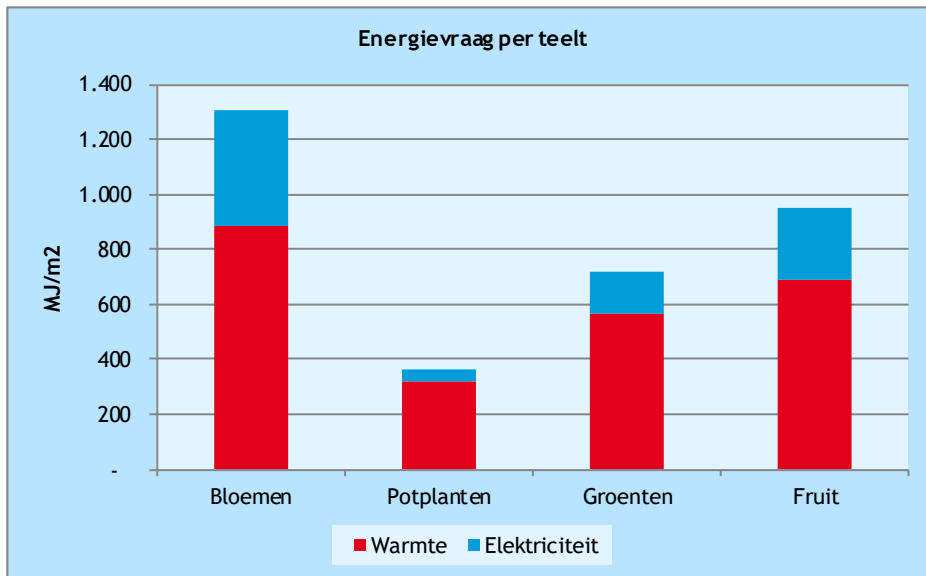
Glastuinbouw

De glastuinbouwsector heeft een min of meer gelijk type warmtevraag als de gebouwde omgeving. Voor met name het verwarmen van de kassen gebruikt de sector op dit moment aardgas, waarmee door middel van een ketel en/of wkk warmte geproduceerd wordt. Daarnaast wordt door de aardgasverbranding CO₂ gemaakt, dat in veel gevallen wordt ingezet als groeibevorderaar voor de gewassen. Door de inzet van wkk's wordt naast warmte ook elektriciteit geproduceerd. Dit betekent dat een aanzienlijk deel van het gasverbruik van de sector niet naar warmte gaat, maar naar elektriciteit⁶. Hiermee is de gasvraag van de sector dus ook geen exacte indicatie van de warmtevraag van de sector. Door echter op macroniveau de gegevens van het CBS (opgesteld vermogen wkk, geproduceerde elektriciteit) en het LEI (gas- en elektriciteitsgebruik, overige energiekegetallen) te combineren, is het mogelijk een indicatie van de warmtevraag van de sector te maken. De geschatte warmtevraag van de glastuinbouwsector komt daarmee op circa 65 PJ⁷. Om de geografische verdeling van de warmtevraag te bepalen is gekeken naar de verhouding tussen de verschillende teeltsoorten die door het CBS worden bijgehouden: bloemen, potplanten, groenten en fruit. Per teeltsoort verschilt de vraag naar warmte en elektriciteit. Onderstaande staafdiagram

⁶ In 2016 produceerde de sector 9,2 TWh elektriciteit (=33 PJ), waarmee ongeveer een derde van het aardgasverbruik wordt ingezet voor elektriciteitsproductie (Wageningen UR, 2017)

⁷ De totale aardgasvraag van de sector is circa 100 PJ (3,1 mld m³), (Wageningen UR, 2017)

geeft een indicatie van de spreiding van de energievragen van de verschillende teeltsoorten op basis van deze analyse.



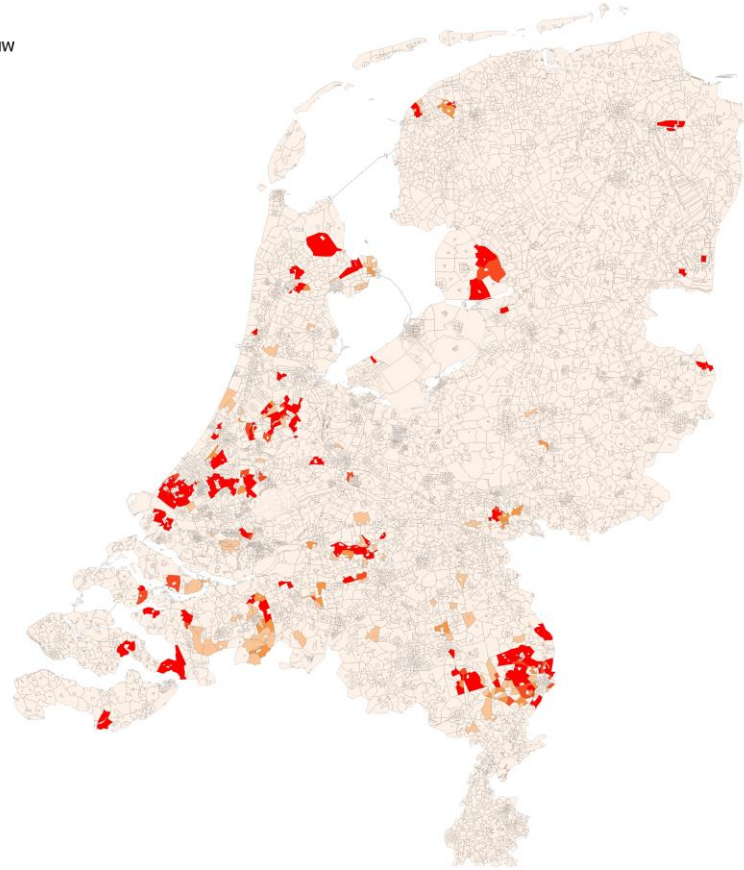
Figuur 4.4 | Indicatie verdeling energievraag, bron: Bewerking CE Delft van data CBS & Wageningen UR

In de onderstaande twee figuren worden de absolute warmtevraag per buurt en de warmtevraagdichtheid van de glastuinbouw weergegeven.

Legenda

Huidige warmtevraag glastuinbouw

- 0 - 50 TJ
- 50 - 100 TJ
- 100 - 150 TJ
- 150 - 200 TJ
- > 200 TJ

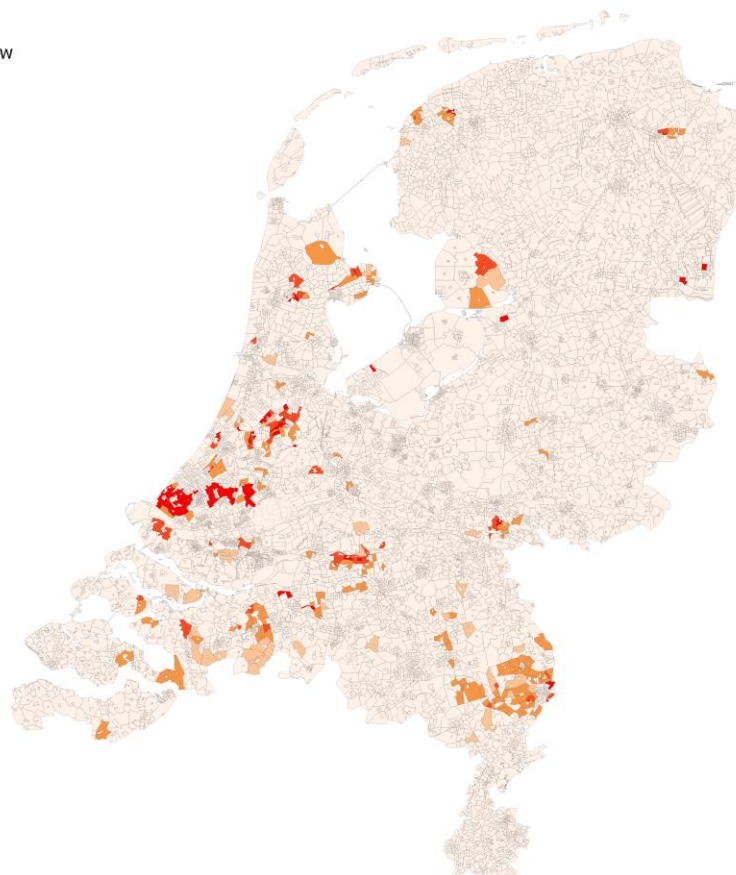


Figuur 4.5 | Verdeling huidige jaarlijkse warmtevraag glastuinbouw

Legenda

Huidige warmtevraag glastuinbouw

- 0 - 20 GJ/ha
- 20 - 100 GJ/ha
- 100 - 500 GJ/ha
- 500 - 1000 GJ/ha
- > 1000 - GJ/ha



Figuur 4.6 | Verdeling huidige warmtevraagdichtheid glastuinbouw

4.2 WARMTEAANBOD

Om in de warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw te voorzien wordt op dit moment voor bijna 95% aardgas ingezet (ECN, CBS, 2017). In het eindbeeld van de transitie naar een CO₂-vrije warmtevoorziening is het gebruik van aardgas in deze sectoren niet meer mogelijk. Dit betekent dat er een overstap gemaakt moet worden naar een alternatieve bron van warmte. In deze paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van de diverse bronnen die in Nederland beschikbaar zijn. In de context van dit onderzoek ligt daarbij de focus op de bronnen die ingezet kunnen worden op collectieve warmtevoorzieningen.

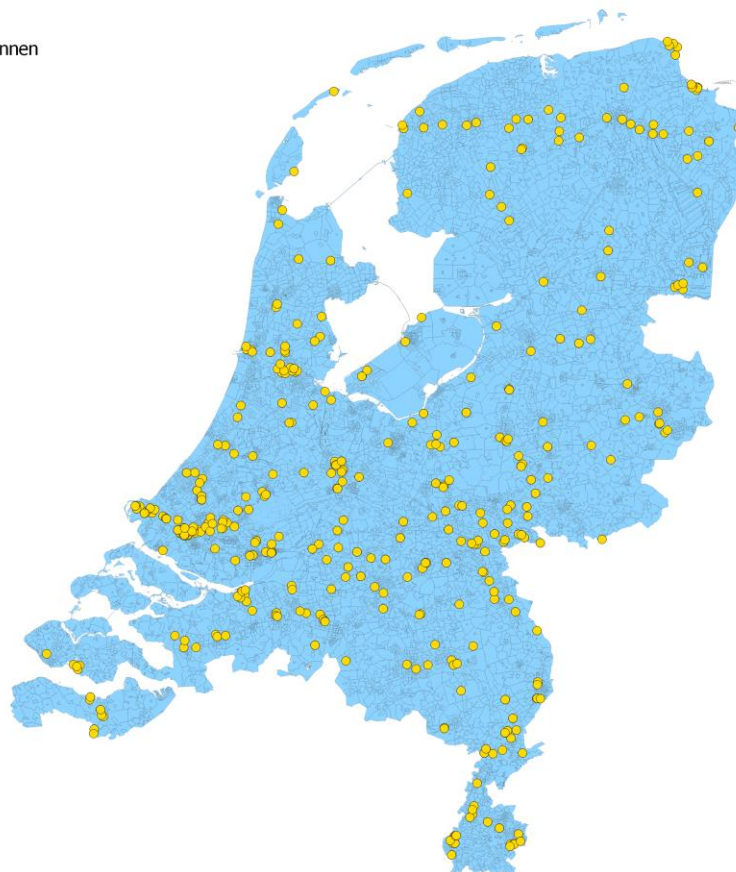
4.2.1 HT-(rest)warmte

De beschikbaarheid van hogetemperatuurrestwarmte (HT-restwarmte) in Nederland is aanzienlijk. Restwarmte die overblijft bij industriële processen en die wordt geloosd op het oppervlaktewater of aan de lucht kan een interessante warmtebron zijn voor warmtenetten. Belangrijk hierbij is het temperatuurniveau waarop deze warmte beschikbaar is. In het geval van HT-restwarmte wordt over het algemeen gesproken van temperaturen van 100-120°C. Via warmtenetten kan dit uitstekend worden ingezet voor het verwarmen van huizen, bedrijven en kassen.

De bronnen met HT-restwarmte zijn verdeeld over het land, maar kent een aantal clusters waar veel industriële activiteiten zijn, zoals de Rijnmond, Botlek, Chemelot, Terneuzen, Moerdijk en Delfzijl. Het gaat hierbij veelal om energiecentrales, afvalverbranders, chemische fabrieken, raffinaderijen of metaalbewerking bedrijven. In de onderstaande kaart wordt de spreiding van de bronnen weergegeven.

Legenda

- Potentiële HT-restwarmtebronnen



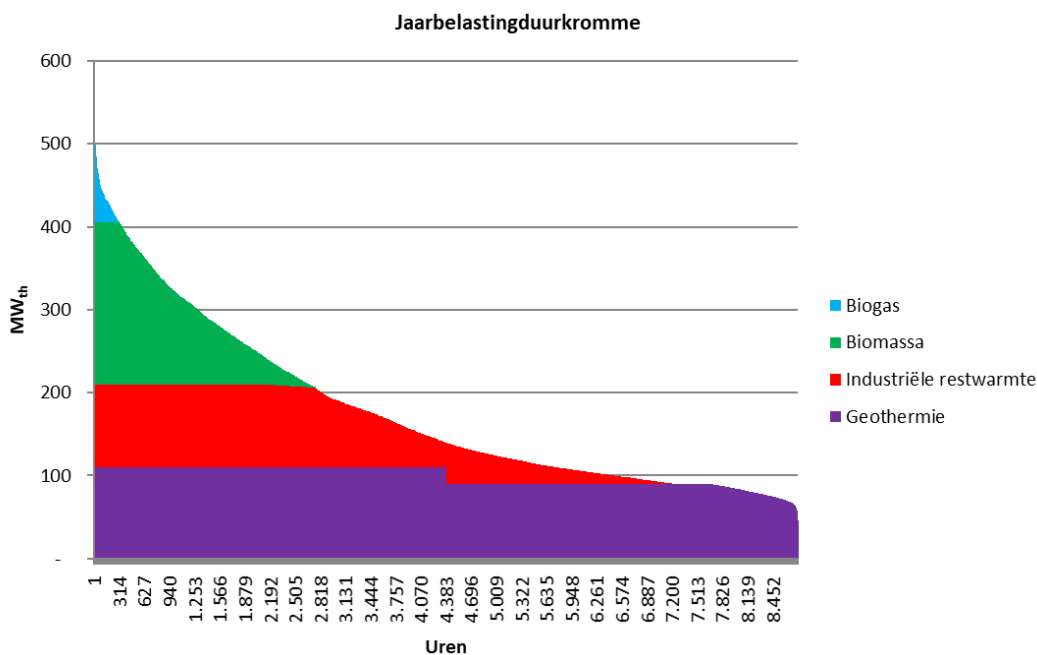
Figuur 4.7 | Locatie potentiële HT-restwarmtebronnen

Wat de bovenstaande kaart niet weergeeft en waar in Nederland veel onduidelijkheid en discussie over is, is de beschikbaarheid van deze bronnen op de lange termijn. Een aantal bronnen is direct gekoppeld aan de petrochemische industrie, die motorbrandstoffen maakt. De vraag naar deze motorbrandstoffen zal naar verwachting sterk afnemen doordat ook de vervoerssector een transitie naar een duurzamere toekomst door moet gaan. De toekomst voor afvalverbranders is onduidelijk wanneer de economie steeds meer circulair wordt. Echter ook dichterbij in de tijd, wanneer bedrijven failliet gaan of verhuizen. Deze onzekerheden leiden ertoe dat niet zo maar iedere HT-restwarmtebron geschikt is om in te zetten voor het ontwikkelen van een warmtenet. Op lokaal niveau moet daarom een analyse worden gemaakt van de mogelijkheden op de korte en lange termijn.

Aanvullend op de bestaande HT-restwarmtebronnen, is het ook mogelijk om nieuwe HT-bronnen te maken. Op verschillende plaatsen in Nederland worden bijvoorbeeld grote bio-energiecentrales gebouwd om warmtenetten van duurzame warmte te voorzien. De mogelijkheden van biomassa zijn groot, maar aan het grootschalig gebruik van biomassa kleven nog veel vragen (herkomst, duurzaamheid, indirecte emissies, landgebruik, et cetera). Net als bij de restwarmtebronnen moet dus ook voor bio-energiecentrales telkens een analyse gemaakt worden van concrete, lokale mogelijkheden.

4.2.2 Gecombineerde inzet warmtebronnen

Het is goed mogelijk dat diverse HT-warmtebronnen worden gecombineerd in één warmtenet. Hierbij kan iedere bron, gegeven de ideale inzet, gebruikt worden om maximaal te benutten. Ter illustratie wordt onderstaande jaarbelastingduurkromme gegeven (Figuur 4.8), waarin de inzet van verschillende warmtetechnieken wordt gecombineerd om op ieder uur van het jaar voldoende warmte bij de afnemers te krijgen.



Figuur 4.8 | Fictieve jaarbelastingduurkromme warmtenet

4.2.3 LT-(rest)warmte

Naast restwarmte op hoge temperatuur, is in Nederland ook veel restwarmte beschikbaar op lage temperatuur (LT, 20-50°C). Hoewel deze warmte meestal niet rechtstreeks inzetbaar is voor het verwarmen van de meeste gebouwen, kan het wel goed als bron dienen voor bijvoorbeeld warmtepompen. Daarnaast is het bij deze bronnen altijd nodig een extra optie te hebben voor het maken van warm tapwater. LT-warmte kan restwarmte zijn van bijvoorbeeld datacenters, ijsbanen, koel- en vrieshuizen of industriële bakkerijen. Hoewel de individuele bronnen kleiner zijn in het aanbod van warmte, is het aantal van deze bronnen vele malen groter dan bij HT-bronnen. Op dit moment is er echter geen goed kwantitatief overzicht van de beschikbare LT-restwarmte, enkel de locatie van de potentiële bron. In Figuur 4.9 wordt daarvan een indicatie gegeven.

Legenda

- Bedrijventerreinen (milieucat ≥ 3)
- Datacenters
- Diervoederindustrie
- Emissieregistratiebedrijven (LT)
- Glastuinbouw > 7ha
- Grote supermarkten
- Ijsbanen
- Industriële bakkerijen
- Industriële wasserijen
- Koel- en vrieshuizen
- Levensmiddelenindustrie
- Slachthuizen

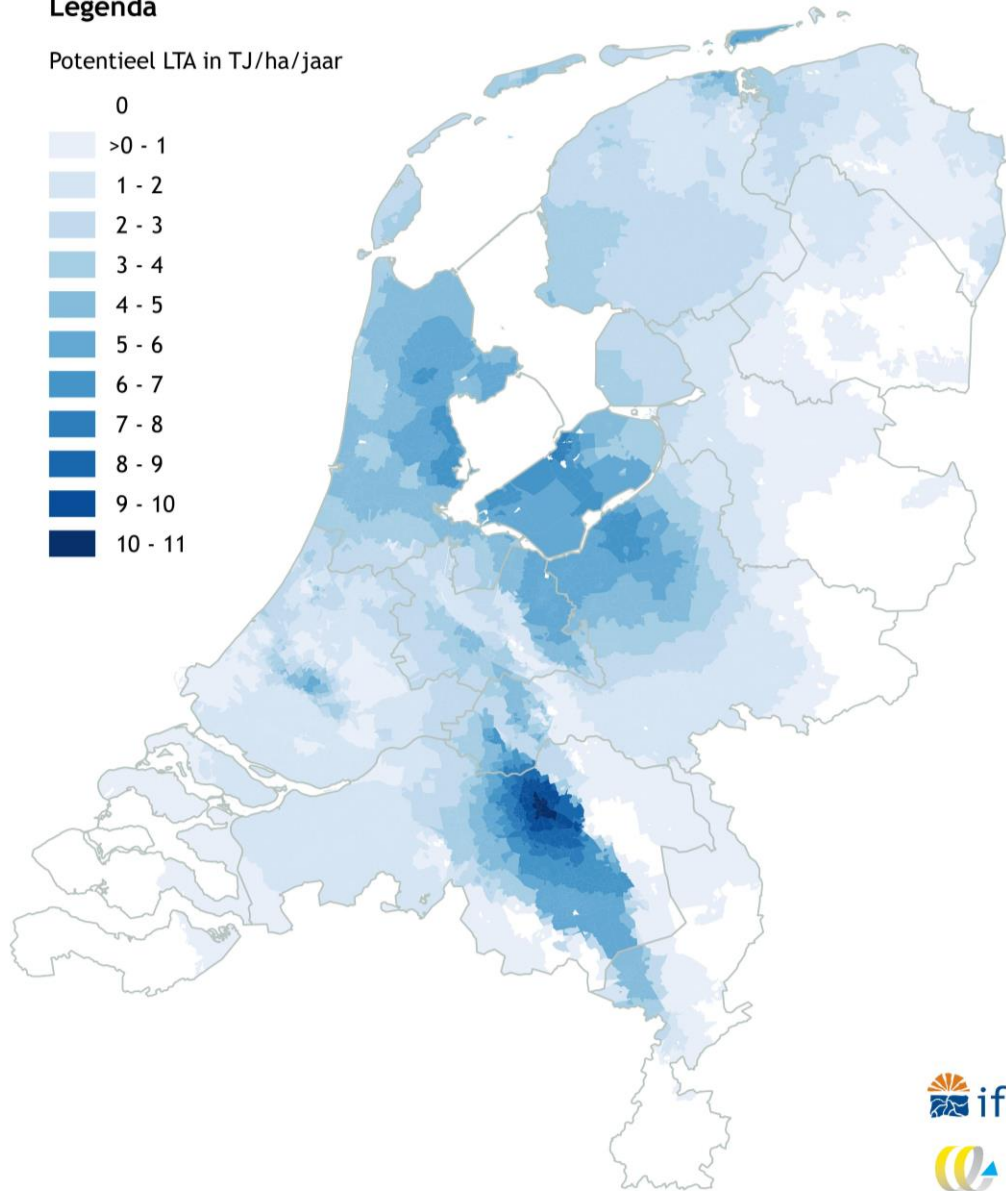
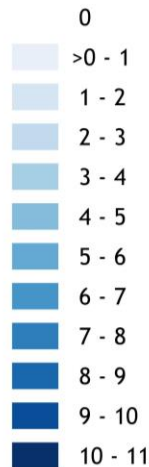


Figuur 4.9 | Locatie potentiële LT-(rest)warmtebronnen

Naast de restwarmte zijn er ook andere LT-bronnen. Hierbij valt te denken aan oppervlaktewater. Dit warmt in de zomer op door de zoninstraling. Deze warmte kan worden 'geoogst' en opgeslagen, zodat dit in de winter gebruikt kan worden. Of de mogelijkheid van laagtemperatuuraardwarmte (LTA, aardwarmte van 250-1.500 meter diepte). Uit de ondiepe ondergrond kan warmte worden gehaald van 30-60°C die in combinatie met warmtepompen en/of andere LT-bronnen ingezet kan worden voor de warmtevoorziening. De onderstaande kaart, Figuur 4.10, geeft de ondergrondse bodempotentie voor LTA weer.

Legenda

Potentieel LTA in TJ/ha/jaar



Figuur 4.10 | Bodempotentieelkaart lagetemperatuuraardwarmte, bron: CE Delft & IF Technology, 2018

4.2.4

Alternatieve bronnen

Naast de bronnen voor collectieve opties is er in Nederland ook nog een hele set aan individuele opties beschikbaar.

Groengas

Groengas ontstaat door biogas op te waarderen naar de kwaliteit van het huidige aardgas. Dit groengas kan vervolgens worden ingevoerd op het gasnet. Biogas wordt geproduceerd door biomassa te vergisten of vergassen. Warmtetechnieken zoals de HR-ketel of een hybride warmtepomp zijn in staat om dit groene gas om te zetten in warmte. Bij de hybride warmtepomp wordt groengas

echter alleen gebruikt op momenten van piekvraag aan warmte. In de basislast, buiten de piekvraag, draait deze hybride warmtepomp op elektriciteit. Hierdoor wordt circa 50% van de totale warmtevraag met een hoog rendement opgewekt met elektriciteit.

Biomassa

Vaste biomassa kan gebruikt worden in CV-ketels (pelletkachels). De grootschalige inzet van vaste biomassa in stedelijke gebieden kan echter tot overlast leiden, waardoor de inzet niet wenselijk kan zijn. Dit is vanwege de luchtverontreiniging (met name fijnstof, roet en andere schadelijke stoffen) die deze met zich meebrengen wanneer ze worden toegepast in een hoog stedelijke omgeving. Voor de landelijke gebieden is deze overlast minder.

Elektriciteit

Elektriciteit kan worden gebruikt om warmte te genereren. Een veel toegepaste warmtetechniek waarbij veel elektriciteit gebruikt wordt is de elektrische warmtepomp. De elektrische warmtepomp gebruikt energie uit de buitenlucht, ventilatielucht of de bodem, om deze energie met behulp van elektriciteit op te waarden naar de juiste temperatuur voor het verwarmen van het gebouw en eventueel het tapwater. Naast dat een warmtepomp kan verwarmen, kan deze ook koelen.

Bodemenergie- en opslag

Zoals in de vorige alinea vermeld, gebruikt een bodemwarmtepomp energie uit de bodem (gesloten bodemenergiesysteem), die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor het verwarmen of koelen van een gebouw. Veelal wordt een bodemwarmtepomp ingezet als individuele warmtetechniek, dus voor een enkele woning of gebouw.

Een warmtetechniek die zich meer richt op collectieve toepassingen is een WKO-installatie (warmte- en koudeopslag; open bodem-energiesysteem). Deze warmtetechniek verwarmt of koelt meerdere gebouwen met één systeem. In tegenstelling tot de bodemwarmte-pomp wordt er bij WKO-gebruik gemaakt van open putten waaraan grondwater wordt onttrokken. Na gebruik wordt dit water weer geïnjecteerd in de bodem. Deze techniek vereist daarom een evenwichtige balans in de warmte- en koudevraag en wordt veelal toegepast bij utiliteitsbouw en nieuwbouw appartementencomplexen.

Zonthermische systemen

Op gebouwniveau kan gebruik worden gemaakt van zonneboilers. Deze worden hoofdzakelijk ingezet voor de productie van warmte voor warm tapwater (niet voor ruimteverwarming, omdat in de winter de productie van deze systemen aanzienlijk lager is). Een zonneboiler kan voor een gemiddelde woning in Nederland ongeveer de helft van de warmtapwatervraag invullen. Er bestaat ook de mogelijkheid van collectieve zonthermische systemen, in combinatie met een warmtenet. In Nederland is er nog maar weinig praktijkervaring met dergelijke systemen.

4.3 ONTWIKKELING WARMTEVRAAG

De huidige warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw bedraagt circa 515 PJ per jaar. In de toekomst gaat deze vraag echter veranderen. Er zijn verschillende aanleidingen voor deze verandering. De belangrijkste zijn:

- autonome besparing als gevolg van rendabele investeringen of comfort verhogende maatregelen;
- besparing die nodig is om een alternatieve warmtetechniek toe te passen, zoals bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp die een goed geïsoleerde woning en een afgiftesysteem op lage temperatuur nodig heeft.

Recent zijn de eerste contouren van het Klimaatakkoord voor de gebouwde omgeving helder geworden. Dit akkoord moet er aan bijdragen dat de CO₂-emissie van deze sector in de komende decennia sterk afneemt. Op hoofdlijnen betreft het Klimaatakkoord - sector Gebouwde omgeving een verduurzamingsambitie die wijk voor wijk in Nederland uitgevoerd moet worden. Dit betreft lokaal maatwerk waarbij energiebesparing en duurzame opwek hand in hand moeten gaan. Eén van de concrete maatregelen die genoemd wordt, is het verhogen van de energiebelasting op aardgas, zodat er enerzijds meer bespaard wordt en anderzijds de alternatieven sneller interessant worden (Voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord, 2018).

Om een indicatie te geven van de ontwikkeling van de warmtevraag is met behulp van het CEGOIA-model van CE Delft een analyse gemaakt van de toekomstige warmtevoorziening (zie bijlage 4 voor een toelichting op het model). Aan de hand van dit model wordt gekeken welke warmtetechniek op basis van kosten de meest logische keuze is voor een buurt. Hierbij worden individuele en collectieve opties met elkaar vergeleken en aan de hand van buurtkarakteristieken (zoals bouwjaar, omvang, huidig energiegebruik, etc.) gekeken wat de integrale kosten van een CO₂-vrije warmtevoorziening zijn.

De analyse laat per buurt zien wat de beste uitkomst is wanneer wordt gekeken naar de totale jaarlijkse integrale kosten van de warmtevoorziening, gegeven diverse aannames over onder andere de beschikbaarheid van warmtebronnen (aardwarmte, restwarmte, biomassa, groengas, etc.) en de verwachte kosten daarvan (zie bijlage 5). Omdat het doel van deze studie is om te kijken wat de toegevoegde waarde van de play-based portfolio benadering is, is voor de analyse met name van belang om inzicht te krijgen in de onderverdeling tussen individuele en collectieve opties. Om dit mogelijk te maken is een aantal belangrijke aannames gemaakt voor de modelberekeningen:

- geen aardgas (in een CO₂-vrije warmtevoorziening kan aardgas geen referentie meer zijn);
- 68 PJ (2 bcm) groengas voor gebouwde omgeving (Gasunie Verkenning 2050);
- huidige omvang van het restwarmtepotentieel;
- vaste biomassa in individuele installaties enkel toegestaan in buitengebied i.v.m. overige emissies;
- overall biomassacentrale mogelijk als bron voor warmtenet, als dit op basis van kosten interessant is (los van de werkelijke beschikbaarheid van de biomassa);
- minimaal schillabel E voor aardwarmte: 70/40 °C net (= beperkte besparing voor slechte woningen);
- dalende kostencurves voor de investeringen;
- stijgende elektriciteits- en gasprijen;
- er is alleen gekeken naar de warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw;
- industrie wordt meegenomen als warmtebron, niet als warmtevraag (vanwege gebrek aan beschikbare gegevens en hoofdzakelijk een warmtevraag ver boven 70 °C).

Op basis van deze aannames is de analyse uitgevoerd. Hieruit is een aantal belangrijke conclusies te trekken:

- Van de huidige warmtevraag van 515 PJ is ongeveer 270 PJ geschikt voor levering van warmte door middel van een collectieve optie (warmtenet gevoed door restwarmte, biomassacentrale of aardwarmte). De overige warmtevraag wordt ingevuld door een individuele optie.
- De energiebesparing vindt met name plaats bij de individuele opties. Dit zijn hoofdzakelijk all electric-opties, zoals een warmtepomp, die alleen goed toepasbaar zijn in een goed geïsoleerd gebouw.
- De warmtevraag die wordt ingevuld met individuele opties daalt van 245 PJ nu naar 183 PJ in 2050.
- Bij de collectieve opties vindt de besparing (van energie en CO₂) buiten het gebouw plaats⁸. Dit leidt tot een minimale vraagreductie in de gebouwen zelf, met als gevolg dat ook in 2050 circa 270 PJ aan warmtevraag geschikt is voor collectieve opties.
- De totale warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw daalt van 515 PJ nu naar 450 PJ in 2050 (13% warmtebesparing bij de gebouwen). 100% van de CO₂-emissie wordt bespaard.

In Tabel 4.1 wordt dit samengevat.




Tabel 4.1 | Overzicht ontwikkeling warmtevraag GO en GTB

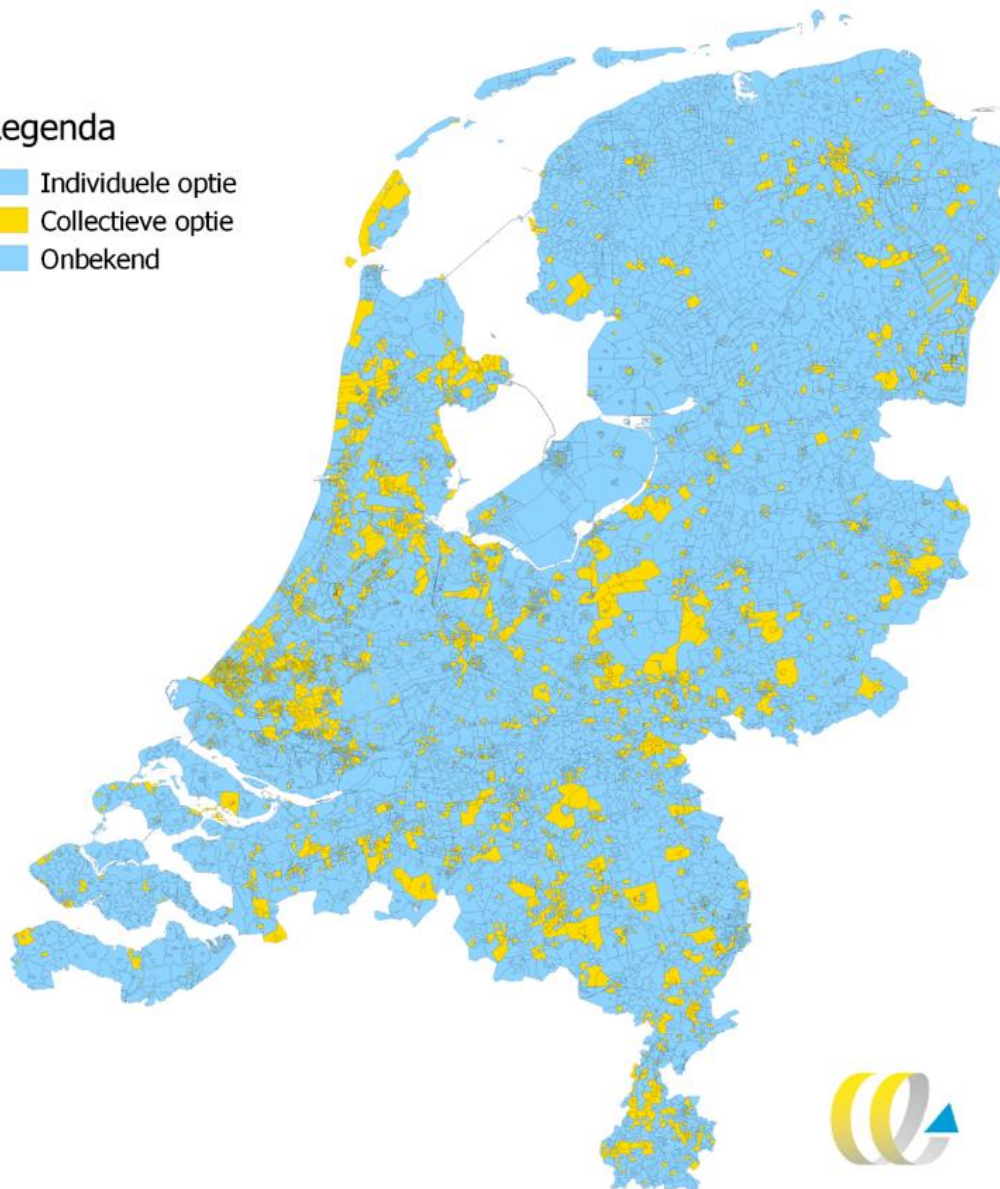
| | Huidig | 2050 |
|--------------------|--------|--------|
| Collectieve opties | 270 PJ | 270 PJ |
| Individuele opties | 245 PJ | 183 PJ |

In Figuur 4.11 wordt weergegeven in welke buurten dit zogenaamde technische potentieel van warmtenetten in Nederland is. In bijlage 5 is een lijst opgenomen van alle gemeenten waarin deze buurten voorkomen. Hierbij ook is aangegeven of er in die gemeenten momenteel al een warmtenet aanwezig is.

⁸ Aardgas wordt bijvoorbeeld vervangen door restwarmte, waardoor deze niet meer wordt geloosd op bijvoorbeeld het oppervlaktewater, maar nuttig wordt ingezet in een gebouw. Hierbij bespaart de woning geen GJ aan warmte, maar wel aan aardgas en CO₂.

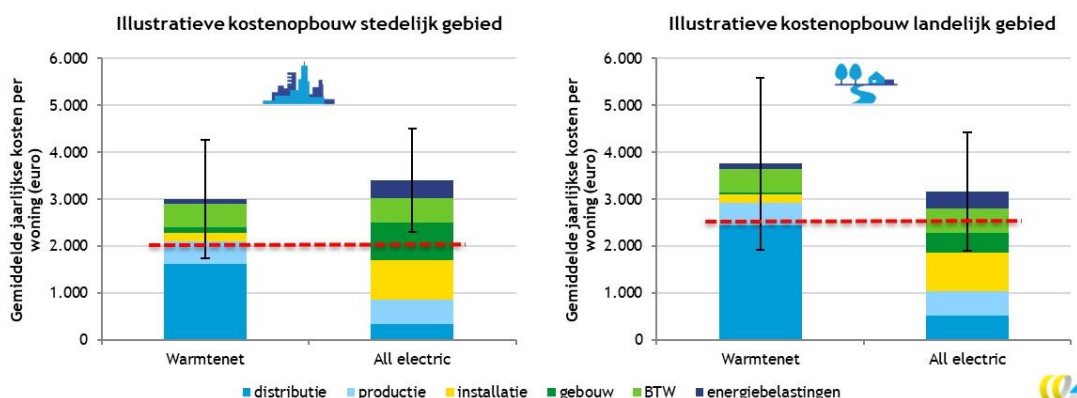
Legenda

-  Individuele optie
-  Collectieve optie
-  Onbekend



Figuur 4.11 | Technisch potentieel warmtenetten

Op hoofdlijnen is in de resultaten een onderverdeling te zien in de mogelijkheden in stedelijk en landelijk gebied. Figuur 4.12 geeft daar een indicatie van. Aan de linker kant staat een indicatie van de kostenopbouw van een warmtenet en all electric oplossing in een stad. Zichtbaar zijn de weliswaar hoge kosten van het warmtenet zelf (distributie), maar de overall lagere kosten van de oplossing. Onder andere omdat een warmtenet geen zware eisen stelt aan de gebouwaanpassingen. Aan de rechter kant is de situatie voor het landelijk gebied weergegeven. Door de veel minder compacte bebouwing, is de warmte-infrastructuur aanzienlijk duurder, waardoor ook de overall kosten hoger zijn. De rode stippellijn in beide figuren geeft het huidige kostenniveau op aardgas aan.



Figuur 4.12 | Indicatieve verschillen tussen collectieve en individuele technieken in stedelijk en landelijk gebied

Naast inzicht in de buurten waar een collectieve warmteoptie interessanter is dan een individuele warmteoptie, is er tevens gekeken naar welke kosten een GigaJoule (GJ) uit een aardwarmtebron mag hebben om interessanter te zijn dan een GJ uit restwarmte of biomassa. Dit bedrag, in €/GJ, is het bedrag waarmee 'geconcurrerd' moet worden en wat het doelbedrag kan zijn voor de play-based portfoliobenadering. Met andere woorden: op dit moment, zonder play-based portfoliobenadering, kunnen de kosten per GJ nog boven dat doelbedrag liggen, maar met de benadering kan een kostenreductie worden behaald, waarmee het wel onder het doelbedrag komt, en daarmee qua kosten een interessante optie.

5 Warmteaanbod uit de ondergrond

Ten behoeve van de uitwerking van de portfoliobenadering is input vanuit de ondergrond benodigd, namelijk het warmteaanbod. In dit hoofdstuk wordt gepresenteerd hoe deze input is bepaald. Ten behoeve van de play-based portfoliobenadering is de ondergrond onderverdeeld in plays, die weer zijn opgedeeld in sub-plays. Vanuit deze sub-plays wordt de portfoliobenadering toegepast. In dit hoofdstuk wordt gestart met het toelichten van een aantal belangrijke definities. Vervolgens wordt het algemene stappenplan om van play naar sub-play te komen gepresenteerd. In bijlage 2 is de uitgebreide indeling van de ondergrond in sub-plays opgenomen.

5.1 DEFINITIES

Geothermische plays

De ondergrond in Nederland kan geologisch worden onderverdeeld in plays. In deze studie wordt een play gedefinieerd als een bepaalde stratigrafie (opeenvolging van verschillende lagen), afgezet tijdens een bepaald geologisch tijdvak, in een regio waarvoor vergelijkbare geologische omstandigheden gelden. Een geothermische play is een play waarin aardwarmtepotentieel aanwezig is gebaseerd op de aanwezigheid van water in de formatie.

Het warmteaanbod is afhankelijk van de aanwezigheid en eigenschappen van een play. Voorbeelden van geothermische plays waaruit in Nederland geothermische warmte wordt gewonnen zijn het Vroeg/Midden Perm (Rotliegend), Trias en Jura-Krijt.

Onderverdeling geothermische plays in geologische sub-plays

De geothermische plays zijn in deze studie opgedeeld in geologische sub-plays. Een play is in een bepaalde periode afgezet, maar kent regionale verschillen. Deze zijn onder andere veroorzaakt door klimatologische verschillen ten tijde van afzetting, en als gevolg van tektonische processen die zijn opgetreden vanaf het moment van afzetting tot aan nu. Hierdoor liggen sommige gebieden binnen een play ondieper dan andere, waarbij deze gebieden van elkaar worden gescheiden door breuken. Daarnaast is het afzettingsmilieu van invloed op de kenmerken van de gebieden, waarbij (bijvoorbeeld) in het ene gebied rivierafzettingen voorkomen en in het andere gebied windafzettingen. Deze factoren veroorzaken verschillen in samenstelling van het gesteente en diepte en dikte van een play.

De sub-plays zijn intern homogener dan de geothermische play als geheel. Binnen sub-plays heersen overeenkomstige eigenschappen waardoor je hierbinnen een goede vergelijking kunt maken. De voorspelbaarheid van de ondergrond neemt van project tot project in een sub-play sterk toe. Het gebruiken van sub-plays voor de portfoliobenadering heeft als doel de ondergrondonzekerheid en projectrisico's te verkleinen voor ieder specifiek gebied.

Gebruik van data

Ten behoeve van de indeling van plays in sub-plays is gebruik gemaakt van literatuur (zie verwijzingen in bijlage 2 en in de literatuurlijst). Daarnaast is ThermoGIS 1.2 geraadpleegd (play eigenschappen zoals dikte, diepte, permeabiliteit, porositeit en standaarddeviatie van deze

waardes) om de indeling aan te toetsen. De data van ThermoGIS 1.2 is tevens gebruikt om het uiteindelijke vermogen per sub-play te berekenen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de data in ThermoGIS 1.2 gebaseerd is op beschikbare put- en seismische data. Aangezien de dichtheid van dergelijke data per locatie in Nederland verschilt, is de interpretatie vanuit ThermoGIS 1.2 slechts een indicatieve tool om een inschatting te maken van de geothermische parameters van de ondergrond voor heel Nederland. Hierbij varieert de onzekerheid van de data per locatie.

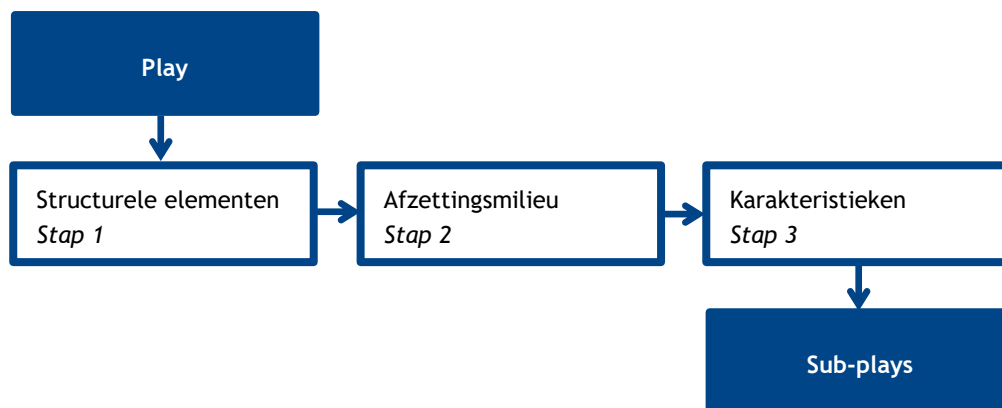
Dynamisch karakter

Het is van belang te realiseren dat er door het uitvoeren van nieuwe studies en het exploreren en exploiteren van aardwarmte en/of conventionele systemen steeds meer bekend wordt over de gebieden waar dit in gebeurt. Dit is ook van invloed op de in te schatten potentie van een sub-play. De ondergrondse eigenschappen veranderen niet, maar het inzicht in de eigenschappen kan veranderen. Daarom is de indeling in sub-plays een dynamisch model dat aan verandering onderhevig is.

5.2 STAPPENPLAN ONDERVERDELING IN SUB-PLAYS

In deze paragraaf is uitgewerkt hoe de geologische sub-play verdeling tot stand is gekomen voor de Perm (Rotliegend), Trias en Jura-Krijt plays.

In Figuur 5.1 is het stappenplan weergegeven om tot de onderverdeling in geologische sub-plays te komen.



Figuur 5.1 | Stappenplan om van een geothermische play tot een geologische sub-play te komen

Structurele elementen

Geologische structuren ontstaan als gevolg van tektonische gebeurtenissen. Hierdoor kan een bepaalde regio ondiep komen te liggen en een andere regio diep, waarbij er breuken tussen deze verschillende structurele elementen lopen. Er is variatie in diepte binnen een play door Nederland, omdat er ondiepe en diepe structuren aanwezig zijn. De structurele elementen zijn daarmee bepalend voor de diepte van een sub-play. De diepteligging is, naast de transmissiviteit⁹, bepalend voor de temperatuur en voor het uiteindelijke vermogen.

⁹ Transmissiviteit is een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten. Deze is afhankelijk van de dikte en doortatendheid van het pakket.

Afzettingsmilieu

Tijdens de afzetting van sediment zijn paleogeografische en klimatologische omstandigheden van invloed op de vorming van het gesteente. Er kan sprake zijn van een marien milieu (zee afzettingen) of van een continentaal of terrestrisch milieu (met eolische (wind) of fluviatiele (rivier) afzettingen). Het type afzettingen is van invloed op de geologische eigenschappen. Daarom is het belangrijk de sub-plays zo in te delen dat het afzettingsmilieu binnen een sub-play overeenkomstig is.

Karakteristieken

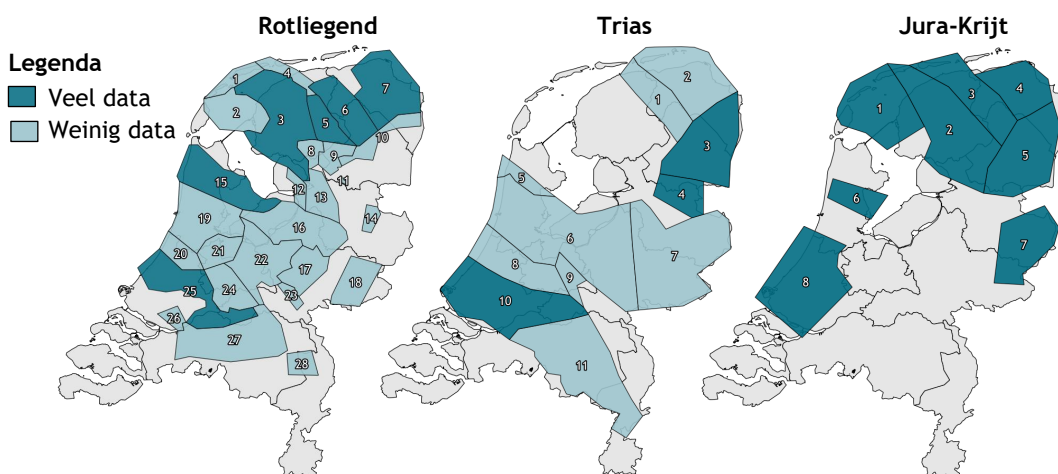
Vanuit ThermoGIS 1.2 is data met dikte en diepte van de verschillende plays geraadpleegd ten behoeve van het bepalen van de eigenschappen van een play. Een aardwarmteproject is geologisch gezien succesvol bij voldoende dikte en permeabiliteit (doorlatendheid van het gesteente) zodat het aardwarmtevermogen voldoende is om de investering terug te kunnen verdienen. Daarnaast is de diepte van belang omdat de temperatuur die onttrokken wordt hiervan afhankelijk is.

Gebieden waar veel tektonische activiteit heeft plaatsgevonden kunnen hevig verbroekt zijn en daardoor is er vaak meer onzekerheid over de geologische eigenschappen van zo'n gebied (dikte, permeabiliteit en porositeit). De onzekerheid per sub-play is dan ook afhankelijk van onder meer de structurele processen en de informatie die reeds beschikbaar is (of er putdata/seismische data van de ondergrond aanwezig is).

Op basis van de geïnterpreteerde permeabiliteit vanuit ThermoGIS 1.2 is het uiteindelijke verwachte vermogen per geologisch sub-play bepaald.

Resultaat

Het uiteindelijke resultaat is een kaart met een onderverdeling in geologische sub-plays op basis van structurele elementen/facies (afzettingsmilieu) en play karakteristieken voor het onshore gedeelte van Nederland. De drie kaarten voor de drie geanalyseerde plays zijn weergegeven in Figuur 5.2. In de legenda is opgenomen of er veel (>10 putten verspreid over sub-play) of weinig (<10 putten) putdata aanwezig is binnen een sub-play. Dit geeft een indicatie hoeveel inzicht er is over de ondergrond per sub-play.



Figuur 5.2 | Onderverdeling van de drie geanalyseerde plays in sub-plays

5.3 OLIE- EN GASVOORKOMENS

Afhankelijk van de omvang en risico's dient er rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van olie- en gasvelden. Dit speelt met name in het noorden en westen van Nederland. Sommige van de gedefinieerde sub-plays bevatten gebieden met olie- en gasvelden. Voor het Groningen gasveld is ervoor gekozen gebieden die hier binnen vallen uit te sluiten voor de portfolio analyse. In de sub-play verdeling van figuur 5.2 zijn deze gebieden wel opgenomen.

6 Toepassing play-based portfoliobenadering

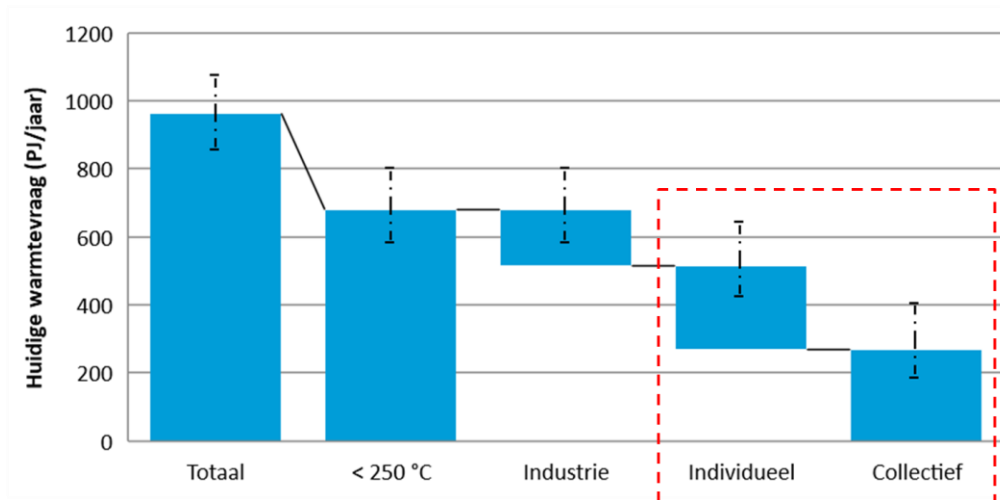
De play-based portfoliobenadering is toegepast op de resultaten van de analyse van de bovengrondse warmtevraag en -aanbod en op de resultaten van de analyse van het warmteaanbod vanuit de ondergrond. In dit hoofdstuk worden in paragraaf 6.1 de toepassingsgebieden van de warmtevraag, ondergronds warmteaanbod en portfoliobenadering toegelicht. Paragraaf 6.2 gaat in op de voordelen die zijn toegepast in de play-based portfoliobenadering. De resultaten zijn gepresenteerd in paragrafen 6.3 (Rotliegend), 6.4 (Trias), 6.5 (Jura-Krijt) en 6.6 (totaal).

6.1 TOEPASSINGSGEBIED

6.1.1 Toepassingsgebied warmtevraag: gebouwde omgeving en glastuinbouw

Op dit moment bedraagt de Nederlandse warmtevraag 960 PJ per jaar. Deze vraag omvat een grote diversiteit qua benodigde temperatuur: van warmte voor industriële processen met meer dan 1.000°C tot vraag naar warmte voor het verwarmen van gebouwen met minder dan 100°C. Deze spreiding leidt ertoe dat de aardwarmte, waarnaar wordt gekeken in deze studie, op een beperkt deel van de totale warmtevraag van toepassing is. De verwachting is dat de mogelijkheden voor aardwarmte in Nederland een invulling kunnen geven aan de warmtevraag die temperaturen onder de 250°C nodig heeft. Een deel van deze warmtevraag komt vanuit de industrie voor een diverse set aan activiteiten. Vaak zit deze vraag boven de 100°C, waarvoor diepere aardwarmtebronnen gebruikt moeten worden dan waar in deze studie naar wordt gekeken. Het overgrote deel komt echter uit de gebouwde omgeving en glastuinbouw en bedraagt een warmtevraag van minder dan 100°C. Dit is bij uitstek het temperatuurniveau waar de in deze studie geanalyseerde geothermische plays in kunnen voorzien.

In Figuur 6.1 staat de opbouw van de warmtevraag en is zichtbaar welk deel daarvan relevant is voor het onderzoeken van de mogelijkheden van de play-based portfoliobenadering. Van de circa 680 warmtevraag lager dan 250°C komt 515 PJ per jaar in aanmerking voor invulling door aardwarmte uit de in deze studie meegenomen plays. Hiervan wordt ingeschat dat ongeveer 245 PJ ingevuld zal worden door individuele technieken, zoals warmtepompen en groengas (zie hoofdstuk 4) en dat ongeveer 270 PJ van de warmtevraag interessant is voor collectieve systemen, waar aardwarmte een bron van kan zijn.

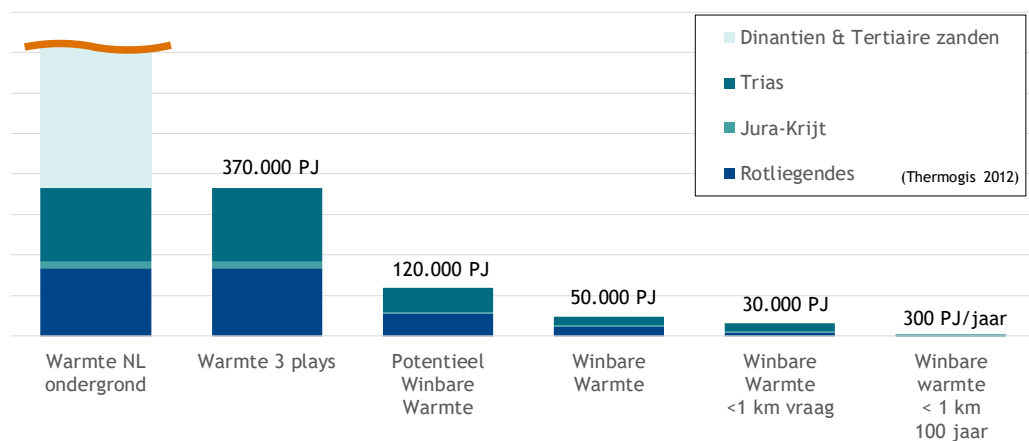


Figuur 6.1 | Opbouw warmtevraag in Nederland

De relevante warmtevraag voor collectieve systemen is verdeeld over het hele land. Het aanbod aardwarmte is echter niet verdeeld over het hele land. Dit betekent dat ondanks dat er bovengronds een warmtevraag is die gunstige karakteristieken heeft om in te vullen met aardwarmte, de ondergrond de toepassing niet overal mogelijk maakt. In de komende paragrafen wordt aan de hand van de play-based portfolio benadering een inschatting gemaakt van de match tussen de boven- en ondergrond en welke gunstige effecten de benadering heeft ten opzichte van de situatie dat er geen voordelen worden behaald uit een portfolio benadering.

6.1.2 Toepassingsgebied winbare aardwarmte

In Figuur 6.2 is schematisch aangegeven hoe vanuit de totaal aanwezige aardwarmte in Nederland stapsgewijs de jaarlijks winbare warmte in het toepassingsgebied van deze studie wordt afgeleid.



Figuur 6.2 | Aardwarmte in de Nederlandse bodem

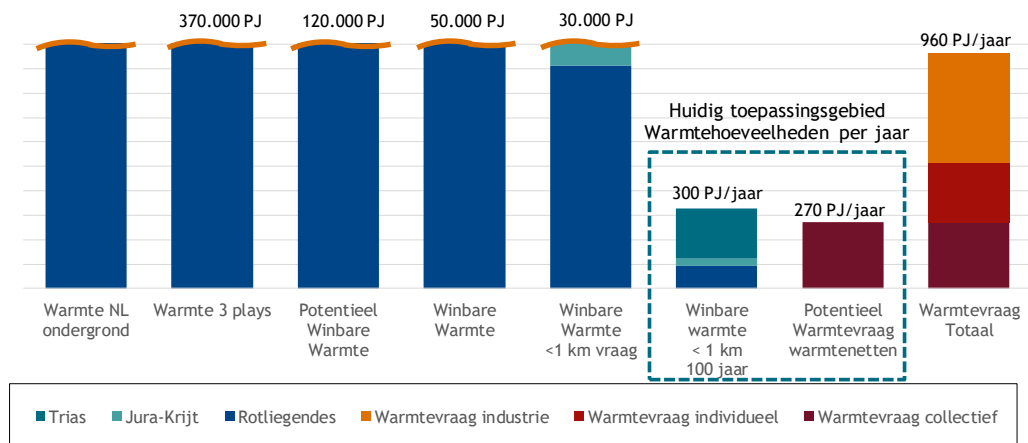
- De eerste kolom geeft de totaal aanwezige aardwarmte weer in de Nederlandse ondergrond. Dit wordt ook wel de Heat In Place (HIP) genoemd. Hierbij is gekeken naar aardwarmte aanwezig in plays. Lagen die geen aardwarmtepotentieel hebben, worden niet meegenomen. Het totale warmteaanbod is momenteel niet in te schatten. Dit komt doordat over de ultra-diepe ondergrond (dieper dan 4 km) nog te weinig bekend is om een inschatting te kunnen maken.
- In de tweede kolom is de aanwezige warmte (HIP) weergegeven van de drie plays die in deze studie zijn meegenomen, namelijk Rotliegend, Trias en Jura-Krijt. De totaal aanwezige warmte wordt berekend aan de hand van het totale volume, de temperatuur en de gemiddelde warmtecapaciteit van de play (zie bijlage 1 voor meer details). Ingeschat is dat in de drie plays 370.000 PJ aan warmte aanwezig is.
- In deze studie is uitgegaan van het gebruik van verticaal georiënteerde doubletten voor geothermie. Daarnaast is aangenomen dat het beïnvloedingsgebied per doublet op basis van de Franse methode wordt bepaald (Mijnlieff et al., 2009), waarbij een gedeelte van het play niet wordt benut. Het potentieel winbare warmte (ook wel Potential Recoverable Heat, PRH) is ingeschat op 1/3 van de totaal aanwezige warmte (Kramers et al. 2012). Dit komt neer op 120.000 PJ.
- Bij de potentieel winbare warmte is nog geen rekening gehouden met de reservoirkarakteristieken. De ondergrond moet wel voldoende doorlatend zijn om water te kunnen onttrekken. Bij winbare warmte (ook wel Recoverable Heat, RH) is gekeken op welke locaties technisch gezien water kan worden gewonnen. Op basis van de transmissiviteit is de winbare warmte ingeschat op 50.000 PJ (kolom vier).
- In de volgende stap is gekeken naar winbare warmte in de directe nabijheid van de warmtevraag. Om investeringskosten voor warmtetransport beperkt te houden is het uitgangspunt dat de aardwarmtebron in of langs de rand van de warmtevraag wordt geplaatst. Omdat aardwarmtebronnen (vaak) gedeveerd worden geboord, kan ook warmte buiten de warmtevraaglocatie worden gewonnen. In deze studie is aardwarmte binnen 1 km van de warmtevraag meegenomen. De totaal winbare warmte binnen 1 km van de vraag bedraagt 30.000 PJ.
- In de laatste kolom is de beschikbare, winbare warmte per jaar bepaald. Uitgangspunt is dat de winbare warmte wordt gewonnen in een periode van 100 jaar. Per jaar is er dan 300 PJ beschikbaar. Hoewel aardwarmtebronnen vaak ontworpen worden op een thermische doorbraak¹⁰ van 30 jaar, is in deze studie voor een langere tijdsperiode voor winning van 100 jaar gekozen. Concreet betekent dit dat elk aardwarmte-doublet na circa 33 jaar en 67 jaar vervangen wordt door een nieuw aardwarmte-doublet, zodat warmtelevering voor de komende 100 jaar geborgd is. Op deze wijze kan aardwarmte over een langere periode planmatig en doelmatig als een duurzame warmtebron worden ontwikkeld.

6.1.3 Toepassingsgebied play-based portfoliobenadering

In de play-based portfoliobenadering wordt gekeken naar de koppeling van bovengrondse warmtevraag en ondergronds warmteaanbod. Uit voorgaande paragrafen volgt dat de play-based portfoliobenadering is toegepast op een deel van de warmtevraag en op een deel van de winbare aardwarmte. Het toepassingsgebied voor de play-based portfoliobenadering is grafisch weergegeven in Figuur 6.3.

¹⁰ Thermische doorbraak is het moment waarop het afgekoelde geïnjecteerde formatiewater de onttrekkingsput bereikt. Vanaf dat moment zal de temperatuur van het onttrokken formatiewater langzaam afnemen. Hiermee zal ook het vermogen van de aardwarmtebron langzaam afnemen.

Omdat het huidig toepassingsgebied nog niet de volledige warmtevraag en ook niet de volledige winbare aardwarmte omvat (er zijn immers een aantal plays buiten beschouwing gelaten), zijn de resultaten uit dit onderzoek geen volledige potentieelstudie. Het potentieel zal naar verwachting groter zijn. Hier wordt in paragraaf 6.7 op ingegaan. De resultaten zijn ter illustratie van wat play-based portfolio benadering kan betekenen bij opschaling van aardwarmte.



Figuur 6.3 | Huidige toepassingsgebied play-based portfolio benadering

6.2 VOORDELEN TOEGEPAST IN PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING

Bij de toepassing van de play-based portfolio benadering zijn twee van de zes eerder door TNO en EBN geïdentificeerde voordelen meegenomen:

- Geologische risico-reductie door optimale play-ontwikkeling: dit creëert meerwaarde in de vorm van een hogere NCW. Het principe hiervan is toegelicht in paragraaf 2.2.1. Per deelwarmtenet zal de startkans op een succesvol project variëren (in het voorbeeld is dit 50%), evenals de omvang (aantal doubletten). Binnen een sub-play kunnen meerdere deelwarmtenetten aanwezig zijn, welke volgordelijk worden ontwikkeld. De startkans op succes van een deelwarmtenet wordt beïnvloed door het leereffect van deelwarmtenetten in dezelfde sub-play die eerder ontwikkeld zijn. Dit is in meer detail terug te lezen in bijlage 1 onder het kopje 'Doorrekenen deelwarmtenetten'.
- Kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie: kostenreductie is toegelicht in paragraaf 2.2.3 en in bijlage 1 onder het kopje 'Doorrekenen deelwarmtenetten'. Bij een gelijkblijvende waarde voor warmte (dus gelijke inkomsten) leidt een kostenreductie tot een hogere NCW (meerwaarde). Binnen een sub-play dalen de investeringskosten met elk volgend doublet. Dus hoe groter het herhaalpotentieel (aantal doubletten) binnen een sub-play, hoe groter de kostenreductie zal zijn.

Een combinatie van beide voordelen is toegelicht in 2.3 (sneeuwbaaleffect). In dit hoofdstuk is de gecreëerde meerwaarde van combinatie van beide voordelen gepresenteerd.

De andere voordelen, zoals omschreven in hoofdstuk 2, zullen ook bijdragen aan de gecreëerde meerwaarde van play-based portfolio benadering. Binnen de scope van dit onderzoek was het niet mogelijk om deze voordelen kwantitatief mee te nemen. Aanbevolen wordt om bij een vervolg op deze studie deze voordelen zoveel mogelijk te verwerken in het model.

6.3 RESULTATEN ROTLIEGEND

Match boven- en ondergrond

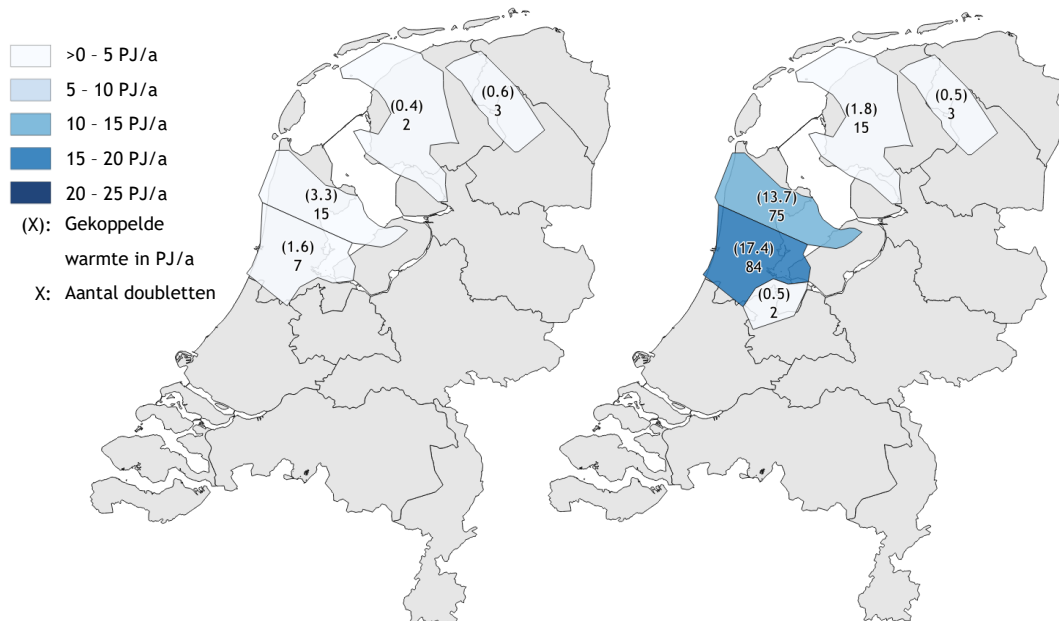
Als referentie is eerst een match gemaakt tussen vraag en aanbod indien aardwarmte projecten op individuele basis worden ontwikkeld. Voor elke buurt is de gemiddelde kostprijs bepaald voor aardwarmte op basis van het verwachte vermogen (P50, zie voor meer details bijlage 3). De berekende kostprijs van aardwarmte per buurt is vergeleken met de kostprijs van andere duurzame technieken in diezelfde buurt zoals berekend met het CEGOIA-model. Wanneer aardwarmte de goedkoopste optie is, is de warmtevraag van de buurt gekoppeld aan aardwarmte uit de Rotliegend.

Bij play-based portfoliobenadering zijn nabijgelegen buurten waarbij collectieve warmte de beste optie is geclusterd in warmtenetten. Per warmtenet, bestaande uit meerdere buurten, is met behulp van CEGOIA berekend met welke kostprijs voor warmte aardwarmte moet concurreren. Op basis van het verwachte vermogen (P50) en de standaarddeviatie van het vermogen is de kans berekend dat aardwarmte kan concurreren met andere duurzame technieken. Wanneer de kans 10% of hoger is, is de warmtevraag van het betreffende warmtenet gekoppeld aan aardwarmte uit de Rotliegend. De methode is globaal beschreven in paragraaf 3.2 en in meer detail in bijlage 1.

Per sub-play is bepaald hoeveel warmte in totaal gekoppeld kan worden. De resultaten zijn grafisch samengevat in Figuur 6.4. Links geeft de resultaten weer voor individuele ontwikkeling. Rechts geeft de resultaten weer bij toepassing van de play-based portfoliobenadering. De kleur van de sub-play en het getal tussen haken geeft aan hoeveel warmte in de sub-play gekoppeld is. Het zwarte getal geeft het herhaalpotentieel aan (in aantal doubletten).

Bij de match tussen de boven- en ondergrond is rekening gehouden met de aanwezigheid van olie- en gasvelden (zie bijlage 2). Gebieden waar olie- en gasvelden liggen, zijn uitgesloten. Het resterende deel van de sub-play waar geen olie- en gasvelden liggen is wel meegenomen in de analyse.

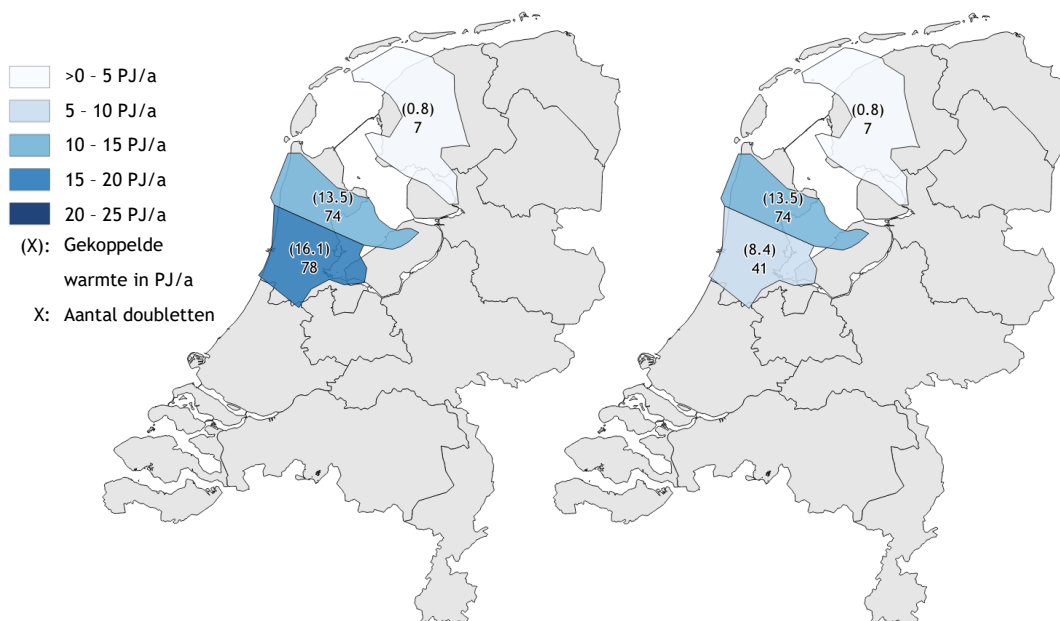
Bij individuele ontwikkeling kan in totaal circa 6 PJ/a aan warmte worden gekoppeld, verdeeld over 27 doubletten. In het geval van play-based portfoliobenadering neemt de gekoppelde warmte toe tot 34 PJ/a, verdeeld over 196 doubletten. Dit is een toename van circa 450% ten opzichte van individuele ontwikkeling.



Figuur 6.4 | Links) Gekoppelde warmte bij individuele ontwikkeling Rotliegend (ca. 6 PJ). Per buurt is op basis van het verwachte vermogen (P50) de kostprijs voor aardwarmte bepaald. Wanneer aardwarmte de goedkoopste duurzame bron is, is de warmtevraag van de buurt gekoppeld aan warmte uit de Rotliegend. Rechts) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfolio benadering Rotliegend (ca. 34 PJ). Per warmtenet (bestaande uit meerdere, nabijgelegen buurten) is bepaald welk vermogen een aardwarmtebron moet hebben om te kunnen concurreren met andere duurzame technieken. Wanneer de kans hierop 10% of meer is, is de warmtevraag van het warmtenet gekoppeld aan warmte uit de Rotliegend.

Toepassen play-based portfolio benadering

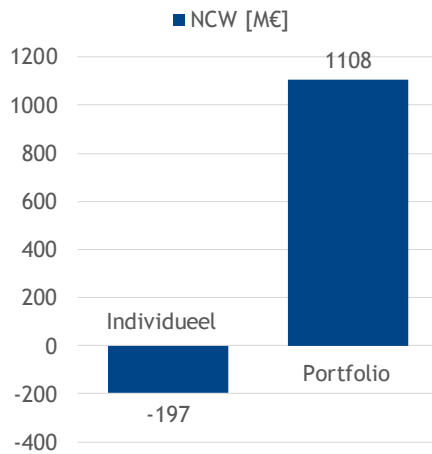
Bij de koppeling van vraag en aanbod zoals eerder gepresenteerd in dit hoofdstuk is per sub-play een hoeveelheid gekoppelde warmte en het aantal doubletten bepaald (zie Figuur 6.4). Omdat voor alle gekoppelde warmte het aantal doubletten en de bijbehorende kans op succes is bepaald, zal bij ontwikkeling een deel van de doubletten succesvol zijn, maar zal ook een deel falen. Hoeveel gekoppelde warmte naar verwachting wordt gerealiseerd is weergegeven in Figuur 6.5. Hierbij wordt bedoeld op de verwachte productie uit de doubletten die worden gebouwd. Warmtenetten met een omvang van minder dan 5 doubletten zijn niet meegenomen in de analyse. Dit vereenvoudigt de modelberekeningen en vanwege de 'geringe' omvang van deze warmtenetten op het totaal is de invloed van deze vereenvoudiging naar verwachting beperkt. Door het weglaten van warmtenetten met een beperkte omvang neemt de gekoppelde warmtevraag zoals gepresenteerd in Figuur 6.4 iets af. De aangepaste waarden zijn weergegeven in Figuur 6.5.



Figuur 6.5 | Links) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfolio benadering Rotliegend waarbij warmtenetten met een omvang van minder dan 5 doubletten buiten beschouwing zijn gelaten. Rechts) Verwachte productie uit doubletten in de Rotliegend bij play-based portfolio benadering.

Te zien is dat in sommige sub-plays alle gekoppelde warmte wordt gerealiseerd. In dit geval is de startkans op succes 90% of meer, waardoor deze direct onder de RNES zullen vallen. In totaal wordt circa 75% van de gekoppelde warmtevraag gerealiseerd. Wanneer dit wordt geëxtrapoleerd naar alle gekoppelde warmte (waarbij kleine warmtenetten niet zijn weggestreept) wordt naar verwachting 25 van de 34 PJ aan gekoppelde warmte gerealiseerd. Deze uitkomst is op basis van de gehanteerde uitgangspunten. Zo is in deze studie bijvoorbeeld aangenomen dat een ontwikkeling stopt wanneer er twee doubletten falen. Wanneer het herhaalpotentieel hoog is, kan het zinvol zijn om meer faalprojecten toe te staan. Dit is niet onderzocht. De verwachting is dat de hoeveelheid gekoppelde warmtevraag dat succesvol wordt gerealiseerd, verder zal toenemen. De 34 PJ kan gezien worden als een bovengrens. Naar verwachting zal de hoeveelheid gekoppelde warmte dat succesvol wordt gerealiseerd tussen de 25 en 34 PJ liggen.

Behalve de hoeveelheid gekoppelde warmte die naar verwachting wordt gerealiseerd, is ook de NCW berekend per sub-play. Dit is gedaan op basis van de hoeveelheid gekoppelde warmte zoals weergegeven in Figuur 6.5 links. Om een vergelijking te kunnen maken met individuele ontwikkeling is de NCW ook berekend in het geval dit als individuele projecten wordt gerealiseerd. De resultaten hiervan zijn samengevat in Figuur 6.6.



Figuur 6.6 | Berekende NCW voor Rotliegend van 34 PJ aan gekoppelde warmte op basis van individuele ontwikkeling (links) en op basis van play-based portfoliobenadering (rechts).

Toepassing van play-based portfoliobenadering op de play Rotliegend geeft een toename in NCW van 1.300 M€ ten opzichte van individuele ontwikkeling.

6.4 RESULTATEN TRIAS

Op soortgelijke wijze als bij Rotliegend is de play-based portfoliobenadering toegepast op de Trias. Resultaten zijn gepresenteerd in Figuur 6.7, Figuur 6.8 en Figuur 6.9.

Match boven- en ondergrond

Bij individuele ontwikkeling kan in totaal circa 0,7 PJ/a aan warmte worden gekoppeld, verdeeld over 3 doubletten. In het geval van play-based portfoliobenadering neemt de gekoppelde warmte toe tot 3,2 PJ/a, verdeeld over 23 doubletten. Dit is een toename met circa 350% ten opzichte van individuele ontwikkeling.



Figuur 6.7 | Links) Gekoppelde warmte bij individuele ontwikkeling Trias. Per buurt is op basis van het verwachte vermogen (P50) de kostprijs voor aardwarmte bepaald. Wanneer aardwarmte de goedkoopste duurzame bron is, is de warmtevraag van de buurt gekoppeld aan warmte uit de Trias. Rechts) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfoliobenadering Trias. Per warmtenet (bestaande uit meerdere, nabijgelegen buurten) is bepaald welk vermogen een aardwarmtebron moet hebben om te kunnen concurreren met andere duurzame technieken. Wanneer de kans hierop 10% of meer is, is de warmtevraag van het warmtenet gekoppeld aan warmte uit de Trias.

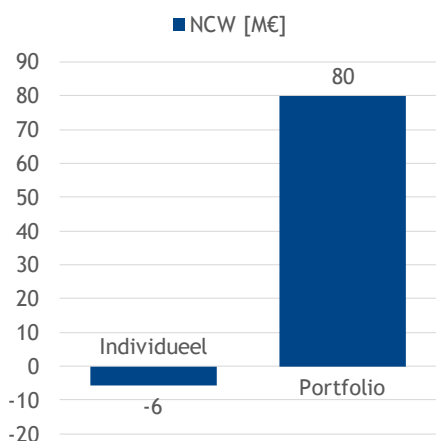
Toepassen play-based portfoliobenadering

In Figuur 6.8 is links de input gegeven voor toepassen van de play-based portfoliobenadering. Warmtenetten met een herhaalpotentieel van minder dan 5 doubletten zijn niet meegenomen in de analyse. Rechts is de verwachte realisatie aan gekoppelde warmte weergegeven. In totaal wordt 100% van de gekoppelde warmtevraag gerealiseerd. Wanneer de resultaten worden geëxtrapoleerd naar alle gekoppelde warmte (waarbij kleine warmtenetten niet zijn weggestreep) wordt naar verwachting 3,2PJ aan gekoppelde warmte gerealiseerd.



Figuur 6.8 | Links) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfolio benadering Trias waarbij warmtenetten met een omvang van minder dan 5 doubletten buiten beschouwing zijn gelaten. Rechts) Verwachte productie uit doubletten in de Trias bij play-based portfolio benadering.

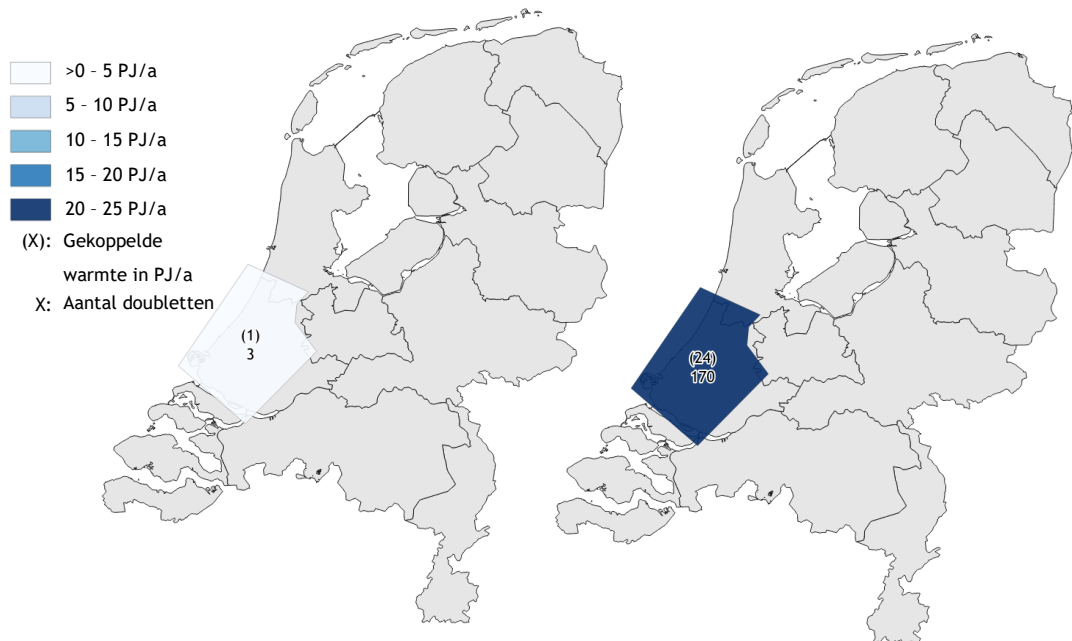
De resultaten van de berekende NCW voor zowel individuele ontwikkeling als bij toepassing van play-based portfolio benadering zijn samengevat in Figuur 6.9. Toepassing van play-based portfolio benadering op de play Trias geeft een toename in NCW van 86 M€ ten opzichte van individuele ontwikkeling.



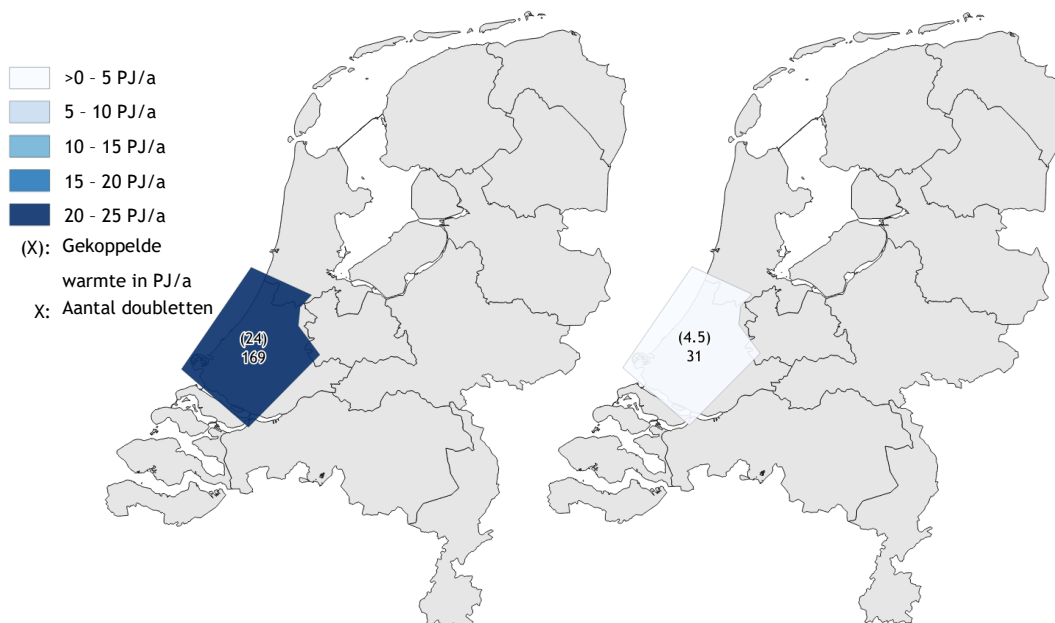
Figuur 6.9 | Berekende NCW voor Trias van 3,2 PJ aan gekoppelde warmte op basis van individuele ontwikkeling (links) en op basis van play-based portfolio benadering (rechts).

6.5 RESULTATEN JURA-KRIJLT

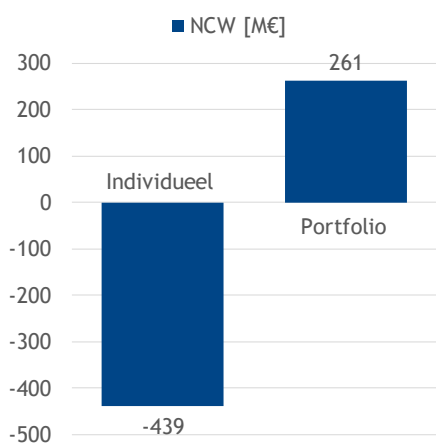
Op soortgelijke wijze is de play-based portfoliobenadering toegepast op de Jura-Krijt. Resultaten zijn gepresenteerd in Figuur 6.10, Figuur 6.11 en Figuur 6.12. Voor de Jura-Krijt is de gekoppelde warmtevraag 24 PJ per jaar tegenover 1 PJ per jaar bij individuele ontwikkeling.



Figuur 6.10 | Links) Gekoppelde warmte bij individuele ontwikkeling Jura-Krijt. Per buurt is op basis van het verwachte vermogen (P50) de kostprijs voor aardwarmte bepaald. Wanneer aardwarmte de goedkoopste duurzame bron is, is de warmtevraag van de buurt gekoppeld aan warmte uit de Jura-Krijt. Rechts) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfoliobenadering Jura-Krijt. Per warmtenet (bestaande uit meerdere, nabijgelegen buurten) is bepaald welk vermogen een aardwarmtebron moet hebben om te kunnen concurreren met andere duurzame technieken. Wanneer de kans hierop 10% of meer is, is de warmtevraag van het warmtenet gekoppeld aan warmte uit de Jura-Krijt.



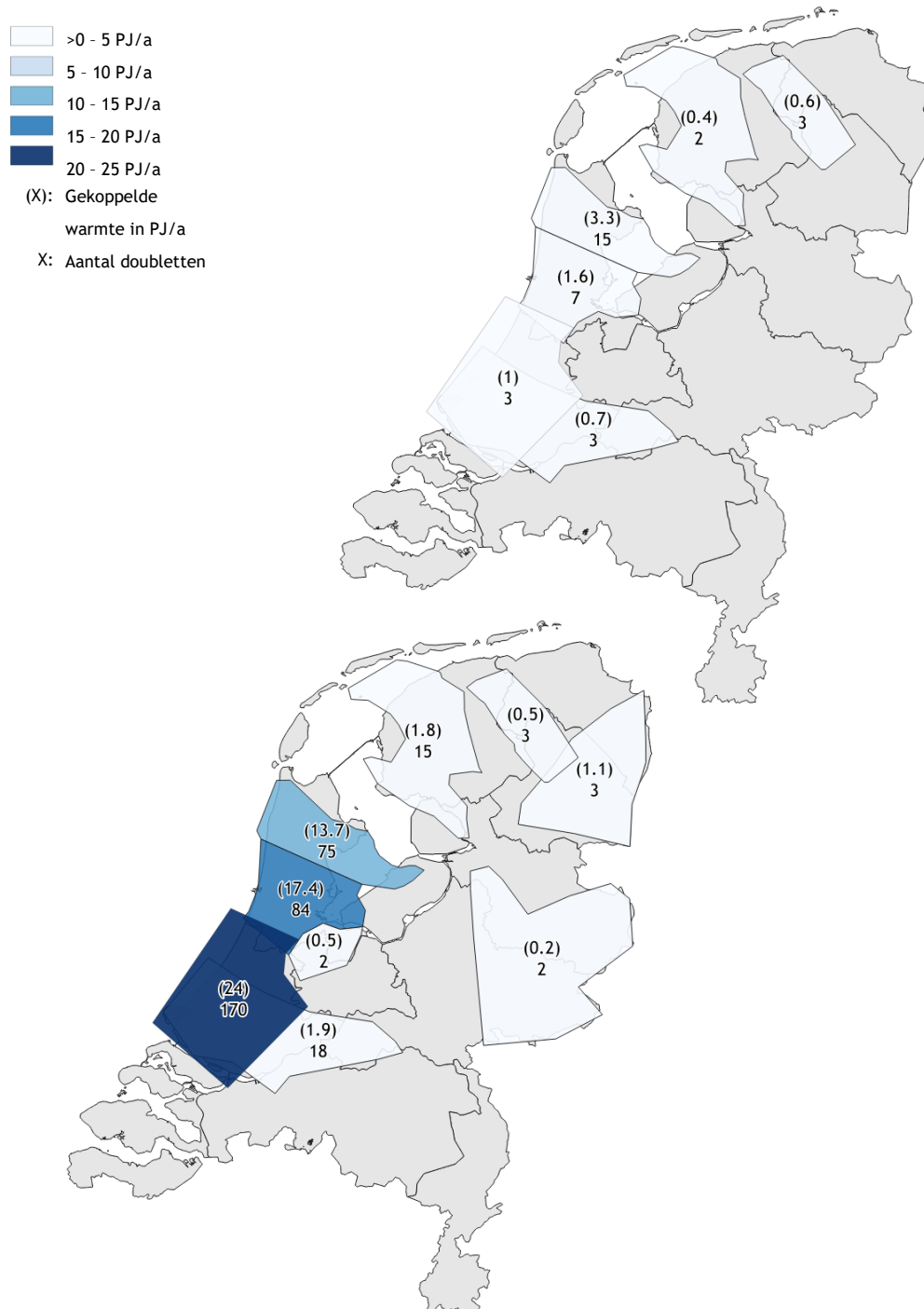
Figuur 6.11 | Gekoppelde warmtevrage bij play-based portfoliobenadering Jura-Krijt waarbij warmtenetten met een omvang van minder dan 5 doubletten buiten beschouwing zijn gelaten. Rechts) Verwachte productie uit doubletten in de Jura-Krijt bij play-based portfoliobenadering.



Figuur 6.12 | Berekende NCW voor Jura-Krijt van 24 PJ aan gekoppelde warmte op basis van individuele ontwikkeling (links) en op basis van play-based portfoliobenadering (rechts).

6.6 RESULTATEN TOTAAL

De resultaten van de drie plays zijn gecombineerd. De gekoppelde warmte op basis van individuele ontwikkeling en op basis van play-based portfolio benadering is gegeven in Figuur 6.13 en in Tabel 6.1.



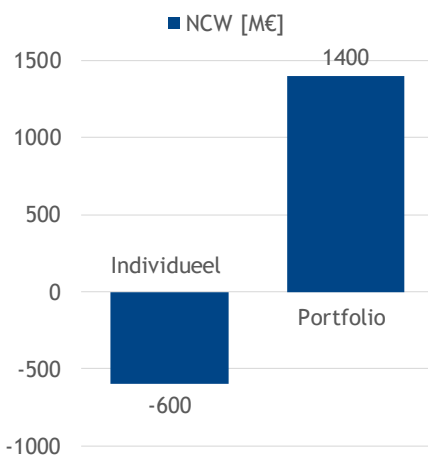
Figuur 6.13 | Boven) gekoppelde warmte bij individuele ontwikkeling alle drie de plays Onder) Gekoppelde warmtevraag bij play-based portfolio benadering alle drie de plays

Tabel 6.1 | Resultaten totaal toepassen play-based portfolio benadering

| Play | Individueel | | Play-based portfolio benadering | |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Gekoppelde warmte [PJ/a] | Herhaalpotentieel [Doubletten] | Gekoppelde warmte [PJ/a] | Herhaalpotentieel [Doubletten] |
| Rotliegend | 5,9 | 27 | 34 | 179 |
| Trias | 0,7 | 3 | 3,2 | 23 |
| Jura-Krijt | 1 | 3 | 24 | 170 |
| Totaal | 7,6 | 33 | 62 | 372 |

Bij individuele ontwikkeling kan in totaal circa 7,6 PJ/a aan warmte worden gekoppeld, verdeeld over 33 doubletten. In het geval van play-based portfolio benadering neemt de gekoppelde warmte toe tot 62 PJ/a, verdeeld over 372 doubletten. Dit is een toename van circa 700 % ten opzichte van individuele ontwikkeling.

De sommatie van de NCW over de drie sub-plays is weergegeven in Figuur 6.14. Toepassing van play-based portfolio benadering geeft een toename in NCW van 2.000 M€ ten opzichte van individuele ontwikkeling. De gerealiseerde hoeveelheid warmte wordt ingeschat tussen de 33 en 62 PJ per jaar. Merk op dat de totalen sterk afhankelijk zijn van de onderverdeling in sub-plays. Kleinere sub-plays zullen een lager herhaalpotentieel geven per sub-play en daar uit volgend ook een lagere meerwaarde.



Figuur 6.14 | Berekende NCW over alle drie de plays op basis van individuele ontwikkeling (links) en op basis van play-based portfolio benadering (rechts).

6.7

UPSIDES

Zoals eerder aangegeven is de uitgevoerde studie geen potentieelstudie. De gevonden waarden zijn een resultaat bij toepassing van de play-based portfolio benadering op een deel van de warmtevraag en op een deel van de ondergrond, en op basis van een relatief oude momentopname van de kennis over die ondergrond (ThermoGIS 1.2, 2012). De hoeveelheid aardwarmte die uiteindelijk gerealiseerd kan worden zal dan ook hoger liggen. In deze studie is geen inschatting gemaakt van het totale potentieel. Hierna worden wel een aantal zaken genoemd die tot toename van het totale potentieel zullen leiden:

- Het meenemen van de industriële warmtevraag. Een deel van de industriële warmtevraag zal uit laagwaardige warmte bestaan. Deze kan worden ingevuld met aardwarmte, vooral door ultra-diepe aardwarmte.
- Alle plays meenemen: de play Dinantien en de play Tertiair zijn niet meegenomen. Meenemen van deze plays zal extra potentieel geven.
- Er is (grotendeels) gebruik gemaakt van ThermoGIS 1.2 (2012). Deze data is relatief oud en (volgens o.a. TNO) conservatief. TNO heeft lopende dit onderzoek een update gepubliceerd (ThermoGIS 2.0). Gebruik van deze data zal naar verwachting leiden tot een toename in potentieel.
- Ontwikkeling & verplaatsing warmtevraag: warmtevraag is dynamisch. Het potentieel kan toenemen door gerichte warmtevraagontwikkeling bij aardwarmtepotentieel.
- Hogetemperatuuropslag: door middel van hogetemperatuuropslag kunnen aardwarmtebronnen ook in de zomer door draaien. De opgeslagen warmte kan in de winter worden geleverd.
- Warmtetransport over langere afstanden: momenteel is gekeken naar aardwarmte binnen 1 km van de vraag. Dit is voor warmtenetten een korte afstand. Bij grootschalige toepassing is het goed mogelijk om aardwarmte over langere afstanden te transporten. Daardoor zal meer aardwarmte gekoppeld kunnen worden aan warmtevraag, zeker in die gebieden waar ook nog eens grootschalige warmtetransportleidingen worden aangelegd.
- Andere voordelen ook kwantificeren: momenteel zijn twee voordelen gekwantificeerd (geologische risicoreductie en kostenbesparing door synergie, standaardisatie en efficiëntie). Door het kwantificeren van de andere voordelen zal de kostprijs verder dalen en daarmee het (economische) potentieel aan aardwarmte stijgen.

7 Opschaling en ontwikkelstrategie

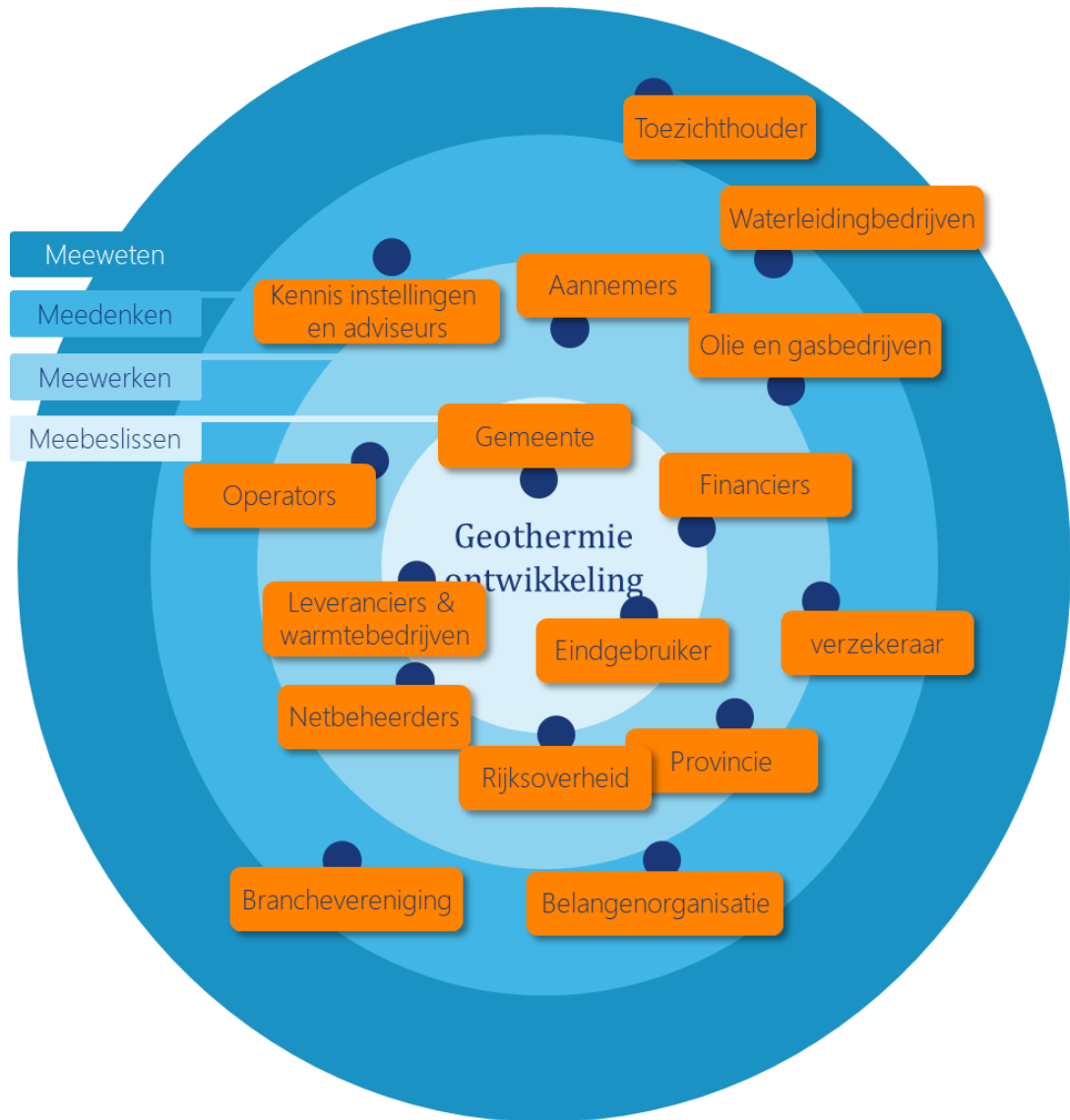
Naast de play-based portfoliobenadering is in dit onderzoek ook gekeken naar andere aspecten die kunnen bijdragen aan het verder opschalen van het gebruik van aardwarmte in Nederland. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van stakeholders, hun rollen nu en de verwachte veranderende rol richting 2050. Tevens worden de kansen en belemmeringen bekeken die door deze stakeholders worden waargenomen bij de verdere uitwerking van de play-based portfoliobenadering. Uiteindelijk wordt toegewerkt naar een ontwikkelstrategie.

7.1 HET SPEELVELD RONDOM WARMTE

Met deze krachtenveldanalyse bieden we inzicht in het speelveld rondom aardwarmte in warmtenetten en de plaats van partijen hierin. Deze analyse is uitgevoerd met input vanuit de drie bijeenkomsten die in het kader van deze studie zijn georganiseerd. Daarnaast zijn er nog een aantal aanvullende interviews geweest en is input vanuit het masterplan meegenomen. Het onderstaande figuur geeft een beeld van welk type partijen een rol spelen en op welk niveau deze betrokken zijn rondom de realisatie van aardwarmte en warmtenetten.

Het krachtenveld laat zien dat er meerdere beslissers zijn, ieder essentieel voor de realisatie van aardwarmte. Deze partijen vormen de kern om tot concrete planvorming te komen. De daaromheen liggende partijen spelen eerder een faciliterende rol. In het midden van de cirkel zitten de gemeente, financiers, eindgebruikers en leveranciers; op het grensvlak zit de netbeheerder. Uit de interviews komt duidelijk naar voren dat het organiseren van de warmtevraag, het bij elkaar brengen van de financiële middelen en het afdekken van risico's essentieel zijn dit geld voor zowel geothermieprojecten als warmtenetten in het algemeen. Daarbij is het belangrijk dat de intenties, belangen en prikkels van deze partijen optimaal zijn opgelijnd.

Het speelveld is divers: je hebt te maken met verschillende eindgebruikers en ogenschijnlijk verschillende belangen. Het is noodzakelijk de gemene deler in deze belangen te vinden. Dit vraagt een uitgebreide dialoog waarbij partijen hun intenties en belangen transparant maken. Het complexe aan dit proces is dat het initiatief veelal van één partij komt en andere partijen in eerste instantie zoekende zijn naar hun eigen belang en hierin afwegingen maken alvorens een standpunt in te nemen. Gezien de in eerste instantie grote onbekendheid en onzekerheid, ook met betrekking tot risico's, vraagt dit nader onderzoek. Warmtevisies en regionale energiestrategieën kunnen helpen bij het bieden van een duidelijk perspectief, vooral wanneer deze duidelijk verankerd worden in de vorm van bestemmingsplannen.

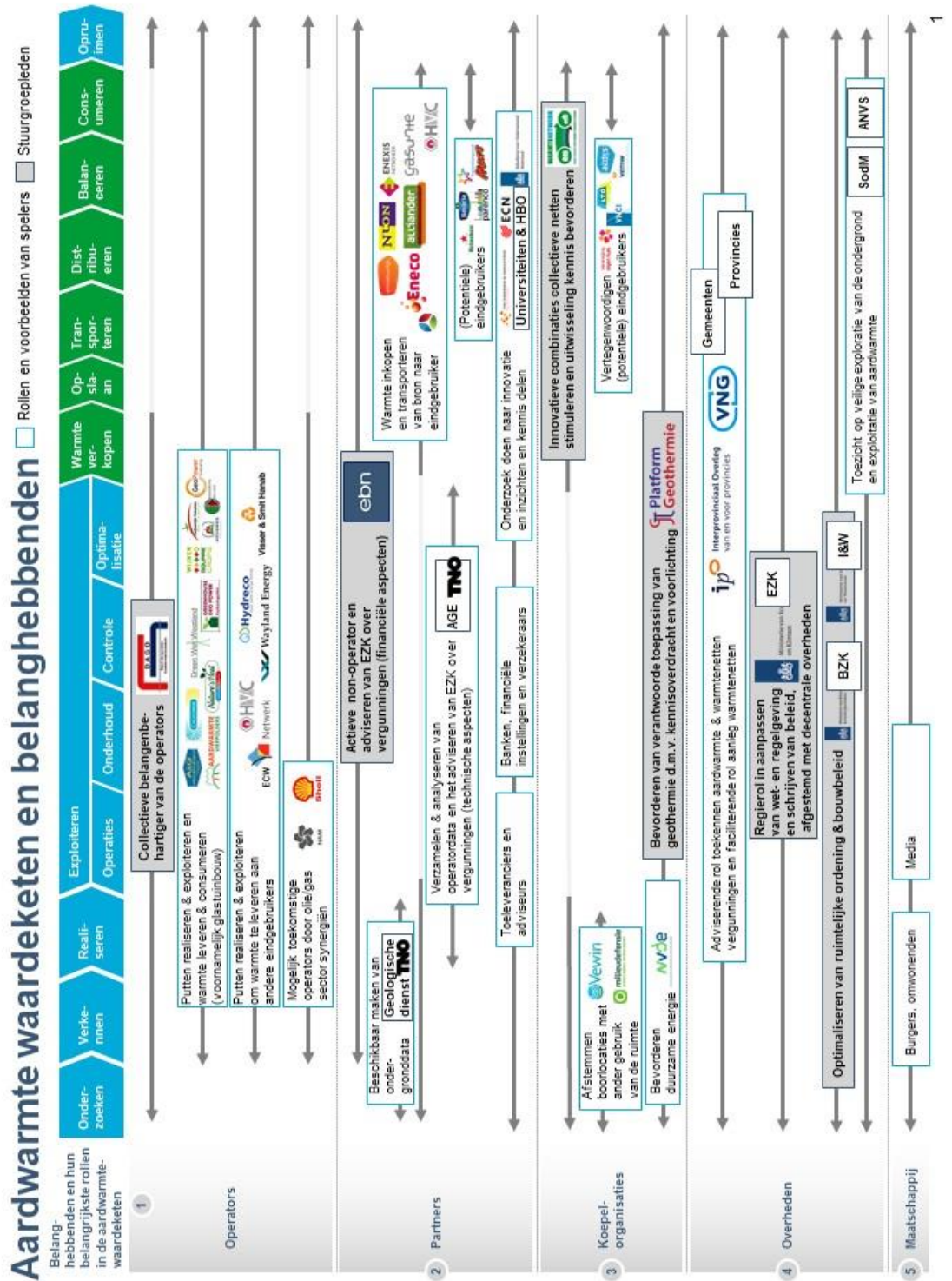


Figuur 7.1 | Indruk krachtenveld aardwarmte ontwikkeling, nog sterk in ontwikkeling

Onder meer de volgende specifieke partijen (maar niet uitsluitend deze) hebben nu al een duidelijke rol binnen het krachtenveld:

- rijksoverheid: BZK, EBN, EZK, IenM, LNV, RVO;
- lokale overheden: gemeenten, provincies, waterbeheerders;
- toezichthouder: SodM;
- vergunninghouders/uitvoerders (zgn. operators): HVC, Hydreco Geomec, Visser & Smit Hanab, Wayland Energy, ECW Netwerk, Engie, diverse tuinders;
- aannemers boringen: Daldrup, Drilltec, KCA Deutag, Huisman (+ Zublin), Visser & Smit Hanab;
- energiebedrijven: Ennatuurlijk, Nuon, Eneco, HVC;
- netwerkbedrijven: Gasunie, Alliander, Enexis, Stedin;
- eindgebruikers: Glastuinbouw, Industrie, gebouwde omgeving ;
- financiers: Banken, (lokale) overheid, private investeerders, corporaties ;
- kennisinstellingen: TNO, ECN part of TNO, TNO AGE, TNO DINO, Universiteit Utrecht, TU Delft, etc.;
- adviseurs: Ondergrond: Panterra, WEP, IF. Bovengronds: CE Delft, Royal Haskoning, DWA, AAB, Ekwadraat;
- brancheverenigingen: DAGO, Stichting Platform Geothermie, Stichting Warmtenetwerk, LTO Glaskracht.

Daarnaast zijn er nog vele andere partijen die in meer of mindere mate en rol spelen in de ontwikkeling van aardwarmte en warmtenetten. Stakeholders relevant voor de bovengrondse ontwikkelingen zijn niet uniek voor de analyse van de play-based portfoliobenadering. Een groot deel hiervan is verenigd in Stichting Warmtenetwerk. In het Masterplan Aardwarmte in Nederland dat door DAGO, SPG, SWN en EBN werd gepubliceerd is tevens een uitgebreider overzicht gemaakt (zie Figuur 7.2).



Figuur 7.2 | Aardwarmte warmteketen en belanghebbenden uit Masterplan Aardwarmte

7.1.1 Overzicht rollen partijen nu en richting 2050

Het Masterplan aardwarmte legt een grote ambitie neer voor aardwarmte in de toekomst. Doordat de sector aardwarmte zal gaan groeien heeft dit ook invloed op het krachtenveld. In onderstaande tabel hebben we de verandering in rollen van de verschillende stakeholders uiteengezet. Informatie in de onderstaande tabel is samengesteld met behulp van de werksessies, interviews, benoemde bronnen en eigen expert analyse vanuit Berenschot.

Tabel 7.1 | Verandering in rollen van stakeholders

| Partij | Rol nu | Rol richting 2050 |
|----------------|--|--|
| Rijksoverheid | In directe zin is de Rijksoverheid (BZK) verantwoordelijk voor ruimtelijke inpasbaarheid. Daarnaast hebben BZK en ook EZK een rol in de vorm van vergunning verstrekkers wat betreft geothermie exploratie en exploitatie en zijn daarmee ook beslisser. Ook speelt de rijksoverheid een grote rol in beleid en wetgeving en hiermee ook het wegnemen van knelpunten. Ook speelt de rijksoverheid een rol in het verzorgen van het goede financiële kader (SDE+) en het wegnemen van risico's met de garantie aardwarmte op de p90. Momenteel is de rijksoverheid nog oriënterend in de potentie en ambitie voor Nederland op het gebied van warmte zonder direct koers te kiezen. | De rijksoverheid geeft het kader dat geothermie nodig heeft: enerzijds handhaving van het bestaande succesvolle instrumentarium (SDE+ en RNES), anderzijds verbetering waar nodig: wetgeving en vergunningverlening die beter aansluit, organisatie van de warmtevraag en sturing op optimaal en kosteneffectief gebruik van de ondergrond. Mogelijk ligt de rol van de rijksoverheid ook in de vorm van EBN, in het helpen van kennis delen & opbouwen, risicospreiding en participeren in warmte/ aardwarmteprojecten. |
| Toezichthouder | Er zijn verschillende toezichthouders die een rol spelen. Toezichthouders focussen wat betreft de ondergrond momenteel op de risico's van boren in de ondergrond enerzijds en het - 'niet meer dan anders' principe wat betreft warmtelevering voor consumenten anderzijds. Met veranderend beleid/wetgeving is er voor toezichthouders de rol dit te vertalen in een juist toezicht. | Bij een groei van warmte schuift de rol van de toezichthouder naar het scheppen van een helder kader voor partijen die in deze markt opereren. Zodat eindgebruikers vertrouwen hebben in het systeem en onzekerheden omtrent interpretatie van wet en handhaving voor de exploitatie en ontwikkeling zo minimaal mogelijk zijn. |
| Provincies | Provincies hebben een vrij indirecte rol. Op sommige plaatsen participeren ze actief, soms zelfs risicodragend (mogelijk via energiefondsen of investeringsmaatschappijen), in de ontwikkeling van projecten. Over het | Voorals het gaat om toekomstige grotere warmtenetten en boringen is het logischerwijs mogelijk daar waar plannen regio overstijgend zijn, provincies hierin meedenken. Provincies krijgen al een grotere rol via de RES. |

| | | |
|---------------------------------|---|---|
| | algemeen zijn ze eerder verbindend voor overheden. | |
| Gemeenten | <p>Gemeenten hebben nu een rol in de vergunningverlening en mogelijk inbreng van kapitaal voor projecten. Deze rol is in veel gevallen nog vrij passief. Vanuit de omgevingswet en het klimaatakkoord wordt richting 2021 al een grotere verantwoordelijkheid bij de gemeenten neergelegd. Deze rol zit onder andere in het maken van warmtevisies en regionale energie strategieën (RES), waarin concreet wordt gemaakt hoe de warmtevraag wordt verduurzaamd.</p> | <p>Richting 2050 wordt een actieve rol verwacht van gemeenten in planvorming voor verduurzaming van de warmtevraag in hun gebied. Daarnaast zit er ook een uitvoerende en controlerende rol voor gemeenten op dit vlak. Dit kan ook betekenen het proactief organiseren van vraag en risicodragende participatie in warmteprojecten . Maar ook het aanbesteden van warmteprojecten en het opzetten van wijkgerichte aanpakken voor verduurzaming.</p> |
| Netbeheerders | <p>De huidige (energie) netbeheerders hebben momenteel nog vooral een rol in elektriciteits- en gasnetten waar er sprake is van een splitsing tussen transport en levering. Deze splitsing is niet aanwezig in de warmtesector, bovendien zijn netbeheerders (grotendeels) publiek/private instellingen wat de ontplooiing van warmte in een niet gesplitst systeem lastig maakt. De huidige rol bij warmte zit vaak in advies aan gemeenten en overheden over het inrichten van het energiesysteem en netten, daarnaast groeit deze richting van verbinder en regisseur van het energielandschap in hun verzorgingsgebied met inbegrip van warmte.</p> | <p>De rol van de (huidige) netbeheerders richting 2050 is nog niet duidelijk. De warmtetransitie en dan vooral de aanleg van grootschalige openwarmtenetten is een gigantische opgave. Hierbij is het belangrijk dat het publieke belang wordt gedekt en dat een kapitaalkrachtige partij met de juiste capaciteiten het net beheert. De huidige netbeheerders zouden hier een rol in kunnen spelen.</p> |
| Leveranciers/ energiebedrijf | <p>Projectontwikkeling, verantwoordelijk voor de levering van energie aan eindgebruikers. Rol in de vorming van het toekomstige warmtesysteem. Momenteel heeft bij warmte de leverancier nog een dubbelrol van producent, leverancier en netbeheerder in één.</p> | <p>Mogelijk wordt de rol van de leverancier in warmte bij grotere open netten in de toekomst vergelijkbaar met die bij gas en elektriciteit. Verantwoordelijk voor de levering (inkoop) van energie aan de eindgebruiker, vaak gecombineerd in een rol van programmaverantwoordelijke/shipper.</p> |
| Operators | <p>De huidige operators bevinden zich momenteel voornamelijk nog in de glastuinbouwsector. Hier is de rol het</p> | <p>Richting 2050 zullen operators te maken krijgen met een meer diverse groep van afnemers. Meer aandacht</p> |

| | | |
|---------------------------------|---|---|
| | realiseren en draaiende houden van aardwarmte bronnen. Waarbij de interactie plaatsvindt met een professionele goed georganiseerde glastuinbouwsector. | voor aardwarmte en opschaling kan ook meer vragen oproepen. Het boren in dichtbevolktere gebieden kan ook meer focus op risico's leggen. Dit vraagt om een professionele sector die aandacht besteedt aan stakeholdermanagement. |
| Eindgebruikers en omwonenden | Eindgebruikers spelen vooral een rol in de keuze tussen leveranciers van energie. Bij de totstandkoming van projecten ook in draagvlak en medewerking voor het organiseren van vraag. | De wensen en eisen met betrekking tot gewenste keuzevrijheid van eindgebruikers voor verschillende leveranciers speelt een rol in de inrichting en mogelijkheden voor de ontwikkeling van warmtenetten in het algemeen. Richting 2050 is het organiserend vermogen van eindgebruikers bepalend. |
| Financiers | Financiers spelen een essentiële rol in de totstandkoming van projecten. Hierbij zijn verschillende soorten financiers te onderscheiden. De eisen met betrekking tot het in kaart brengen en inschatten van risico's, maar ook de gewenste hoeveelheid ingebracht vermogen, spelen een grote rol op dit moment. Momenteel ligt de nadruk op het waken voor financiële risico's. | Richting 2050 zullen er meer projecten slagen en zal door een breder wordend portfolio en specialisatie van financiers ervaring op worden gedaan. Hierdoor krijgen de financiers naast het zorg dragen voor financiële risico's wellicht ook meer een rol in bredere zin: in het bijeenbrengen van partijen voor de ontwikkeling van projecten. |
| Brancheverenigingen | Zijn een verbindende factor tussen partijen. Spelen een rol in inventariseren van knelpunten en geven advies over beleid. Bieden een aanspreekpunt als klankbord van de sector. | Daar waar het zwaartepunt nu vooral nog ligt op het wegnemen van knelpunten, zal deze richting de toekomst in een groter wordende branche liggen in het verbinden van partijen en het ontwikkelen van standaarden en samenwerkingsvormen. |
| Kennisinstellingen en adviseurs | De rol van kennisinstellingen en adviseurs ligt in het bijdragen aan kennis voor innovatie, marktmodellen, warmteconcepten, systeemvraagstukken en beleid. Routekaarten, businesscases en toekomstverkenningen. | De rol richting 2050 is in de bredere zin niet veel anders. Het zwaartepunt ligt waarschijnlijk meer in de richting van optimalisatie van het systeem. Advies en kennisontwikkeling op standaarden. |

7.1.2 Kansen en belemmeringen

Eerder is door SPG (stichting platform geothermie) onderzoek gedaan naar de kansen en belemmeringen voor aardwarmte in het stedelijk gebied¹¹. Hier zijn verschillende knelpunten uit naar voren gekomen. Aan de kant van technische en financiële knelpunten voor het ontwikkelen van nieuwe warmtenetten worden het volloopriscio en de onzekerheid over de prestaties van aardwarmte genoemd. Met betrekking tot bestaande warmtenetten wordt benoemd dat het huidige temperatuurniveau van deze warmtenetten te hoog is voor aardwarmte. Het verlagen van de afgiftetemperatuur kan, maar daarvoor komt de rekening bij de eindgebruiker terecht. De eindgebruikers moeten namelijk hierdoor vaak extra isoleren en het afgiftesysteem eventueel aanpassen en brengt veel kosten met zich mee. Een andere mogelijkheid is om de temperatuur centraal op te waarderen met warmtepomp of anderszins. Daarnaast is het een probleem dat de markt van aanbieders nog beperkt is; er is een hoge drempel voor nieuwe toetreders op het gebied van expertise, daarnaast worden aanbieders niet altijd even goed gevonden.

De studie van SPG benoemt tevens de volgende nadelige aspecten van de huidige vormen van aardwarmte en warmtenetten:

- kleinschalig en (daardoor) minder robuust;
- langdurige periode van contractvorming;
- gebrek aan keuzevrijheid;
- gevoel van controleverlies;
- de doorlooptijd van vergunnings- en inspraakprocedures is lang;
- onvoldoende sterke incentives voor gebouweigenaren;
- warmte heeft nauwelijks plek in ruimtelijke ordening;
- de warmtewet dicteert de (maximum-)prijs.

Dit zijn algemeen benoemde knelpunten die bij de portfoliobenadering gedeeltelijk terugkomen, maar die duidelijk de huidige context van de warmtemarkt schetst.

7.2 OPSCHALING DOOR PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING

Om een beeld te krijgen hoe partijen tegen de portfoliobenadering aankijken hebben we hier tijdens interviews en de twee werksessies response over opgehaald. De gemene deler hierbij is dat aangegeven wordt dat dit iets is 'wat we gewoon moeten doen'. Daarin wordt echter wel duidelijk dat nog niet voor iedereen het bredere concept van de play-based portfoliobenadering even grijpbaar is. De methode wordt voornamelijk vereenzelvigd met geologische risicoreductie vanwege het herhaalpotentieel en bijgaande kostenreductie. De andere aspecten zoals in deze studie benoemd worden onder de noemer van de portfoliomethode, worden niet direct in samenhang beschouwd, maar meer als losse elementen.

7.2.1 Welke voordelen worden er geïdentificeerd en hoe worden deze gewaardeerd?

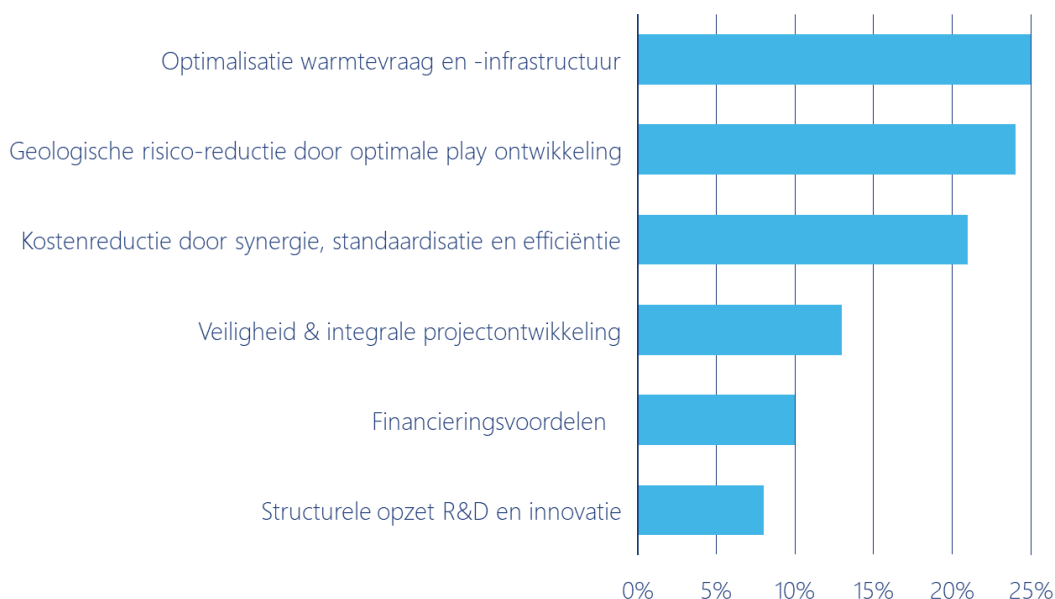
Bij de totstandkoming van de portfoliobenadering zijn de volgende zes voordelen benoemd:

- 1 geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling;
- 2 veiligheid & integrale projectontwikkeling;
- 3 kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie;
- 4 optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur;
- 5 structurele opzet R&D en innovatie;
- 6 financieringsvoordelen.

¹¹ SPG, Inventarisatie kansen en belemmeringen voor geothermie in stedelijk en landelijk gebied (2017)

Zie voor een verdere toelichting van de voordelen het rapport van TNO en EBN 'Play-based portfoliobenadering geothermie' uit mei 2018.

Belangrijkste voordelen van de portfoliobenadering



Figuur 7.3 | Voordelen geprioriteerd via de mentimeter door aanwezigen van de eerste werksessie (operators en warmtebedrijven, zie ook bijlage 6)

In de werksessies hebben we de operators en warmtebedrijven gevraagd om de zes voordelen te scoren naar belangrijkheid. Hieruit kwamen twee voordelen het sterkst naar voren: 'optimaliseren van de bovengrondse warmtevraag- en infrastructuur' en 'geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling'. Vooral de warmtebedrijven vinden het optimaliseren van de warmtevraag het meest belangrijke voordeel. De operators zien als belangrijkste voordeel van de portfoliobenadering de geologische risicoreductie.

Beide groepen vonden kostenreductie het derde belangrijkste thema. Er was discussie over hoe ver de kosten gereduceerd kunnen worden. Sommigen gaven aan dat een deel van de kosten vrij vast staan, anderen zagen een groot potentieel van kostenreductie. Daarnaast was het voor partijen nog niet duidelijk bij welk kostenniveau aardwarmte nu wel of niet concurrerend is met andere (duurzame) warmtebronnen.

De andere voordelen werden daarna als volgt gerangschikt: 'voortdurend verbeteren door integrale projectontwikkeling', 'financieringsvoordelen' en tot slot 'mogelijkheid tot structurele R&D en innovatie'.

Het lijkt erop dat partijen in eerste instantie de slagingskans van het aardwarmte project het meest belangrijk vinden en als randvoorwaarde zien: oftewel gaan we genoeg warmte vinden in de ondergrond en kunnen we die ook optimaal leveren aan de bovengrondse afnemers. Dit komt overeen met de fase waarin aardwarmte zit, een klein groepje koplopers wil aardwarmte beschikbaar maken. Direct hierna vindt men het belangrijk om voor deze projecten dan ook de

kosten te reduceren om in het ontwikkelende grotere speelveld van duurzame warmte te kunnen concurreren met andere warmtebronnen.

Partijen hebben ook de volgende voordelen/aandachtspunten benoemd voor de portfoliobenadering.

1. Synergievoordelen andere activiteiten en voorkomen interferentie in de ondergrond

Momenteel worden aardwarmteprojecten als individuele projecten ontwikkeld. Elk nieuw systeem legt een beslag op een deel van de ondergrondse ruimte. Elk project afzonderlijk wordt geoptimaliseerd. Door het individuele karakter is het niet mogelijk om bij deze optimalisatie ook rekening te houden met toekomstige projecten. Bij play-based portfoliobenadering is dit wel mogelijk. Wanneer een sub-play als geheel wordt ontwikkeld, kan van tevoren worden nagedacht over een optimaal bronnenplan, zodat de bodem optimaal en duurzaam wordt benut.

Behalve aardwarmte vinden er nog tal van andere activiteiten plaats in de ondergrond, zoals ondermeer waterwinning en het winnen van delfstoffen en olie- en gaswinning. Elke ondergrondse activiteit levert informatie op over de ondergrond, welke wellicht van nut kan zijn voor andere ondergrondse toepassingen (Figuur 7.1). Ook is het wellicht mogelijk om activiteiten te combineren. Een mogelijkheid zou bijvoorbeeld kunnen zijn om olie en/of aardgaswinning te combineren met aardwarmte.

In de portfoliobenadering zouden deze activiteiten dus meegenomen kunnen worden om interferentie te voorkomen en eventueel keuzes op te maken. Daarnaast kan kennis van de ondergrond opgedaan in een van deze projecten ook gedeeld worden met andere activiteiten, waardoor kennis beter benut wordt.

2. Draagvlak en betrokkenheid stakeholders en omwonenden

Door gezamenlijk op te trekken wordt het speelveld overzichtelijker. Hierdoor kan draagvlak beter worden bewerkstelligd en kan de dialoog met de andere stakeholders makkelijker gevoerd worden. Daarnaast merken partijen op dat draagvlak zeer belangrijk is voor de verdere ontwikkeling van aardwarmte.

Gedurende de realisatie heeft een aardwarmteproject een significante impact op de directe omgeving. Het is van belang om alle partijen (omwonenden, nabijgelegen bedrijven, natuurverenigingen etc.) in een vroeg stadium bij het project te betrekken en goed voor te lichten. Bij play-based portfoliobenadering kan van tevoren een (deels) generiek voorlichtingsprogramma worden opgezet. Ervaringen vanuit een project kunnen worden meegenomen naar een volgend project.

3. Stroomlijnen wetgeving en vergunningverlening

Dit voordeel zou benut kunnen worden als de partijen gezamenlijk afspraken kunnen maken met de overheid. Hierbij wordt gedacht aan afspraken over datadeling van alle ondergrondse activiteiten, inrichtingsvraagstukken (In directe zin is de Rijksoverheid (BZK) verantwoordelijk voor ruimtelijke inpasbaarheid), aanbestedingsregels, EU-wetgeving en mijnbouwvergunningen. Voor elk aardwarmte-project is bijvoorbeeld eerst een opsporingsvergunning nodig en later een winningsvergunning (het is hierbij mogelijk een opsporingsvergunning voor een groter gebied vergund te krijgen met hier binnen meerdere winningsvergunningen). Het verkrijgen van een vergunning is tijdrovend en vergt de nodige voorbereidingen en afstemmingen met onder andere SodM en EZK. Play-based portfoliobenadering kan dit proces stroomlijnen doordat ervaringen uit

voorgaande projecten kunnen worden meegenomen en doordat EZK en SodM beter bekend raken met de aardwarmteoperators.

De genoemde voordelen zijn momenteel nog niet verder in detail uitgewerkt. Het wordt aanbevolen om bij het door ontwikkelen van de play-based portfoliobenadering bovengenoemde voordelen verder uit te werken in ontwikkelplannen concreet vorm te gaan geven

Vanuit de operators wordt aangegeven dat een van de kernpunten van de play-based portfoliobenadering, het delen van informatie om zo geologische risicoreductie te bewerkstelligen, tot op zekere hoogte al via DAGO en TNO AGE wordt gedaan. Hierbij wordt toegevoegd dat het delen van kennis op een meer integrale en planmatigere manier wel voordelen biedt. Ondanks dat de grote meerwaarde ervan wordt onderkend, wordt de play-based portfoliobenadering op dit moment niet als doorslaggevende aanpak in de opschaling van aardwarmte gezien. Dit komt niet doordat de voordelen op zichzelf niet erkend worden, maar eerder omdat de voornaamste drempel voor de ontwikkeling van aardwarmte en (duurzame) warmte(netten) in het algemeen hiermee niet wordt weggelaten: het bijeenbrengen van de juiste omvang van de duurzame warmtevraagportfoli'o's (met name in de gebouwde omgeving)..

7.2.2 Hoe komt samenwerking tot stand?

Algemeen

Uit de werksessies kwam naar voren dat er al veel samen wordt gewerkt, op technisch inhoudelijk vlak en op plekken waar concrete projecten al ondernomen worden. Partijen geven met name aan dat het in de opstartfase ingewikkeld is om de partijen bij elkaar te krijgen en een ervaren trekker van het project te vinden. Sommige partijen stellen voor dat de overheid (lees: gemeenten) een verantwoordelijkheid moeten krijgen in het organiseren van de warmtevraag en creëren van warmtenetten en dus het opstarten van aardwarmte projecten.

Samenwerken in de play-based portfoliobenadering

Zoals hierboven al aangegeven delen operators al data met elkaar, maar kan dit nog beter. Het heikele punt is echter het delen van (meer confidentiële) data van risicovolle boringen: de eerste boringen in een sub-play. Marktpartijen willen wel kunnen profiteren van het risico dat zij nemen, daarom wordt deze data nu nog niet graag (direct) gedeeld met andere (concurrerende) operators. Voorgesteld wordt om bijvoorbeeld een gezamenlijk (publiek) instrument of faciliteit in te richten, waaruit operators voor exploratieboringen terecht kunnen. Via dit instrument kunnen de verkregen data en opgedane expertise en kennis intensief worden gedeeld. Op deze wijze kan dan eerder een nieuwe sub-play ontwikkeld worden en kunnen ook andere boringen in deze sub-play door meerdere operators gestart worden.

7.2.3 Wat zijn de belangrijkste aandachtspunten/waar liggen belemmeringen?

Partijen zien de play-based portfoliobenadering als een goede methode om de technische en financiële slagkracht van de ontwikkeling van aardwarmteprojecten te verbeteren en versnellen. In de werksessies en interviews met de verschillende stakeholders kwam naar voren dat de play-based portfoliobenadering geen antwoord geeft op de meest belangrijke vraag bij ontwikkeling van (aardwarmte in) warmtenetten: het organiseren en bijeenbrengen van de (duurzame) warmtevraag. Andere belangrijke vragen die hiermee verband houden, waren het adequaat afdekken van de risico's voor de gemeenschap en het organiseren van draagvlak.

Wie neemt de lead in het organiseren en bijeenbrengen van de duurzame warmtevraag?

De grote vraag die in de werksessies voortdurend naar voren kwam was: welke partij de vraag naar collectieve duurzame warmte via aardwarmte moet organiseren. Binnen de glastuinbouw is deze vraag minder van belang omdat het speelveld daar overzichtelijker is, maar in de gebouwde omgeving zijn veel meer belanghebbenden (woningbouwcorporaties, huurders, woningeigenaren, gemeente, etc.).

Sommige partijen stellen een cafetaria model voor samenwerking in aardwarmte projecten voor. Hierbij kan elke belanghebbende kan afwegen in welke rol zij betrokken wil zijn (als aandeelhouder, afnemer, leverancier, etc.). Deze mogelijke rollen liggen dan relatief vast.

Daarnaast is er vanuit de afnemers niet direct een specifieke vraag naar geothermische warmte. In eerste instantie vragen afnemers om verduurzamingsopties voor hun warmtevoorziening; een van de opties hiervoor is collectieve warmte; een van de opties voor collectieve warmte is vanuit een aardwarmtebron (vervolgens is in de meeste aardwarmte projecten ook nog een andere hulpbron nodig voor piekmomenten). Warmtevisies en regionale energiestrategieën bieden hiervoor een belangrijk aanknopingspunt.

Draagvlak, beeldvorming en risico's

Provincies en gemeenten geven aan dat risico's groter kunnen zijn dan het directe projectrisico. Dit is met het oog op de huidige problemen en gevoeligheden rondom de gaswinning, een punt wat zeker aangestipt moet worden om het draagvlak voor aardwarmteboringen te vergroten. De play-based portfoliobenadering geeft hier als nu gepresenteerd, behalve sterke risicoreducties, niet direct een oplossing voor.

Ook wordt benoemd dat vanwege de onzekerheden en risico's het financieren complex is en vaak met veel partijen gebeurt. De portfoliobenadering kan hieraan wel direct bijdragen.

Daarnaast wordt aangegeven dat deze studie wel een eerste aanzet doet om de gebieden in kaart te brengen waar aardwarmte gemakkelijk ontwikkeld kan worden. Maar het speelveld is volop in ontwikkeling en de resultaten van deze studie berusten op aannames. Daarnaast kunnen ook lokale belangen zorgen voor een andere uitwerking, lokaal draagvlak is essentieel om te komen tot een succes. Lokale ambitie en organiserend vermogen kan een sterke drijvende kracht zijn. Dit zorgt ervoor dat op plekken die in deze studie als niet direct opportuun worden weergegeven, wel aardwarmte wordt ontwikkeld, en vice versa. Partijen geven aan dat ze het belangrijk vinden dat deze ruimte tussen theorie en praktijk gaat worden ingevuld.

Vergunningen

Het komt voor dat vergunningen wel verleend worden, maar door de vergunningaanvrager niet worden uitgevoerd: dan zit dit gebied als het ware op slot voor ontwikkeling van aardwarmte ook voor andere partijen.

7.3 HOE KUNNEN VERSCHILLENDE VOORDELEN WORDEN INGERICHT?

De toepassing en uitwerking van de play-based portfoliobenadering op de ontwikkeling van aardwarmte staat nog aan het begin van zijn ontwikkeling. In de sessies met de verschillende partijen zijn de volgende aandachtspunten en ideeën besproken om tot verdere invulling van de play-based portfoliobenadering te komen. De werksessies hadden het karakter van een initiële discussie en onderstaande punten betreffen met name goede suggesties om te overwegen en uit te diepen bij de verdere toepassing en uitwerking ervan:

- 1 Geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling

- a Vergunningen zouden per sub-play aangevraagd en verleend kunnen worden. Hierdoor kan een operator een optimale leercurve in de sub-play hebben.
- b Data zou via een opendatasysteem kunnen worden gedeeld bijvoorbeeld bij een partij als TNO. Daarnaast zou ook de olie en gas data geanalyseerd kunnen worden voor aardwarmte boringen. Witte vlekken plan (SCAN) voor aardwarmte boringen, helpt ook om de kennis van de ondergrond te vergroten. Door deze voorbeelden wordt de databron groter en beter te gebruiken voor alle operators.
- 2 Voortdurend verbeteren door integrale projectontwikkeling
 - a Er zou een soort aardwarmte verkaveling kunnen plaatsvinden, waar iedere operator een aantal kavels krijgt waarbij de operator verzekerd is van een pipeline aan projecten en kan er voortdurend geleerd worden.
- 3 Kostenreductie door synergie, efficiëntie en standaardisatie
 - a Up-time moet worden vergroot en de logistiek zal beter moeten worden gebalanceerd, bijvoorbeeld door vaste rigs voor aardwarmte boringen en het werken met vaste toeleveranciers.
 - b Mogelijk joint ventures opstarten met andere aardwarmte partijen.
- 4 Optimaliseren van de bovengrondse warmtevraag- en infrastructuur
 - a Aardwarmte zou een plek kunnen krijgen in de gemeentelijke bestemmingsplannen. Warmtevisies en regionale energiestrategieën zoals in voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord benoemt, dienen aardwarmte te beschouwen vanuit de portfoliomethode.
 - b De regierol voor het ontwikkelen van aardwarmteprojecten zou bij een vaste partij kunnen komen te liggen.
 - c Combinatie aardwarmte en hoge temperatuur opslag zou mogelijk gemaakt kunnen worden, waarbij interferentie in de ondergrond moet worden voorkomen.
 - d Methodiek voor het verlenen van vergunningen kan worden geoptimaliseerd, waardoor het gemakkelijker wordt om een aardwarmte project te ontwikkelen.
 - e Zoek synergie met andere duurzame warmtebronnen en -opties bij de ontwikkeling van warmteinfrastructuur, aardwarmte en warmteprojecten.
- 5 Mogelijkheid tot structurele R&D en innovatie
 - a Nog meer data swaps tussen DAGO, de aardwarmte operators, TNO, de NAM en de overige olie en gas operators.
 - b Een structurelere nationale innovatie-agenda.
- 6 Financieringsvoordelen
 - a Het 'first-movers' risico zou financieel afgedekt moeten worden, door een algemeen instrument, subsidies of een verzekering.
 - b De bekendheid van aardwarmte bij banken zou moeten worden vergroot.
 - c Een langdurig, stabiel subsidiebeleid is essentieel voor het investeringsklimaat in warmte.

7.4 ONTWIKKELSTRATEGIE

Uit de resultaten van deze studie blijkt duidelijk dat de voordelen van een play-benadering aanzienlijk zijn. Het verzilveren van deze voordelen is echter nog niet vanzelfsprekend in de huidige markt. De randvoorwaarden voor, en routes naar, verzilvering kunnen globaal als volgt omschreven worden:

- De informatiewinst die behaald wordt door de exploratie dient ten goede te komen aan de partij die investeert in die exploratie. Die informatiewinst geldt met name voor de betreffende sub-play. Als men het play-based portfoliovoordeel maximaal wil verzilveren zal de

investeerder/operator daarom de aardwarmte exploratievergunning over een zo groot mogelijk deel van het relevante sub-play gebied in bezit moeten hebben.

- De voordelen van de play-benadering zouden ook deels kunnen worden verzilverd door diepe kennisuitwisseling tussen operators. Een andere optie is dat een van de partners in de Joint Venture die in het aardwarmteproject investeert een kennispartner is, en voor uitwisseling zorgt van kennis en ervaring tussen projecten. Beide routes zijn nuttig en nodig, vooral ook voor sub-play en operator overstijgende kennisuitwisseling. Maar daarnaast stellen wij dat het voor de ontwikkeling van aardwarmte wenselijk is dat er één of een beperkt aantal partijen per sub-play zijn die het gebied ontwikkelen. Ook zijn er andere samenwerkingsvormen als het kruisinvesteren bij elkaar in projecten van operators om de kennis van (sub)plays diep uit te wisselen zoals dit bijvoorbeeld om die reden ook in de olie- en gassector plaats vindt. .
- Om play-based portfoliovoordelen te behalen moeten er binnen het sub-play gebied een vraag zijn naar geothermische warmte van een omvang die meerdere doubletten omvat.
- Om een significant kostenvoordeel te halen dienen de putten snel na elkaar gerealiseerd te worden. Daarom moet de warmtevraag gecontracteerd zijn voorafgaand aan de eerste boring. Dit impliceert ook dat een eventueel noodzakelijk warmtenet er al dient te liggen voordat het aardwarmte doublet is gerealiseerd, of binnen korte tijd daarna. Het afstemmen en synchroniseren van de ontwikkel-windows van de ondergrond, andere warmtebronnen, warmtenetten en de warmtevraag zijn essentieel.
- Gezien de inherente onzekerheid over de opbrengst van een aardwarmte doublet voorafgaand aan de feitelijke realisatie moeten er alternatieven in beeld of al gerealiseerd zijn. Aardwarmte zal daarom meestal een onderdeel zijn van een mix van bronnen op een net.
- Dit leidt tot een aantal concrete en goed in te richten scenario's:
 - a Bestaand net: er is een omvangrijk (regionaal > 100MW_t) warmtenet aanwezig dat gevoed wordt met een warmtebron die (ten dele) uitgefaseerd kan worden. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor in Utrecht, Amsterdam-Oost en Breda/Tilburg.
 - b Nieuw net: er wordt een nieuw omvangrijk (regionaal > 100 MW_t) net aangelegd waarin ruimte is voor aardwarmte. Dit speelt bijvoorbeeld bij de warmterotonde in Zuid-Holland. Zo'n groot net vereist vóór de aanleg de gecontracteerde langdurige zekerheid van de aanwezigheid van grote bronnen van (liefst CO₂ neutrale) warmte. Dat betekent dat industriële restwarmte hier een belangrijke springplank is voor de ontwikkeling van aardwarmte. . Vooral nog blijkt het contracteren van de grote vraag die nodig is om zo'n net te kunnen financieren echter de grootste uitdaging .
 - c Het 'stap-voor-stap' scenario: er worden eerst een aantal mini-warmtenetten aangelegd op lokale kleinschalige bronnen (bodemenergie, aquathermie, restwarmte van datacentra, ondiepe aardwarmte, etc.). Op het moment dat er voldoende schaal grootte is kan een groter net de kleine netten aan elkaar koppelen, en kan een aantal aardwarmte doubletten aangelegd worden. De bestaande installatie kan dan voor piek/middenlast zorgen en als fall back optie dienen voor het geval de opbrengst van aardwarmte tegenvalt. Voorwaarde is dan wel dat de mininetten passen in het eindplaatje.
 - d Het project voor project scenario: er moeten dan binnen de sub-play grotere warmtevragers aanwezig zijn die van voldoende omvang zijn om een aardwarmte project te kunnen dragen. Denk bijvoorbeeld aan een tuinbouwgebied, een ziekenhuis, een universiteitscampus of een industriële warmtevragers. De trend in de aardwarmte markt is naar steeds grotere projecten. Dat maakt dat het steeds vaker voorkomt dat vraag gebundeld moet worden. Dan komen we terug bij optie b) of c).
 - e Allerlei combinaties van a t/m d.

- Marktordening: als een sub-play door één aardwarmte operator wordt ontwikkeld, dan is deze partij voor dat gebied een natuurlijk monopolist. Dat betekent dat het ofwel door een overheidspartij moet worden gerealiseerd en geëxploiteerd (vgl. drinkwatervoorziening bijvoorbeeld), ofwel dat de markt goed gereguleerd moet worden (zoals voor consumenten in de warmtewet), ofwel dat er een tenderprocedure wordt gestart conform het ‘wind op zee’ model. Een andere optie is dat er een open warmtenet komt, waarbij het net in publieke handen is, en dat aardwarmte gaat concurreren tegen andere leveranciers van warmte op hetzelfde net. Dat betekent nog steeds wel dat deze afzet moet zijn gecontracteerd voorafgaand aan de realisatie om een play-voordeel te behalen.
- Huidige situatie: de ‘betere’ aardwarmte gebieden zijn al voor een groot deel belegd met opsporingsvergunningen. Vaak zijn er verschillende vergunninghouders binnen een play. Of en hoe hier een play-benadering kan worden toegepast is aan de bestaande vergunninghouders. Een logische optie lijkt het selecteren van één operator die namens de vergunninghouders in het gebied het totale gebied gaat ontwikkelen.

Dit leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Het strekt tot de aanbevelingen om bij de verlening van mijnbouwvergunningen het play-benadering aspect meer mee te gaan wegen.
- Geef bij de invulling van SCAN de voorkeur aan gebieden waar al een warmtenet is met een bron die op relatief korte termijn deels uit gefaseerd kan worden (Amsterdam/Diemen, Utrecht, Breda/Tilburg).
- Werk een aantal ontwikkelscenario's zoals genoemd onder b, c en d concreet uit voor voorbeeldlocaties. Trek hier lessen uit en geef deze informatie mee aan gemeentes die plannen moeten maken voor de gasloze gebouwde omgeving.
- Bestudeer de voor- en nadelen van de diverse opties om het natuurlijk monopolie van een aardwarmte sub-play operator te behandelen. Kies op basis daarvan voor de best werkbare oplossing die zo veel mogelijk ruimte biedt aan de bestaande markt.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 CONCLUSIES

Bovengrond

- De huidige warmtevraag in Nederland is 960 PJ per jaar. De gebouwde omgeving en glastuinbouw heeft hierin een aandeel van circa 515 PJ. Dit is warmtevraag die gebruik maakt van temperaturen onder de 100 graden.
- Met in achtname van de gedane aannames, blijkt uit een analyse met CEGOIA dat van de 515 PJ aan warmtevraag in gebouwde omgeving, ongeveer 270 PJ ingevuld kan worden met collectieve warmte-opties. De overige warmte kan worden ingevuld met individuele opties.
- Aardwarmte is één van de technologieën voor het invullen van de warmtevraag van de collectieve warmte-opties. Aardwarmte wordt, net als de meeste andere warmtebronnen, in combinatie met andere warmtebronnen ingezet.
- De mogelijkheden van collectieve warmte-opties zijn verspreid over het hele land. De mogelijkheden van restwarmte en aardwarmte zijn echter geografisch bepaald en niet overal mogelijk.
- De werkelijke, lokale mogelijkheden van aardwarmte worden sterk beïnvloed door de mogelijkheden die alternatieven hebben. Het gaat daarbij om individuele en collectieve alternatieven, zoals individuele warmtepompen, biomassacentrales of lagetemperatuuraardwarmte. Welke optie uiteindelijk op welke locatie toegepast gaat worden, is afhankelijk van lokale omstandigheden.

Ondergrond

- Op basis van structurele elementen, afzettingsmilieu en karakteristieken is de play Rotliedend onder te verdelen in 28 sub-plays. Trias is onder te verdelen in 11 sub-plays en Jura-Krijt is onder te verdelen in 8 sub-plays.
- Binnen een sub-play vertoont de ondergrond sterke overeenkomsten in afzettingsmilieu en geologische geschiedenis, en hieruit volgend in geologische eigenschappen, zodat een put binnen dit gebied een hoge voorspellende waarde heeft op volgende putten binnen de sub-play.
- De totale hoeveelheid warmte die in de drie plays aanwezig is (Heat In Place, HIP), is ingeschat op 370.000 PJ.
- Ingeschat is dat binnen de drie plays 50.000 PJ aan warmte gewonnen kan worden (winbare warmte, Recoverable Heat, RH).
- De winbare warmte binnen 1 km afstand van de warmtevraag en gewonnen in 100 jaar bedraagt 300 PJ per jaar.
- Er zou nog meer warmte gewonnen kunnen worden uit andere plays zoals het Dinantien en het Tertiair. Deze zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Play-based portfoliobenadering

In deze studie is de play-based portfoliobenadering toegepast, om een beeld te krijgen van de meerwaarde ten opzichte van individuele ontwikkeling van aardwarmte. Onderstaande geeft binnen de gehanteerde uitgangspunten een opsomming van de meerwaarde:

- Aan de hand van een kostenindicatie van aardwarmte, zonder het gebruik van de play-based portefeuilenadering, is er een potentieel voor aardwarmte van circa 8 PJ, uitgaande van de beschouwde plays en relatief oude gegevens hierover.
- Met inbegrip van de play-based portefeuilenadering neemt het potentieel een factor zeven toe, tot circa 62 PJ.
- Bij ontwikkeling van het gehele potentieel is ingeschat dat tussen de 33 en 62 PJ gerealiseerd wordt.
- De Netto Contante Waarde bij play-based portefeuilenadering is ingeschat op 1.400 M€.
- De Netto Contante Waarde bij individuele ontwikkeling is ingeschat op -600M€.
- Ten opzichte van individuele ontwikkeling levert play-based portefeuilenadering een meerwaarde op van 2.000 M€. Bij het inschatten van deze meerwaarde zijn twee voordelen meegenomen, namelijk: geologische risicoreductie en kostenbesparing door synergie, standaardisatie en efficiëntie. Andere voordelen zijn nog niet kwantitatief meegenomen.
- De markt geeft de volgende voordelen aan als meest belangrijk: geologische risicoreductie (voornamelijk operators) en optimalisatie van warmtevraag en infrastructuur (voornamelijk warmtebedrijven).

8.2 AANBEVELINGEN

- Om optimaal gebruik te kunnen maken van de voordelen van de portefeuilenadering wordt aanbevolen te overwegen elke sub-play te laten ontwikkelen door één of een beperkt aantal operators die hun data en kennis over de projecten diep met elkaar delen.
- Data- en kennisuitwisseling kan verder bijdragen aan optimale play-ontwikkeling. Dit kan door kennisuitwisseling tussen operators, of door kennispartners te laten deelnemen als partner in samenwerkingsverbanden voor verschillende (sub)plays. Voor commerciële partijen kan er bijvoorbeeld een incentive komen om data en kennis te delen. Een andere mogelijkheid is dat de overheid investeert in kennisontwikkeling en -deling. Het is van belang op te merken dat het hierbij gaat om data- en kennis over alle ins en outs van de projectontwikkeling, dus ook de gegevens die normaliter veelal in het confidentiële domein liggen.
- Voor elk aardwarmteproject (bestaande uit één of meerdere doubletten) wordt momenteel eerst een opsporingsvergunning aangevraagd en aansluitend een winningsvergunning. Het verlenen van een enkelvoudige vergunning of vorm van concessie voor aardwarmte sluit mogelijk beter aan bij de play-based portefeuilenadering. Het heeft hierbij de voorkeur dat zo'n vergunning of concessie voldoende ruimte biedt zodat er meerdere doubletten gerealiseerd kunnen worden, idealiter binnen (een deel van) een sub-play.
- Regelgeving met betrekking tot concessies voor warmtenetten enerzijds en vergunningverlening voor aardwarmte anderzijds sluit momenteel niet optimaal op elkaar aan. Verder onderzoek naar de gewenste situatie en regelgeving is aan te bevelen.
- De bovengrondse warmtevraag is meegenomen in de analyse, maar de organisatie daarvan niet. Voor opschaling van aardwarmte zal er ook een uitgebreid portfolio aan warmtevraag moeten komen. Bovendien is aardwarmte slechts een van de warmtebronnen die de uitbreiding of aanleg van een warmtenet voeden. De ontwikkeling van aardwarmte dient als onderdeel van de ontwikkeling van een bronnenstrategie te worden gezien. Met het oog op te vormen regionale energiestrategieën en warmtevisies, zoals benoemd in het voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord, zullen warmtebedrijven hierin samen met lokale en regionale overheden moeten optrekken en zo in samenhang aardwarmte aan de hand van een brede portefeuilenadering kunnen ontwikkelen.

- De play-based portfoliobenadering is toegepast op een deel van de warmtevraag en op een deel van de ondergrond. Geadviseerd wordt om in een volgende stap ook de industriële warmtevraag en het Tertiair mee te nemen. Momenteel loopt er ook een Green Deal Ultradiepe Geothermie met een actief exploratiewerkprogramma en start de uitvoering van de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN). Wanneer hieruit nieuwe exploratiedata beschikbaar komen, kan deze ook worden meegenomen in de analyse.
- Bij de toepassing van play-based portfoliobenadering zijn twee voordelen meegenomen, namelijk geologische risicoreductie door optimale play-ontwikkeling en kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie. Aanbevolen wordt om bij een volgende stap te onderzoeken of de andere voordelen ook gekwantificeerd kunnen worden.
- TNO heeft lopende dit onderzoek ThermoGIS 2.0 gepubliceerd. Geadviseerd wordt om op basis van ThermoGIS 2.0 een update te doen van de analyse. Dit geeft naar verwachting een opwaartse bijstelling van het economische potentieel van aardwarmte ten opzichte van die waar in deze studie nu mee is gerekend.

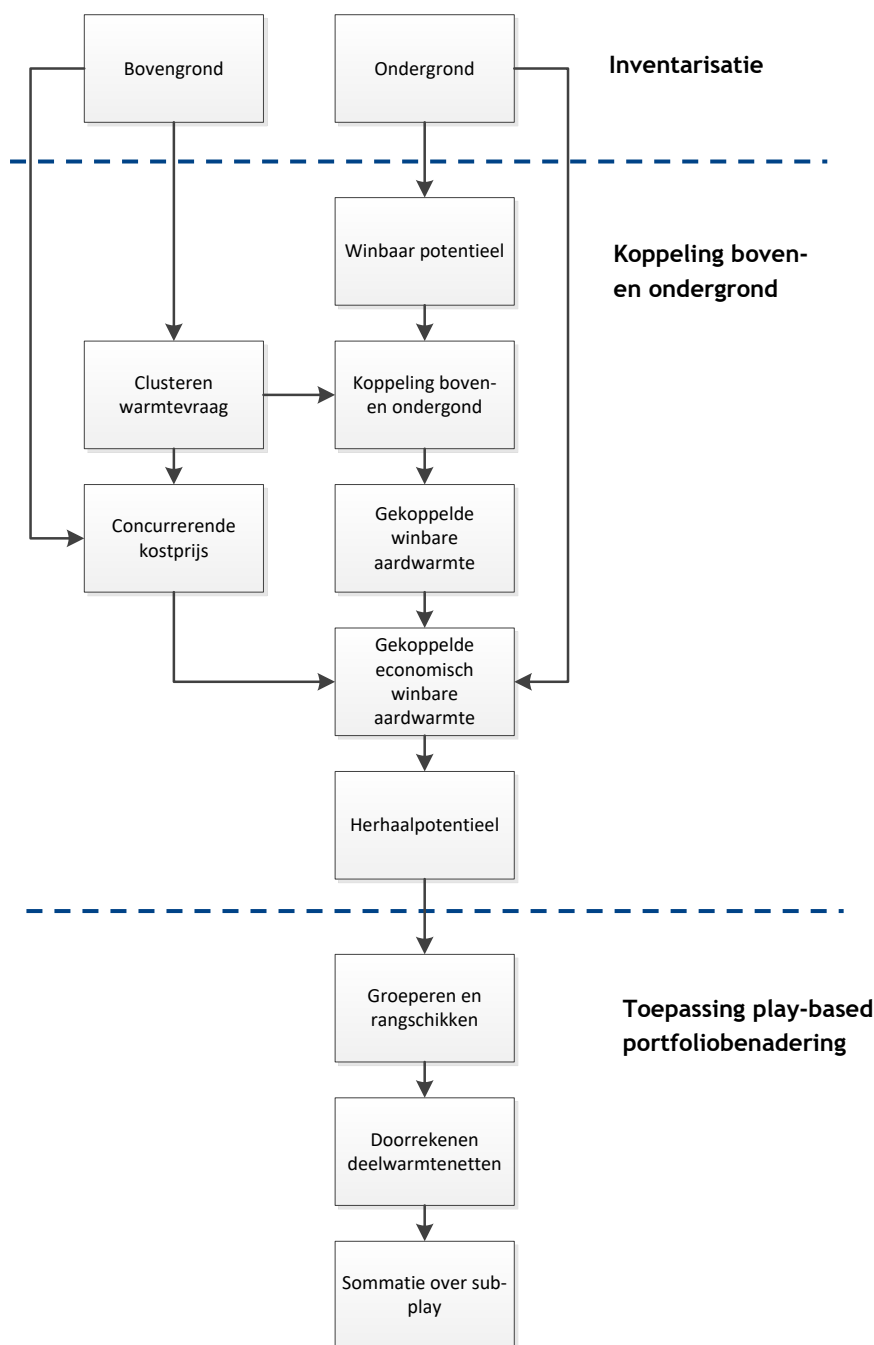
Literatuurlijst

- Adrichem Boogaert, H. van, Kouwe, H., Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, 1993
- Bailey, W., Taking a Calculated Risk, Oilfield Review, 2000
- Duin, E. et al., Subsurface structure of the Netherlands - results of recent onshore and offshore mapping, Netherlands Journal of Geosciences, 85-4, 2006
- Geluk, M. et al., Development of the Permo-Triassic succession in the basin fringe area, southern Netherlands, p.57 - 78, 1996
- Geluk, M., Stratigraphy and tectonics of Permo-Triassic basins in the Netherlands and surrounding areas, proefschrift, 2005
- Geluk, M., Triassic, Geology of the Netherlands, p. 63-84, 2007
- Herngreen, G., Wong, T., Cretaceous, Geology of the Netherlands, p. 127 - 150, 2007
- Kombrink, H. et al., New insights into the geological structure of the Netherlands; results of a detailed mapping project. Netherlands Journal of Geosciences, 91-4, 2012
- Kramers, L. et al., Direct heat resource assessment and subsurface information systems for geothermal aquifers; the Dutch perspective, Netherlands Journal of Geosciences, 91-4, 2012
- Lukawski, M.Z. et al., Cost analysis of oil, gas, and geothermal well drilling, Journal of Petroleum Science and Engineering 118, 2014
- Mijnlief, H. et al., Rapportage Ruimtelijke Ordening Geothermie (F3), TNO, 2009
- Schoof, F., Inventarisatie kansen en belemmeringen voor geothermie in stedelijk en landelijk gebied (2017)
- Smekens, K. et al., ECN & DNVGL, Kostenonderzoek geothermie SDE+ 2018, 6 april 2017
- Veldkamp, J.G. et al., TNO & EBN, Play-based portfoliobenadering, eerste inzicht in de zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie, 30 mei 2018
- Welle, A. van der, Lensink, S., PBL, Conceptadvies SDE+ 2019, 17 mei 2018
- Wistanley, A., A review of the Triassic play in the Roer Valley Graben, SE onshore Netherlands. Petroleum geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th conference, p. 595 - 607, 1993
- ACM, Besluit maximumprijs levering warmte 2018, Opgehaald van Autoriteit Consument en Markt: <https://www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2018>, september 2018
- CPB & PBL, Klimaat en energie achtergronddocument, WLO - Welvaart en Leefomgeving, toekomstverkenning 2030 en 2050, 2016
- CE Delft & IF Technology, Weg van gas, 2018
- ECN & CBS, Monitoring warmte 2015, 2017
- ECN, Eindadvies basisbedragen SDE+ 2018, november 2017
- EGEC, EGEC Geothermal Market Report 2016, Key Findings, mei 2017
- EGEC, EGEC Geothermal Market Report 2017, Key Findings, juni 2018
- Gasunie, Verkenning 2050, 2018
- Ministerie van Economische zaken, Delfstoffen en Aardwarmte in Nederland, Jaarverslag 2016 Juli 2017
- Ministerie van Economische zaken, Delfstoffen en Aardwarmte in Nederland, Jaarverslag 2017 Juni 2018
- NITG-TNO, Geological atlas of the subsurface of the Netherlands, 2004
- Platform Geothermie, DAGO, Warmtenetwerk & EBN, Masterplan Aardwarmte in Nederland, Een brede basis voor een duurzame warmtevoorziening, mei 2018
- Staattoezicht op de Mijnen, Staat van de Sector Geothermie, juli 2017

- Wageningen UR, Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2016, 2017
- DGM diep V2 (NCP-1)
- DGM diep V4 onshore
- ThermoGIS 1.2

Bijlage 1 Portfoliobenadering

In de portfoliobenadering wordt een koppeling gemaakt tussen bovengrondse vraag (zie hoofdstuk 4) en ondergronds winbare aardwarmte (zie hoofdstuk 5). In onderstaand figuur is een flow-schema gegeven van de play-based portfoliobenadering. Elke stap in het flow-schema is in deze bijlage kort toegelicht.



Figuur B.1 | Flowschema play-based portfoliobenadering

Het flowschema bestaat uit drie hoofdstappen:

- 1 Inventarisatie
- 2 Koppeling boven- en ondergrond
- 3 Toepassing play-based portfoliobenadering

1. INVENTARISATIE

Inventarisatie bovengrond

In deze studie is een analyse uitgevoerd van de bovengrondse warmtevraag (zie hoofdstuk 4). Op basis hiervan zijn voor elke buurt gegevens verzameld die van belang zijn voor de vervolgstappen. Voor elke buurt zijn de volgende gegevens verzameld:

- **De buurtcode:** op basis hiervan kan, samen met een kaart van de buurtindeling in Nederland (volgens CBS), de ligging van de buurt en bijbehorende gegevens bepaald worden.
- **De warmtevraag:** bij een koppeling met de ondergrond kan hiermee bepaald worden hoeveel van de warmtevraag ingevuld kan worden met aardwarmte. Dit is gedaan voor zowel de gebouwde omgeving als voor de glastuinbouw.
- **Potentieel collectieve technieken:** per buurt is met behulp van het CEGOIA-model (zie bijlage 4) bepaald of de warmtevraag van de gebouwde omgeving het beste kan worden ingevuld met collectieve of met individuele technieken. Warmtevraag van glastuinbouw kan altijd collectief worden ingevuld. Buurten die het beste ingevuld kunnen worden met collectieve technieken zijn meegenomen in de vervolgstappen.
- **Concurrerende kostprijs:** voor elke buurt is met behulp van het CEGOIA-model (zie bijlage 4) berekend wat de kostprijs van aardwarmte moet zijn om te kunnen concurreren met andere duurzame energietechnieken. Dit is gedaan voor zowel de gebouwde omgeving als voor de glastuinbouw.

Inventarisatie ondergrond

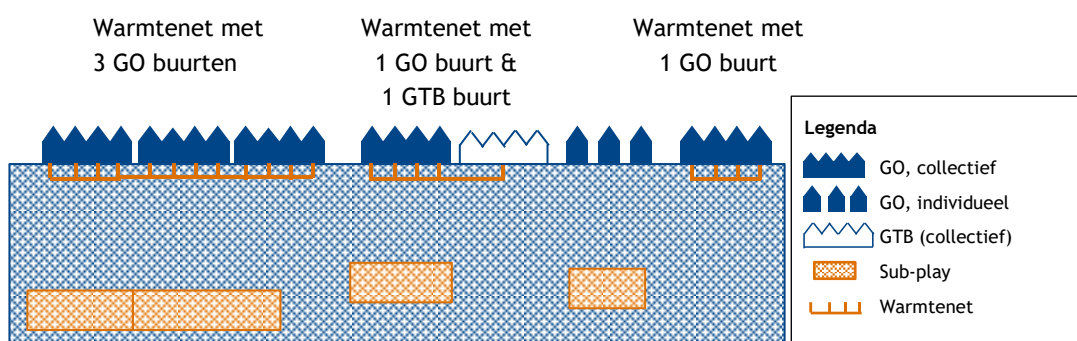
In deze studie is een analyse uitgevoerd van de ondergrond (zie hoofdstuk 5 en bijlage 2). Op basis hiervan zijn voor de drie plays (Rotliegend, Trias en Jura-Krijt) gegevens verzameld die van belang zijn voor de vervolgstappen. Voor elke play zijn de volgende gegevens verzameld:

- **Diepteligging:** op basis van ThermoGIS 1.2 (2012) is de diepteligging bepaald voor elke play in heel Nederland. In het geval van de play Rotliegend is ook informatie meegenomen uit de Noord-Holland studie (IF Technology).
- **Verwacht vermogen:** op basis van ThermoGIS 1.2 (2012) is het verwachte vermogen bepaald voor elke play in heel Nederland. Dit wordt ook wel de P50 genoemd. Dit geeft aan dat in 50% van de gevallen het gerealiseerde vermogen gelijk is of hoger dan het verwachte vermogen. Bij de play Rotliegend is ook informatie meegenomen uit de Noord-Holland studie (IF Technology). Het verwachte vermogen is berekend voor de gebouwde omgeving (injectietemperatuur van 40 °C) en voor de glastuinbouw (injectietemperatuur van 30 °C).
- **Standaarddeviatie vermogen:** op basis van de permeabiliteit uit ThermoGIS 1.2 is de standaarddeviatie van het vermogen berekend. Deze is berekend voor zowel de gebouwde omgeving als voor de glastuinbouw.
- **Indeling sub-plays:** elke play is onderverdeeld in sub-plays. De kaarten met de sub-play indeling worden gebruikt bij de vervolgstappen.
- **Dikte:** op basis van ThermoGIS is de dikte van de play bepaald.
- **Porositeit:** op basis van ThermoGIS is de porositeit van de play bepaald.

2. KOPPELING BOVEN- EN ONDERGROND

Clusteren warmtevraag

Alle buurten die in aanmerking komen voor collectieve warmte en die dicht bij elkaar liggen, zijn geclusterd. Alle buurten in een cluster worden voorzien van collectieve warmte door hetzelfde warmtenet. Alle buurten binnen een afstand van 500 meter ten opzichte van elkaar (rand tot rand) worden geclusterd. Zo worden alle buurten geclusterd in kleine en grote warmtenetten. In druk stedelijke gebieden ontstaan grote warmtenetten. In meer landelijk gelegen gebieden ontstaan meer kleinschalige warmtenetten. Dit is schematisch weergegeven in Figuur B.2.



Figuur B.2 | Clusteren van buurten in warmtenetten. GO = gebouwde omgeving, GTB = glastuinbouw

Concurrerende kostprijs in warmtenet

Voor elk warmtenet is berekend met welke prijs aardwarmte moet concurreren. Elk warmtenet bestaat uit meerdere buurten. Bij de analyse van de bovengrond is voor elke buurt een concurrerende kostprijs bepaald. De berekend kostprijs verschilt per buurt. De concurrerende kostprijs voor het warmtenet is berekend als een gewogen gemiddelde over de warmtevraag:

$$KP_{warmtenet} = \frac{\sum_1^n (Q_{GO} \cdot KP_{GO,concurrentie} + Q_{GTB} \cdot KP_{GTB,concurrentie})}{\sum_1^n (Q_{GO} + Q_{GTB})}$$

Hierin is n het aantal buurten die zijn aangesloten op het warmtenet. Q_{GO} en Q_{GTB} zijn respectievelijke de warmtevraag voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouw per buurt. $KP_{GO,concurrentie}$ en $KP_{GTB,concurrentie}$ zijn de concurrerende kostprijs per buurt voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw.

Winbare aardwarmte

De winbare aardwarmte is berekend in een aantal stappen.

- Totale aanwezige aardwarmte (Heat In Place, HIP): Dit is de totale hoeveelheid warmte die aanwezig is in de plays. De HIP wordt berekend door:

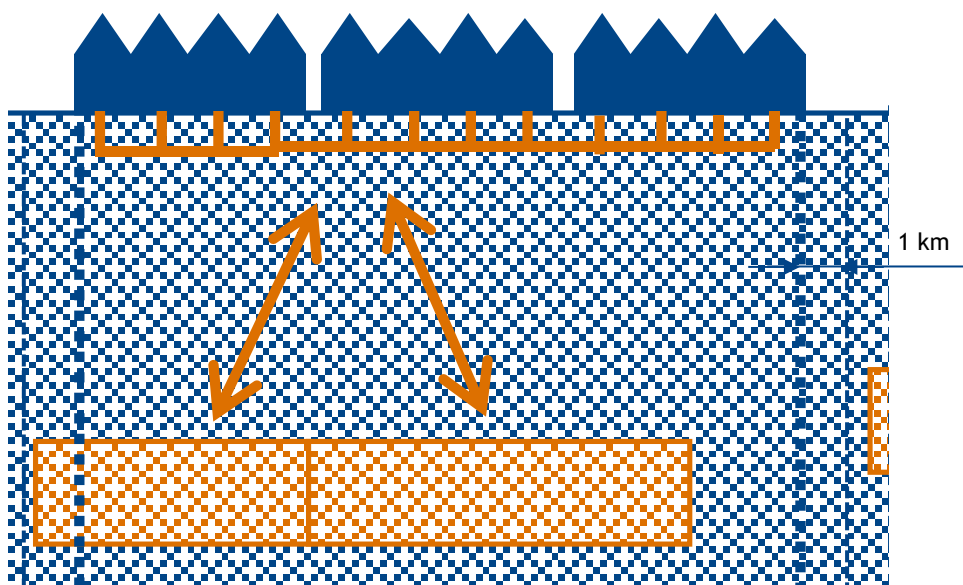
$$HIP = (\phi \cdot C_{p,brijn} + (1 - \phi) \cdot C_{p,gesteente}) \cdot A \cdot d \cdot (T_{play} - T_{inj})$$

Hierin is ϕ de porositeit, $C_{p,brijn}$ is de warmtecapaciteit van het brijn (formatiewater), $C_{p,gesteente}$ is de warmtecapaciteit van het gesteente van de play, A is het oppervlak, d is de dikte, T_{play} is de temperatuur in de play en T_{inj} is de injectietemperatuur.

- Potentieel winbare warmte (Potential Recoverable Heat, PRH): In deze studie is uitgegaan van het gebruik van verticaal georiënteerde doubletten voor geothermie. Daarnaast is aangenomen dat het beïnvloedingsgebied per doublet op basis van de Franse methode wordt bepaald (Mijnlieff et al., 2009), waarbij een gedeelte van het play niet wordt benut. De PRH is ingeschat op 1/3 van de HIP (Kramers et al. 2012).
- Winbare aardwarmte (Recoverable Heat, RH): bij de potentieel winbare warmte is nog geen rekening gehouden met de reservoirkarakteristieken. Om warmte te kunnen onttrekken moet de transmissiviteit voldoende groot zijn. Bij winbare warmte is gekeken op welke locaties water kan worden gewonnen.

Koppeling boven- en ondergrond

Per play wordt elk warmtenet gekoppeld aan de ondergrond. In Figuur B.3 is schematisch weergegeven hoe dit werkt.



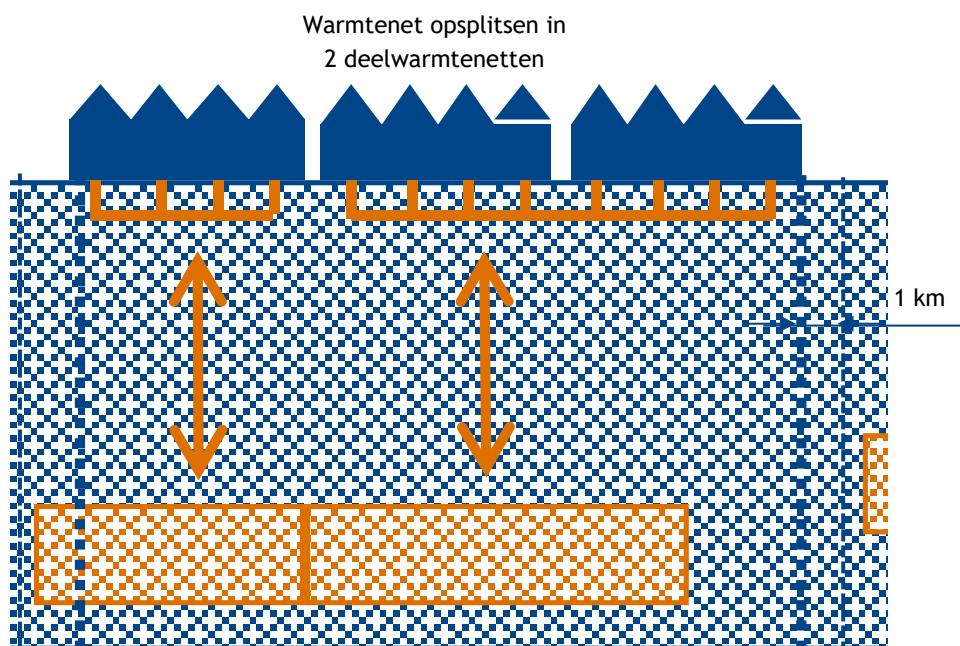
Figuur B.3 | Koppeling van warmtenetten aan een ondergronds play

- Er wordt een contour getrokken om alle buurten die op één en hetzelfde warmtenet worden aangesloten.
- Rondom deze contour wordt een tweede contour getrokken op een afstand van 1 km.
- Van het geprojecteerde oppervlak van de buitenste contour wordt gekeken of er overlap is met één of meerdere plays.

Er is nu een aantal mogelijkheden:

- Overlap met één sub-play: alle warmtevraag van het warmtenet wordt gekoppeld aan het betreffende sub-play.
- Overlap met meerdere sub-plays: de warmtevraag van het warmtenet wordt verdeeld over de sub-plays die overlappen. Dit gebeurt naar rato van de overlappende oppervlakken.
- Geen overlap met een sub-play: warmtevraag van het warmtenet wordt niet gekoppeld aan de play.

Het bepalen van de overlappende gebieden is uitgevoerd in ArcGIS. Merk op dat een warmtenet aan meerdere sub-plays kan worden gekoppeld. Indien het warmtenet met meerdere sub-plays overlapt, wordt het warmtenet opgedeeld in een deelwarmtenet per sub-play (zie Figuur B.4). De verdere analyse per sub-play wordt per deelwarmtenet uitgevoerd.



Figuur B.4 | Wanneer een warmtenet overlap heeft met meerdere sub-plays, wordt het warmtenet opgesplitst in deelwarmtenetten. Elk deelwarmtenet wordt gekoppeld aan een sub-play.

Voor elk deelwarmtenet zijn in ArcGIS de volgende waarden berekend:

- **Gemiddelde diepte**
- **Winbare warmte:** wanneer op een deelwarmtenet alleen gebouwde omgeving is aangesloten, wordt bij winbare warmte uitgegaan van een injectietemperatuur van 40°C. Wanneer tuinbouw of een combinatie is aangesloten, wordt uitgegaan van de winbare warmte bij een injectietemperatuur van 30°C.
- **Gemiddelde verwacht vermogen:** deze is, net als winbare warmte, afhankelijk van de aangesloten sectoren en wordt bepaald op basis van een injectietemperatuur van 30 of van 40°C
- **Gemiddelde standaarddeviatie vermogen:** deze is, net als winbare warmte, afhankelijk van de aangesloten sectoren en wordt bepaald op basis van een injectietemperatuur van 30 of van 40°C

Gekoppelde winbare aardwarmte

Voor elke deelwarmtenet zijn in voorgaande stappen waarden berekend voor:

- De warmtevraag van het deelwarmtenet
- De winbare warmte

De winbare warmte die gekoppeld wordt, is de minimale waarde van deze twee. Wanneer de warmtevraag groter is dan de winbare warmte, kan alle winbare warmte gekoppeld worden.

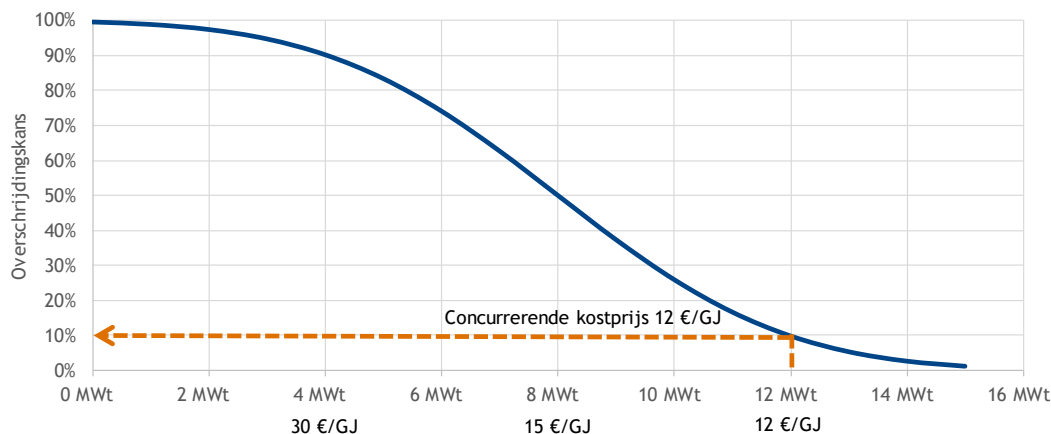
Wanneer de warmtevraag kleiner is, kan een deel van de winbare warmte gekoppeld worden (gelijk aan de warmtevraag).

Gekoppelde economisch winbare warmte

Voor elk deelwarmtenet wordt op basis van kostprijs bepaald wat de kans is dat de gekoppelde winbare warmte ook economisch gewonnen kan worden. Dit gebeurt in een aantal stappen.

- Voor elke deelwarmtenet is een verwachtingscurve opgesteld van het aardwarmtevermogen aan de hand van het verwachte vermogen (P50) en de standaarddeviatie.
- Aan de hand van de diepteligging zijn de investeringskosten bepaald van het aardwarmtesysteem. In bijlage 3 is toegelicht hoe de investeringskosten kunnen worden bepaald aan de hand van de diepte.
- Aan de hand van de concurrerende kostprijs en de investeringskosten van het aardwarmtesysteem is bepaald welk aardwarmtevermogen nodig is om te kunnen concurreren. In bijlage 3 is toegelicht hoe de kostprijs voor aardwarmte afhangt van het vermogen.
- Aan de hand van het benodigde aardwarmtevermogen en de verwachtingscurve van het vermogen is de kans berekend dat minimaal het benodigde vermogen wordt aangetroffen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur B.5. Modelmatig is de verhouding tussen de economisch gekoppelde winbare warmte en de gekoppelde winbare warmte gelijk aan de berekende kans. Wanneer bijvoorbeeld de kans op een economische koppeling 60% is, en er qua omvang van de warmtevraag 10 doubletten aangesloten kunnen worden, wordt naar verwachting 6 van de 10 doubletten economisch gekoppeld.
- De berekende kansen worden afgerond naar veelvouden van 10%, dus:

| | | |
|------------------|---|------|
| Kans < 5% | → | 0% |
| 5% ≤ Kans < 15% | → | 10% |
| 15% ≤ Kans < 25% | → | 20% |
| 25% ≤ Kans < 35% | → | 30% |
| 35% ≤ Kans < 45% | → | 40% |
| 45% ≤ Kans < 55% | → | 50% |
| 55% ≤ Kans < 65% | → | 60% |
| 65% ≤ Kans < 75% | → | 70% |
| 75% ≤ Kans < 85% | → | 80% |
| 85% ≤ Kans < 95% | → | 90% |
| Kans ≥ 95% | → | 100% |



Figuur B.5 | Bepalen van de kans dat het aardwarmtevermogen minimaal gelijk is aan het benodigde vermogen

Omvang

Voor elk deelwarmtenet wordt het omvang (aantal doubletten) berekend door de warmtevraag te delen door het benodigd vermogen.

TOEPASSING PLAY-BASED PORTFOLIOBENADERING

Groeperen en rangschikken

De resultaten van alle deelwarmtenetten worden gegroepeerd per sub-play. Aan elk deelwarmtenet zijn de volgende waarden gekoppeld:

- **Gekoppelde economisch winbare warmte:** de hoeveelheid winbare warmte die economisch geleverd kan worden aan de bovengronds gekoppelde warmtevraag.
- **Benodigd vermogen:** het vermogen dat nodig is om te kunnen concurreren met andere duurzame energietechnieken.
- **Kans op succes:** de kans dat het aardwarmtevermogen gelijk of hoger is aan het benodigd vermogen.
- **Omvang:** de omvang van de economisch gekoppelde warmtevraag, uitgedrukt in aantal doubletten met vermogen gelijk aan het benodigd vermogen
- **Gemiddelde diepte:** de gemiddelde diepte van de play binnen het overlappende gebied.

Per sub-play worden vervolgens alle deelwarmtenetten gerangschikt. Deze rangorde bepaalt de volgorde waarin alle overlappende gebieden binnen de sub-play worden ontwikkeld. Bij de rangschikking zijn de volgende regels gehanteerd:

- Er wordt eerst gerangschikt op basis van omvang. Hoe groter de omvang, hoe hoger de rangschikking.
- Bij gelijke (of nagenoeg gelijke) omvang, wordt gerangschikt op basis van kans op succes. Een hoge kans op succes krijgt een hogere rangschikking.

Bovenstaande regels voor rangschikking kan bijvoorbeeld een set aan deelwarmtenetten opleveren zoals weergegeven in Tabel B.1.

Tabel B.1 | Voorbeeld ontwikkeling deelwarmtenetten binnen een sub-play

| Deelwarmtenet | Benodigd vermogen [MW _t] | Startkans op succes [-] | Omvang [Doubletten] |
|---------------|---|----------------------------|------------------------|
| 1 | 10 | 50 | 30 |
| 2 | 11 | 40 | 20 |
| 3 | 8 | 80 | 10 |
| 4 | 10 | 50 | 9 |
| 5 | 12 | 30 | 10 |

Er zijn andere methoden om alle overlappende gebieden te rangschikken. Het kan zijn dat daarmee een meer optimale play-ontwikkeling mogelijk is. De gevoeligheid van de rangschikking op de uitkomsten is momenteel niet onderzocht.

Doorrekenen deelwarmtenetten

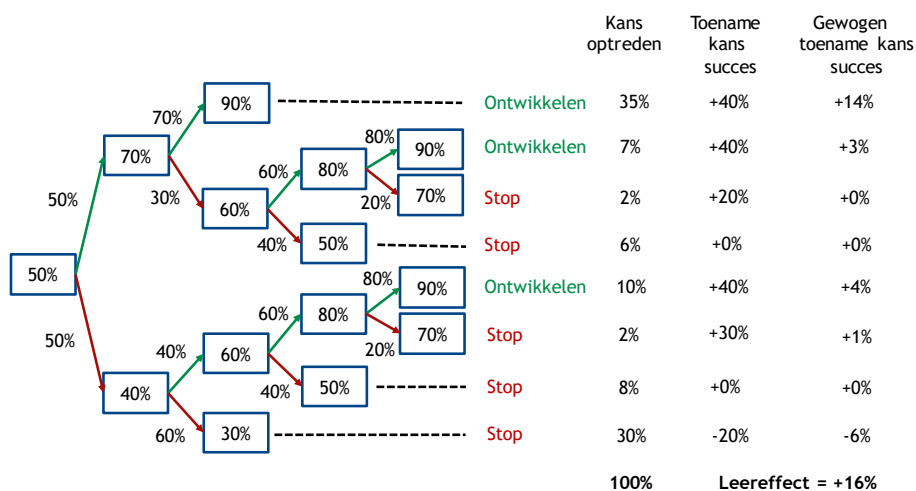
De volgende stappen worden doorlopen voor elk deelwarmtenet (cluster) binnen een sub-play:

- De volgende waarden worden ‘ingelesen’:
 - Benodigd vermogen
 - Kans op succes
 - Omvang
 - Gemiddelde diepte
- Op basis van de diepte zijn de investeringskosten van het eerste aardwarmtesysteem berekend (zie ook bijlage 3).
- Op basis van het benodigd vermogen en de investeringskosten is de kostprijs voor aardwarmte berekend.
- Stap voor stap wordt de kansboom doorgerekend. Het aantal stappen is gelijk aan de omvang (aantal doubletten).
- De eerste stap wordt doorgerekend:
 - De NCW bij succes wordt berekend. Deze is bij het eerste stap gelijk aan 0. Bij succes wordt het vereiste projectrendement gehaald en is de NCW over de looptijd gelijk aan 0.
 - De NCW bij falen wordt berekend. Aangenomen is dat na het boren van de eerste put duidelijk is of een project faalt of niet. In geval van falen is er geïnvesteerd in een eerste boring. De kosten hiervoor zijn ingeschat op 30% van de totale investeringskosten.
 - De kans op succes is gelijk aan de ingelezen waarde.
 - De kans op falen is 1 minus de kans op succes
 - De NCW bij succes en falen wordt ook berekend voor individuele ontwikkeling.
- De vervolgstappen worden doorgerekend.
 - In het geval de voorgaande stap succesvol was, wordt de kans op succes verhoogd met 20%, met een maximum van 90%.
 - In geval van falen bij de voorgaande stap wordt de kans op succes verlaagd met 10%. Na twee keer falen worden vervolgstappen niet doorgerekend.
 - De kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie wordt bepaald. In deze studie is een gemiddelde leercurve aangehouden zoals bepaald door Lukawski (2014, zie ook Figuur 2.9). Op basis van deze curve worden de investeringskosten gereduceerd volgens de correlatie:

$$Factor_{kostenreductie} = 0,9169 n^{-0,128}$$

Hierin is n het stapnummer.

- De NCW wordt berekend, waarbij de investeringskosten afnemen. De kostprijs voor aardwarmte (die gelijk is aan de concurrerende kostprijs) blijft gelijk. Bij een succesvol project levert dit een positieve NCW op.
- De NCW bij falen wordt berekend (30% van de investeringskosten). Door lagere investeringskosten nemen ook de kosten voor falen af.
- De NCW bij succes en falen wordt ook berekend voor individuele ontwikkeling. Hierbij worden de kans op succes en de investeringskosten niet aangepast.
- De berekeningen worden herhaald voor alle stappen.
- Het leereffect wordt bepaald. Dit is geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld zoals weergegeven in Figuur B.6.



Figuur B.6 | Bepaling leereffect

In dit geval is het leereffect +16% ($0,35 \cdot 0,4 + 0,07 \cdot 0,4 + 0,02 \cdot 0,2 + 0,06 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0,4 + 0,02 \cdot 0,3 + 0,08 \cdot 0 + 0,3 \cdot -0,2$).

- Bij de ontwikkeling van de volgende cluster (deelwarmtenet) wordt de startkans op succes verhoogd met het leereffect.

Sommatie over sub-play

Per sub-play worden de berekende waarden van de deelwarmtenetten bij elkaar opgeteld. Dit zijn:

- De gerealiseerde gekoppelde winbare warmte bij individuele ontwikkeling
- De gerealiseerde gekoppelde winbare warmte bij play-based portfoliobenadering
- De NCW bij individuele ontwikkeling
- De NCW bij play-based portfoliobenadering

Bijlage 2 Sub-plays

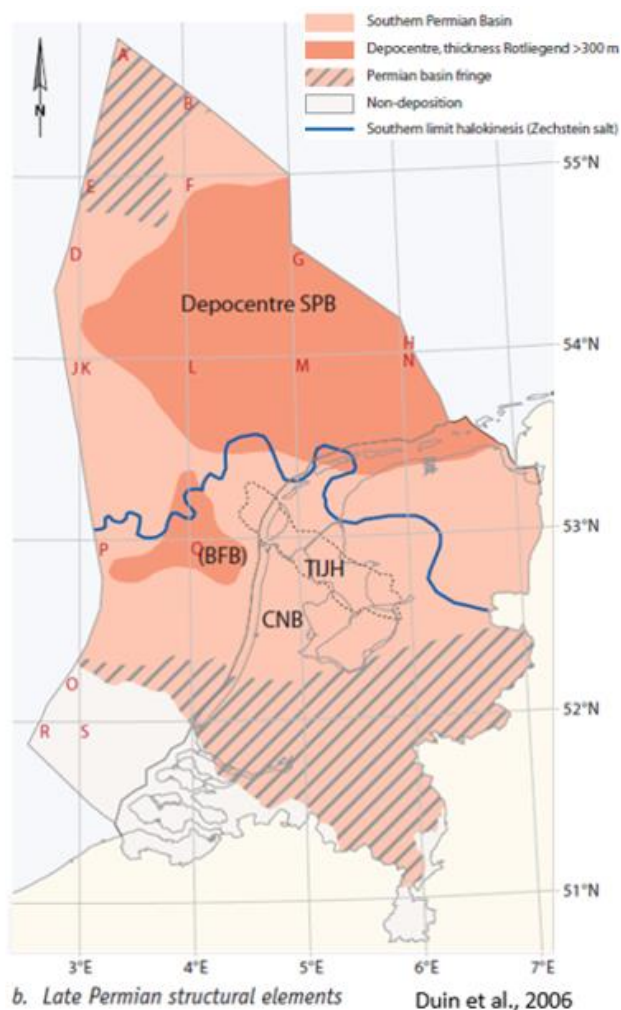
In deze bijlage wordt de onderverdeling van play in sub-plays gepresenteerd voor het Perm (Rotliegend), Trias en Jura-Krijt play.

ONDERVERDELING PERM (ROTLIEGEND)

Stap 1: Definiëren structurele elementen

Structurele elementen

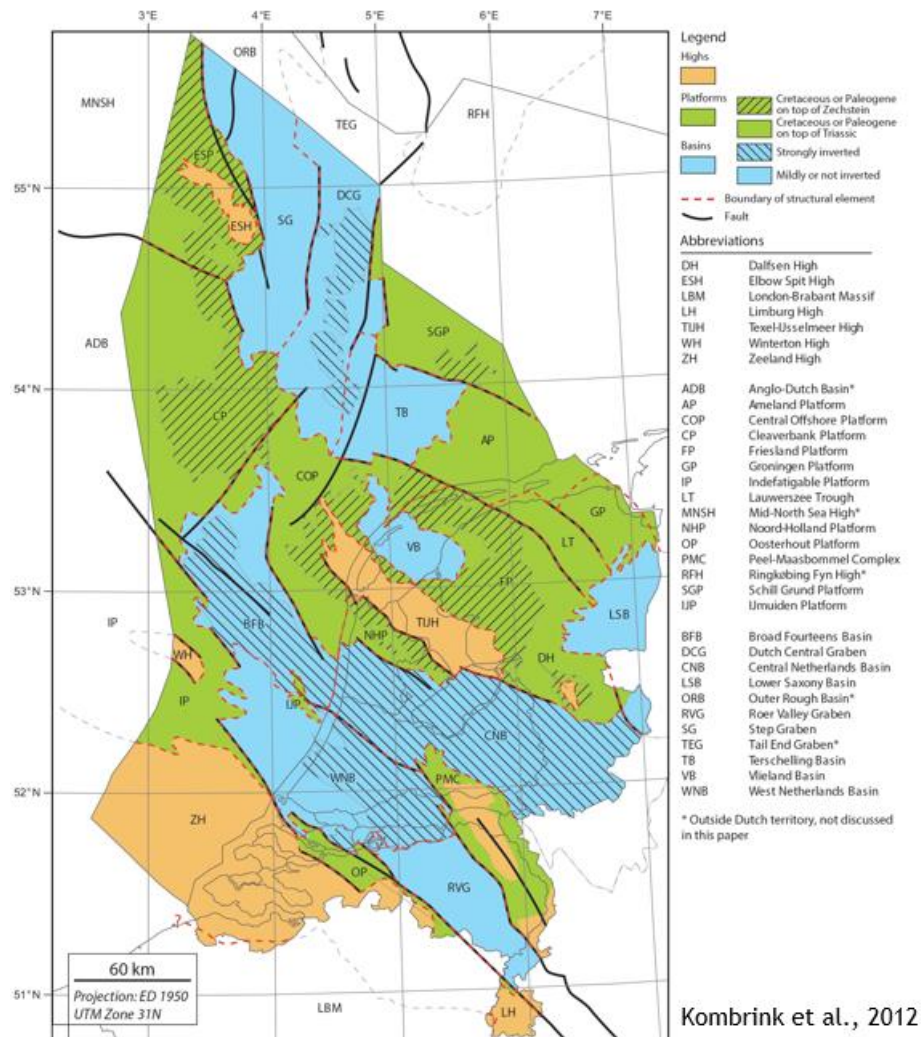
Het Rotliegend (de Slochteren Formatie) is afgezet tijdens het Perm en is onderdeel van de boven Rotliegend Groep. In Figuur B.7 zijn de structurele elementen tijdens het laat Perm weergegeven. De structurele elementen hadden direct invloed op de verspreiding en dikte van de Rotliegend sedimenten.



Figuur B.7 | Structurele elementen tijdens het Laat Perm

Tijdens het Trias, Jura en Krijt zorgde tektonische activiteit (o.a. als gevolg van het opbreken van het supercontinent Pangea) ervoor dat het gebied werd opgedeeld in structurele bekkens (basins), hogen (highs) en vlaktes (platforms). In Figuur B.8 zijn deze structuren weergegeven. De sedimenten afgezet tijdens het vroeg Perm (Rotliegend) zijn vanwege deze tektonische activiteit in veel gevallen in Nederland op een andere diepte komen te liggen dan de initiële begravingsdiepte (burial depth). Als voorbeeld zijn de Rotliegend sedimenten op het Texel IJsselmeer Hoog (TIJH) als gevolg van opheffing hoger komen te liggen en hierna geërodeerd.

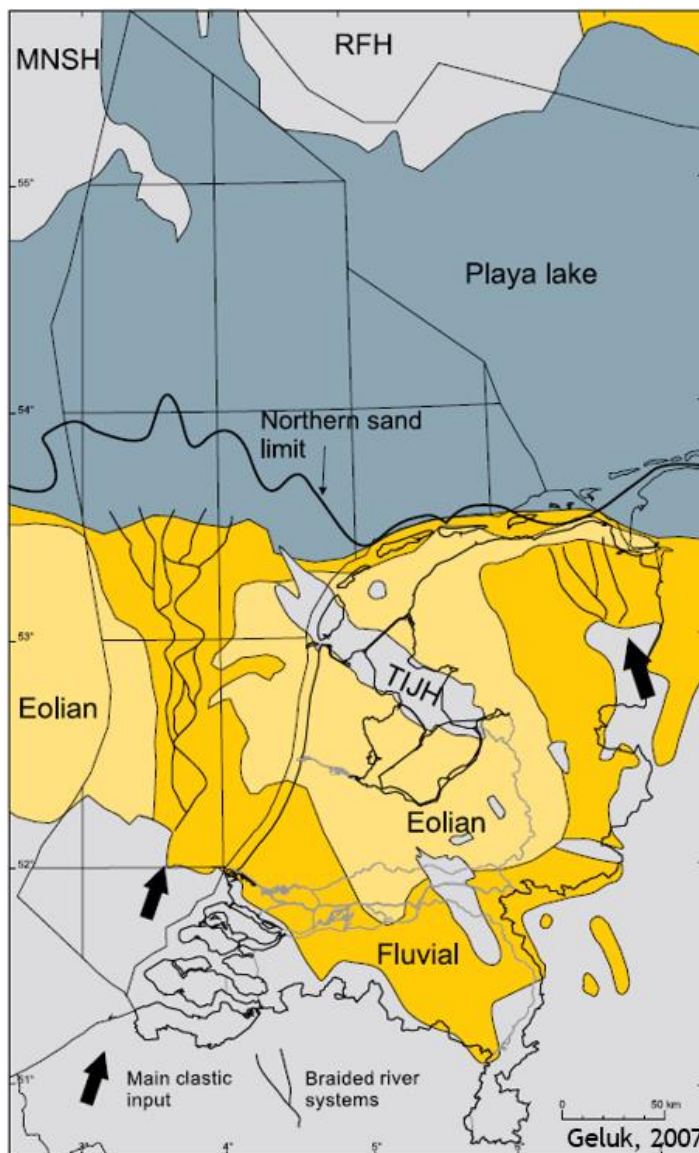
De structuren die tijdens het Jura en Krijt zijn ontstaan, zijn grotendeels bepalend voor de huidige diepteligging en aanwezigheid van de Rotliegend sedimenten in Nederland. In de play-benadering voor de Rotliegend sedimenten dient de structurele situatie tijdens afzetting en zoals ontstaan is in het Jura en Krijt meegenomen te worden voor de onderverdeling van de sub-plays.



Figuur B.8 | Structurele elementen uit het Laat Jura - Vroeg Krijt (Kombrink et al, 2012).

Stap 2: Definiëren afzettingmilieu

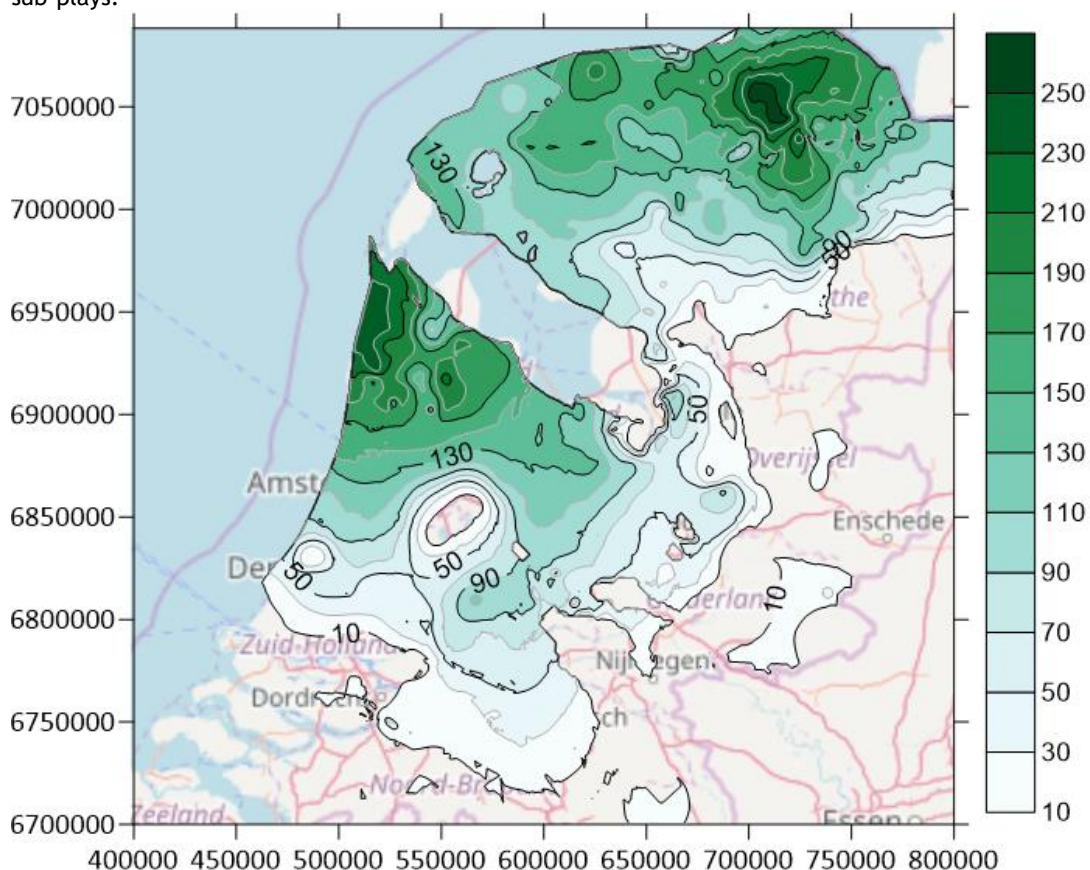
In Figuur B.9 is het afzettingmilieu tijdens het laat Perm weergegeven. Het gebied wordt gedomineerd door twee verschillende facies: eolisch en fluviatiel. Sedimenten afgezet in een eolisch milieu zijn in principe meer homogeen dan fluviatiele afzettingen. Dit is ook kenmerkend voor het Rotliegend. In de play-benadering voor het Rotliegend dient het afzettingmilieu mee te worden genomen in de onderverdeling van sub-plays.



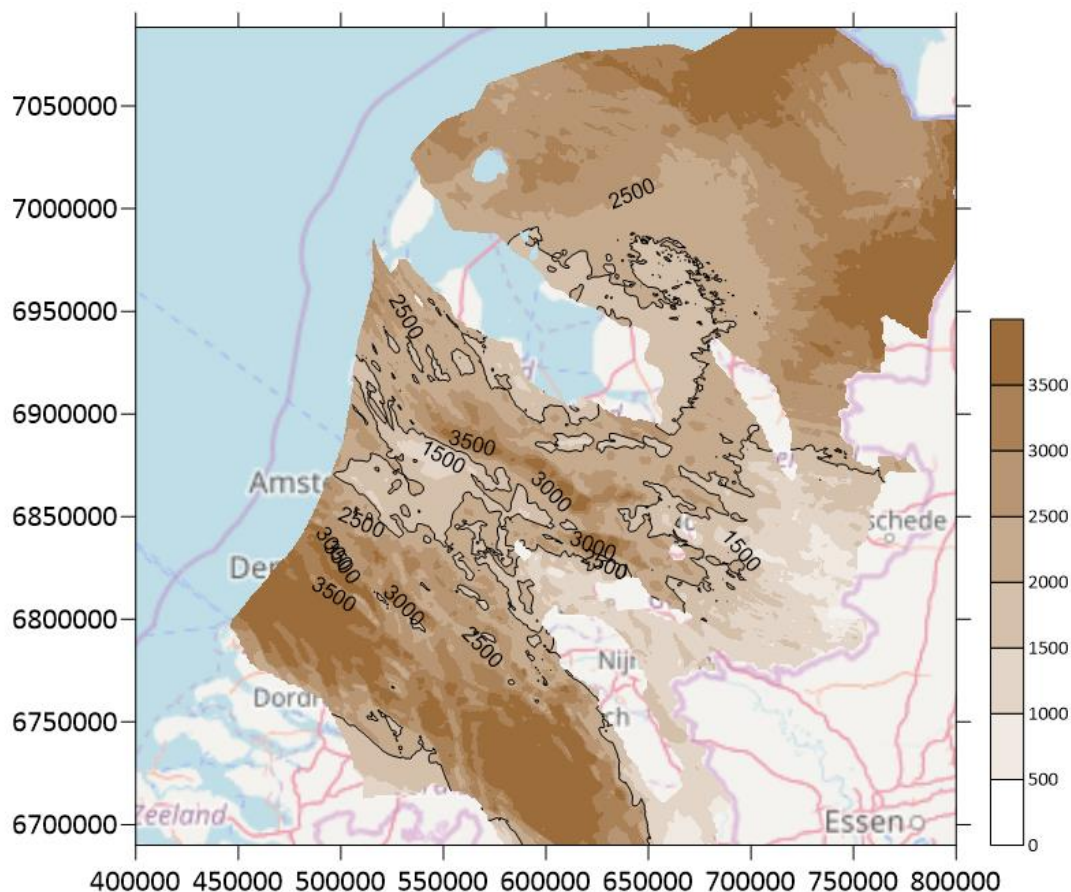
Figuur B.9 | Facies distributie tijdens de afzetting van het Rotliegend. TIJH = Texel IJsselmeer Hoog, MNSH: Mid Noordzee Hoog, RFH: Ringkobing-Fyn Hoog (Geluk, 2007).

Stap 3: Definiëren play karakteristieken

Twee belangrijke reservoirkarakteristieken zijn dikte (netto) (zie Figuur B.10) en reservoir diepte (zie Figuur B.11). Voor de diepte is in de onderverdeling in sub-plays geen gebruik gemaakt van een grenswaarde. De bruto dikte van een sub-play is de totale dikte van het pakket, de netto dikte is het totaal van de bruikbare zandlagen. Om de netto dikte te berekenen is gebruik gemaakt van een verhouding tussen de netto en bruto dikte (N/G) van 0,90 (gebaseerd op ervaring in het Rotliegend). Voor de dikte is gedeeltelijk gebruik gemaakt van een grenswaarde. Bij diktes onder de 50 meter zal de transmissiviteit (product van dikte en permeabiliteit) mogelijk onvoldoende zijn voor een business case. Omdat de betrouwbaarheid van de dikte en permeabiliteit afhankelijk is van de beschikbaarheid van data, kunnen deze parameters met de tijd veranderen. Er is gekozen om als ondergrenswaarde voor de dikte 10 meter aan te houden voor de huidige onderverdeling van sub-plays.



Figuur B.10 | Netto dikte (m) van het Rotliegend in Nederland. Gebaseerd op de sommatie van de dikte van het boven Rotliegend en het onder Rotliegend uit ThermoGIS 1.2 * 0,9 (ingeschatte netto/bruto ratio voor Nederland gebaseerd op projectervaring). Als ondergrenswaarde in deze kaart is 10 meter aangehouden.



Figuur B.11 | Diepte mid reservoir (m) van het Rotliegend in Nederland, gebaseerd op dieptegegevens van DGM-diep V4 onshore

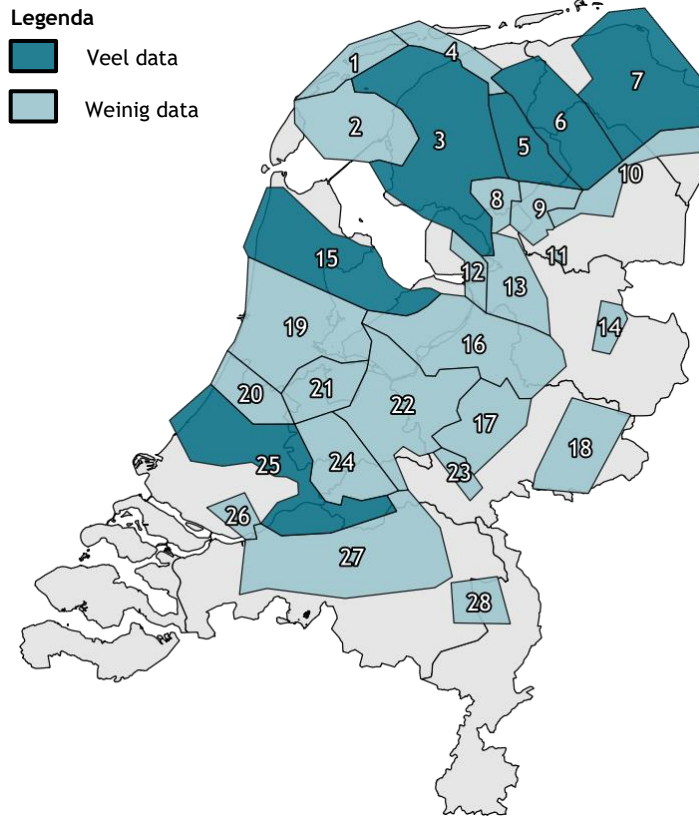
De inschatting van reservoirkarakteristieken is afhankelijk van de aanwezigheid van data (zie ook Hoofdstuk 5). Bij toename van beschikbare data zal de inschatting van reservoirkarakteristieken veranderen (de onzekerheid neemt af en mogelijk worden bepaalde gebieden die nu als sub-play zijn aangemerkt niet meer gezien als sub-play en andersom). Het is dus belangrijk te realiseren dat de onderverdeling van de ondergrond in sub-plays een dynamisch proces is, waarbij de ondergrond niet verandert maar het inzicht in de ondergrondse karakteristieken wel.

Onderverdeling geologische sub-plays

Op basis van de structurele kenmerken en reservoirkarakteristieken kan Nederland voor het Rotliegend worden opgedeeld in de sub-plays zoals weergegeven in Figuur B.12.

Voor het onderverdelen van de sub-plays worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

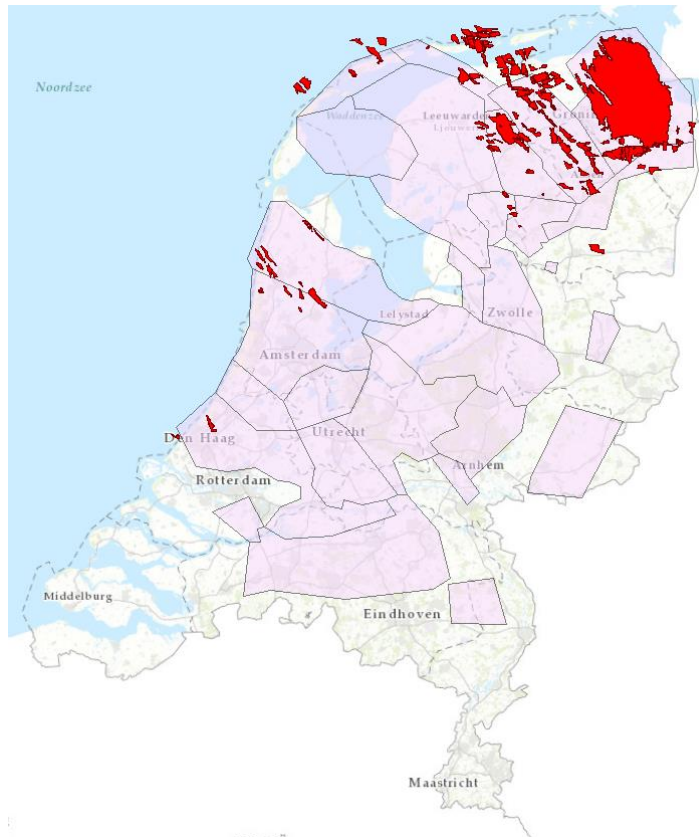
- Een sub-play bevindt zich binnen dezelfde geologische structuur (e.g. bekken of platform) (er is in dit geval één sub-play aanwezig waar vanwege onzekerheid een groter gebied is gekozen bestaande uit meer dan een geologische structuur (sub-play 27)).
- De sedimenten binnen een sub-play zijn afgezet binnen hetzelfde afzettingsmilieu.



Figuur B.12 | Onderverdeling Rotliegend play in 28 sub-plays

Olie- en gasvoorkomens

De olie- en gasvelden in het Rotliegend zijn weergegeven in Figuur B.13. Sub-play 7 is vanwege het Groninger-gasveld niet meegenomen in de play-based portfolio-benadering. De overige olie- en gasvelden zijn weggehaald uit de sub-plays. Het resterende deel van de sub-plays (dus zonder olie- en gasvelden) is wel meegenomen in de play-based portfolio-benadering.



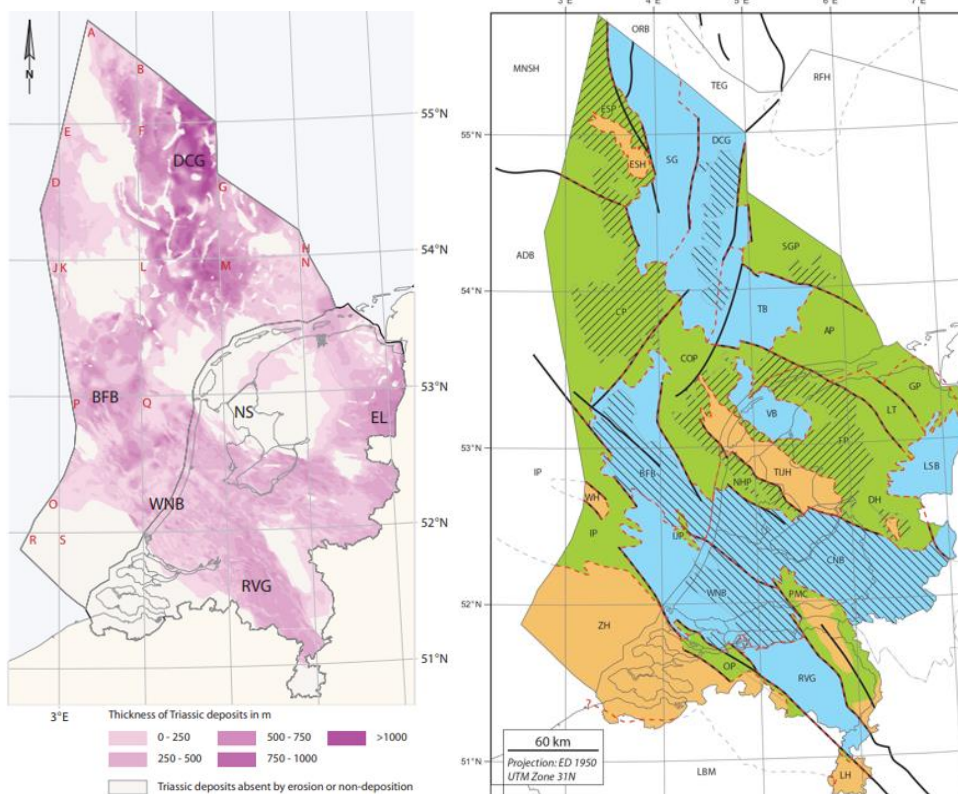
Figuur B.13 | Olie- en gasvelden in Rotliegend

ONDERVERDELING TRIAS

Stap 1: Definiëren structurele elementen

De tektonische activiteiten (als gevolg van het opbreken van het supercontinent Pangea) die optraden tijdens het Laat Jura - Vroeg Krijt domineren de huidige structurele configuratie van de Nederlandse ondergrond. In de play-benadering voor de Trias sedimenten dient deze structurele situatie tijdens afzetting en zoals ontstaan is in het Jura en Krijt meegenomen te worden voor de onderverdeling van de sub-plays (net zoals gedaan is voor de Rotliegend Formatie).

In Figuur B.14 wordt de huidige dikte van Trias afzettingen met bijbehorende structurele elementen weergegeven.



Figuur B.14 | Links: Huidige dikte van Trias afzettingen (m) en structurele elementen (WNB = West Netherlands Basin, BFB = Broad Fourteens Basin, RVG = Roer Valley Graben, EL = Ems Low, DCG = Dutch Central Graben, NS = Netherlands Swell (Duin et al., 2006)); Rechts: Structurele elementen uit het Laat Jura - Vroeg Krijt (Kombrink et al, 2012).

Stap 2: Definiëren afzettingmilieu

Het Trias is afgezet tijdens een periode van grootschalige sedimentatie en bestaat uit een cyclische afwisseling van zandsteen en silt voorkomend in een aflopend profiel. De distributie en afzetting van de sedimenten wordt gedomineerd door rift tektoniek (het uit elkaar bewegen van platen, extensie).

Tijdens het Vroeg Trias trad sedimentatie op onder continentale condities (afzetting van fijnkorrelige zanden en kleien van de Onder Bontzandsteen). Discordant op de Onder Bontzandsteen ligt de Hoofd Bontzandsteen Subgroup waartoe de Volpriehausen Formatie, Detfurth Formatie en de Hardegsen Formatie behoren. Een deel van de bovengenoemde zandsteen laagpakketten worden door kleisteen laagpakketten gescheiden. Het Boven en Onder Volpriehausen en Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket vormen samen een continu zandsteen laagpakket in een groot gedeelte van het verspreidingsgebied in Nederland.

De Basale Solling en Röt Fringe Zandsteen Laagpakketten behoren tot de Boven Germaanse Trias Groep. In deze studie worden de zandstenen van het Onder Volpriehausen tot en met het Röt Fringe Zandsteen Laagpakket meegenomen als mogelijke play. Hierbij moet worden opgemerkt dat niet overal alle zandsteen laagpakketten in dezelfde mate aanwezig zijn en ook de samenstelling varieert. In Figuur B.15 zijn de afzettingen uit het Trias schematisch weergegeven.

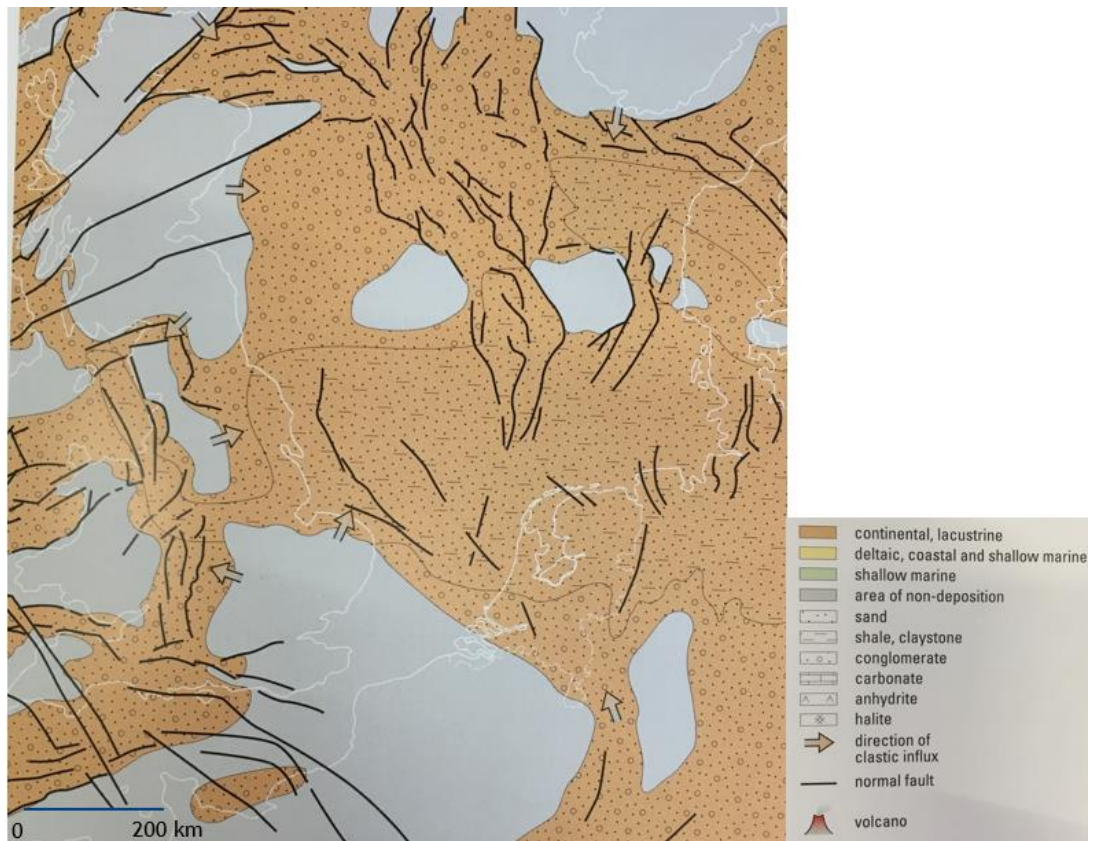
Table 1. Stratigraphic subdivision of the Triassic in the Netherlands and adjacent countries.

| Stage | Age (Ma) | Sequence | UK southern North Sea | Netherlands Formation | Member | NW Germany | Tectonics | |
|---------------------------|----------|---------------------|-----------------------|--|---|---|---|--|
| Late Triassic | 200 | Milankovitch cycles | Penarth Group | Sleen Fm | | Mittelrhät | EK II | |
| | 204 | | | Upper Keuper | Upper Keuper Claystone | Unterrhät | | |
| | 218 | | Triton Fm | Keuper Fm | Dolomitic Keuper Red Keuper Claystone | Steinmergelkeuper | EK I | |
| Middle Triassic | 228 | | Dudgeon Fm | lower + middle Keuper | Red Keuper Evaporite Middle Keuper Claystone | Oberer Gipskeuper Schiffsandstein | | |
| | 237 | Haisborough Group | Dowsing Fm | Upper Germanic Trias Group | Muschelkalk Fm | Upper Muschelkalk Middle Muschelkalk* Lower Muschelkalk | Oberer Muschelkalk Mittlerer Muschelkalk Unterer Muschelkalk | |
| | | | | | Röt Fm | Upper Röt Claystone Upper Röt Evaporite Intermed. Röt Claystone Main Röt Evaporite | Pelitröt-Folge Salinarrot-Folge | |
| | 245 | | Solling Fm | Solling Claystone Basal Solling Sandstone | Solling-Folge | H | | |
| Early Triassic (Syrthian) | 251 | Bacton Group | Bunter Sandstone Fm | Lower Germanic Trias Group | Hardeggen Fm | Hardeggen Claystone Low. Detfurth Sandstone | Hardeggen-Folge | |
| | | | | | Detfurth Fm | Detfurth Claystone Low. Detfurth Sandstone | Detfurth-Wechselfolge Detfurth-Sandstein | |
| | | | | | Volpriehausen Fm | Volpriehausen Clay-Siltstone Low. Volpriehausen Sandstone | Volpriehausen-Wechself. Volpriehausen-Sandstein Quickborn-Folge | |
| | | | | | Lower Buntsandstein Fm | Rogenstein Main Claystone | Bernburg-Folge Calvörde-Folge | |
| Permian | | | Bunter Shale Fm | Zechstein Upper Claystone Fm | | Zechstein-Übergangsfolge | | |

After Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1994), Johnson et al. (1994), Geluk (1999) and Kozur, 1999. Ages after ISC (2003); note that the only officially approved age is the Permian-Triassic boundary. Sequences after Gianolla & Jacquin (1998); transgressive sequences in black, regressive sequences in grey. EK I: main Early Kimmerian Unconformity, base Norian; EK II: Early Kimmerian II Unconformity, base Rhaetian; H: Hardeggen Unconformity. * The Middle Muschelkalk is an informal unit and comprises the Muschelkalk Evaporite and Middle Muschelkalk Marl.

Figuur B.15 | Stratigrafie van de afzettingen uit het Trias voor Nederland en omliggende gebieden (Geluk, 2007).

De afzettingen die mee worden genomen voor de play-benadering uit het Trias zijn allen continentale afzettingen (zie Figuur B.17). Er is zowel sprake van lacustriene, fluviatiele en eolische afzettingen. De zandstenen zijn met name fluviatiel in het zuiden, en worden eolisch naar het noorden toe. Omdat er tussen de formaties onderling verschillen in afzettingsmilieu heersen, en het daarom lastig is een onderverdeling te maken in afzettingsmilieu voor het gehele play, is gekozen geen onderscheid te maken in de sub-play verdeling op basis van afzettingsmilieu.



Figuur B.16 | Facies distributie tijdens de afzetting van het onder Trias (vanuit Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands, 2004).

Stap 3: Definiëren play karakteristieken

Twee belangrijke reservoirkarakteristieken zijn reservoir diepte (zie Figuur B.17) en dikte (netto, zie Figuur B.18). Voor zowel de diepte als dikte is in de onderverdeling in sub-plays geen gebruik gemaakt van een grenswaarde. Hiervoor is gekozen om zo min mogelijk gebieden af te laten vallen, omdat er in bepaalde gebieden met beperkte data mogelijk wel potentie is, maar op basis van de beschikbare informatie in wordt geschat dat er geen potentie is.

De N/G varieert sterk per formatie en locatie in Nederland, om de netto dikte te berekenen is gebruik gemaakt van een N/G van 0,50. Dit is een aanname die gedaan is voor heel Nederland, gebaseerd op een studie van Wistanley, 1993 en projectervaring door Nederland. Om de potentie van het Trias beter te onderzoeken wordt aangeraden in een vervolgtraject per sub-play een inschatting te maken van de N/G voor het specifieke gebied van interesse, om zo een betere inschatting te kunnen maken van de aanwezige RH (Recoverable Heat).

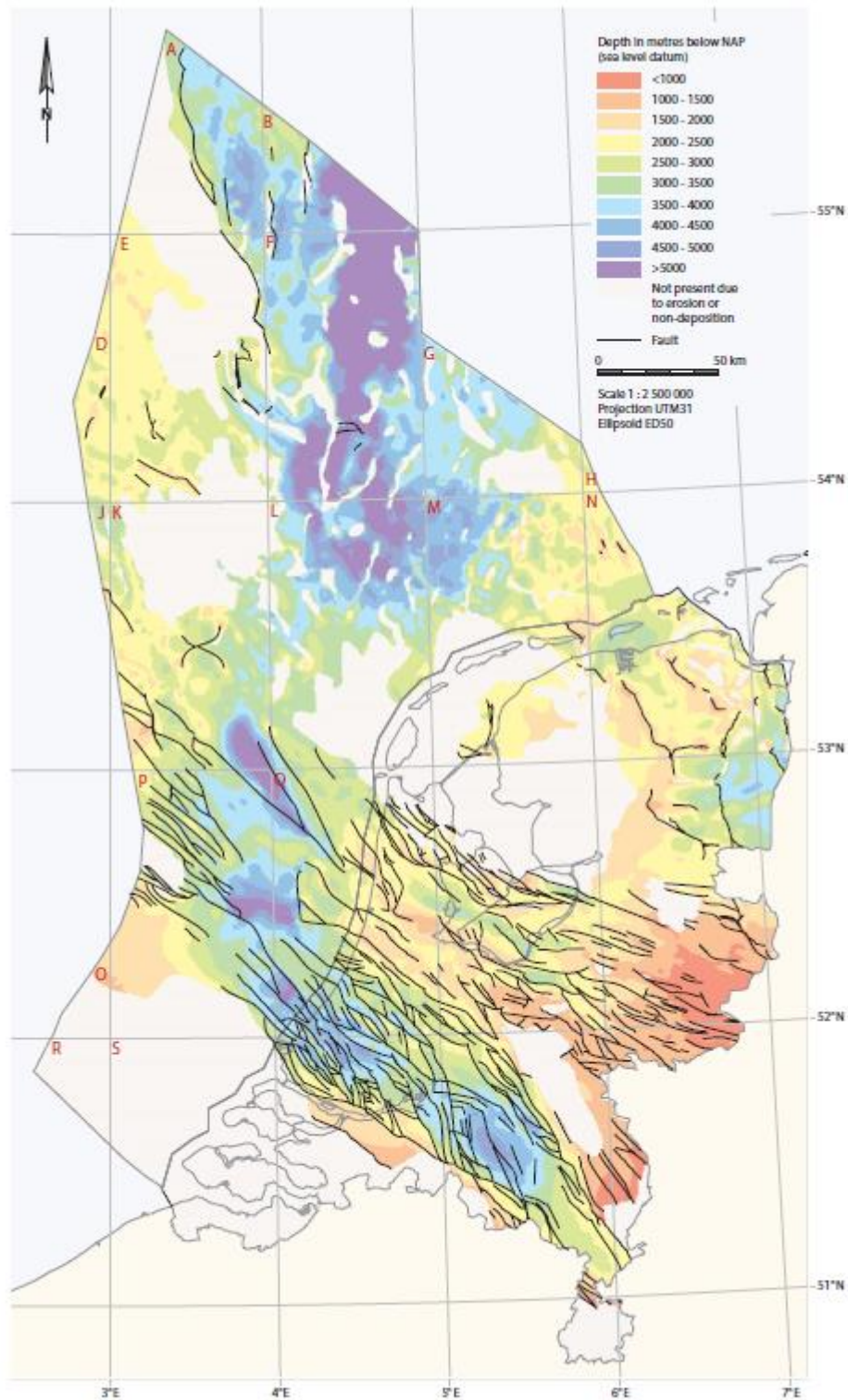


Fig. 6a. Depth map of the base of the Lower Germanic Trias Group.

Figuur B.17 | Diepte van de basis Lower Germanic Trias Group (Onder Bontzandsteen Formatie) (Duin et al., 2006).

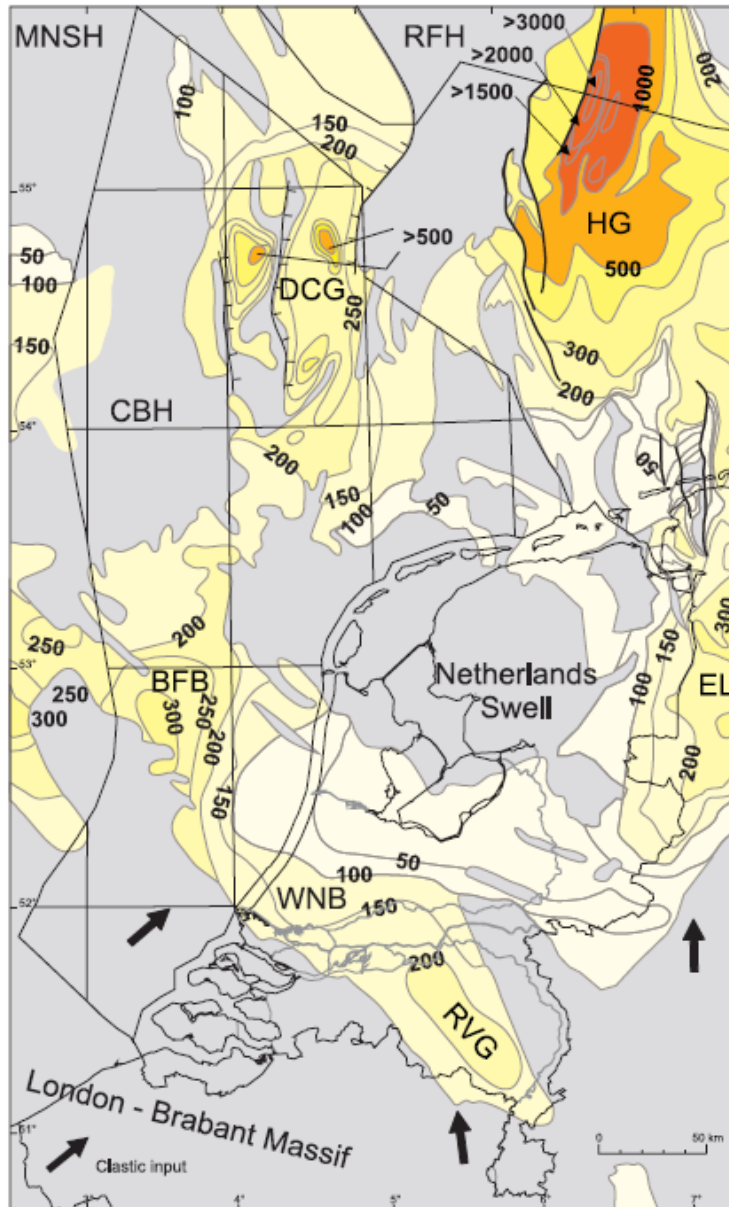


Fig. 12. Isopach map (in metres) of the Main Buntsandstein Subgroup. UK part after Cameron et al. (1992), Germany after Boigk (1961), Kockel (1995) and Baldschuhn et al. (1996). In the Danish and German North Sea sectors, the subgroup reaches a thickness of over 3000 m in the Horn Graben. Abbreviations as in Fig. 8. After Geluk (1999).

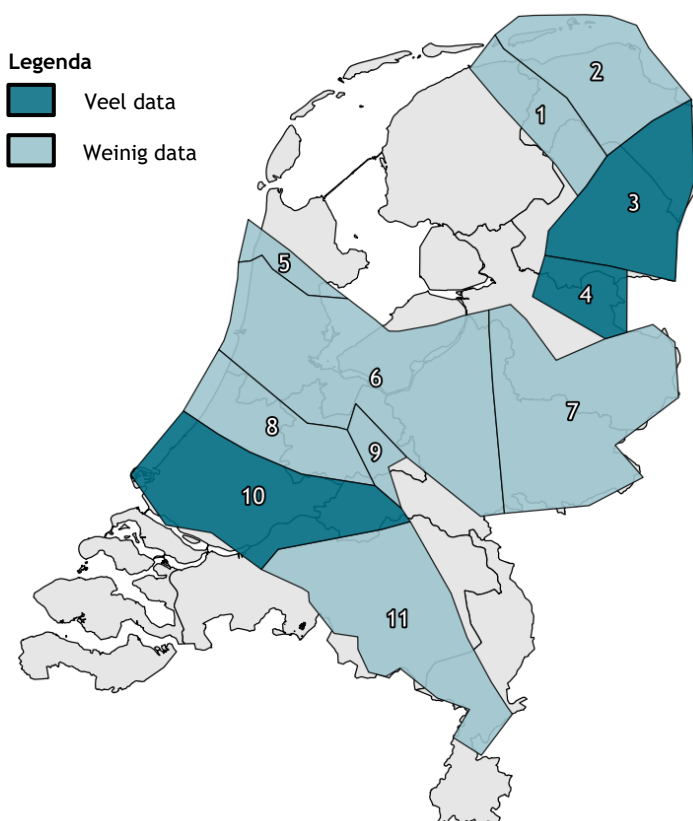
Figuur B.18 | Diktekaart (bruto, m) van de Hoofd Bontzandsteen subgroep (Geluk, 2007).

Onderverdeling geologische sub-plays

Op basis van de structurele kenmerken en reservoirkarakteristieken kan Nederland voor het Trias worden opgedeeld in de sub-plays zoals weergegeven in Figuur B.19

Voor het onderverdelen van de sub-plays worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

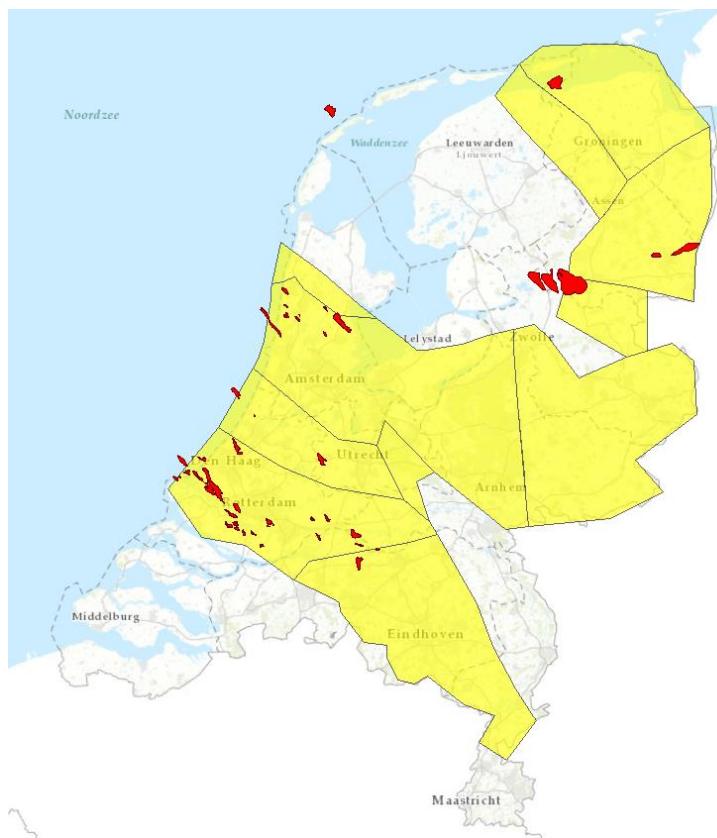
- Een sub-play bevindt zich binnen dezelfde geologische structuur (e.g. bekken of platform)
- Sub-play zes en zeven bevinden zich beide in het Centraal Nederlands Bekken. Er is gekozen om dit gebied op te delen in twee sub-plays, met name omdat het een zeer groot gebied betreft en de beschikbare data zich voornamelijk in het westen van sub-play 6 en het oosten van sub-play 7 concentreert.



Figuur B.19 | Onderverdeling Trias play in 11 sub-plays

Olie- en gasvoorkomens

De olie- en gasvelden in het Trias zijn weergegeven in Figuur B.20. Olie- en gasvelden zijn voornamelijk aanwezig in sub-play 10. Wanneer de olie- en gasvelden worden weggestreept, neemt de hoeveelheid aanwezige aardwarmte (Heat in Place, HIP) af met circa 5%. De olie- en gasvelden komen niet voor in alle voor aardwarmte geschikte lagen. Ingeschat is dat door de olie- en gasvelden het potentieel aan winbare aardwarmte in sub-play 10 afneemt met 3%.



Figuur B.20 | Olie- en gasvelden Trias

ONDERVERDELING JURA-KRIJFT

Stap 1: Definiëren structurele elementen

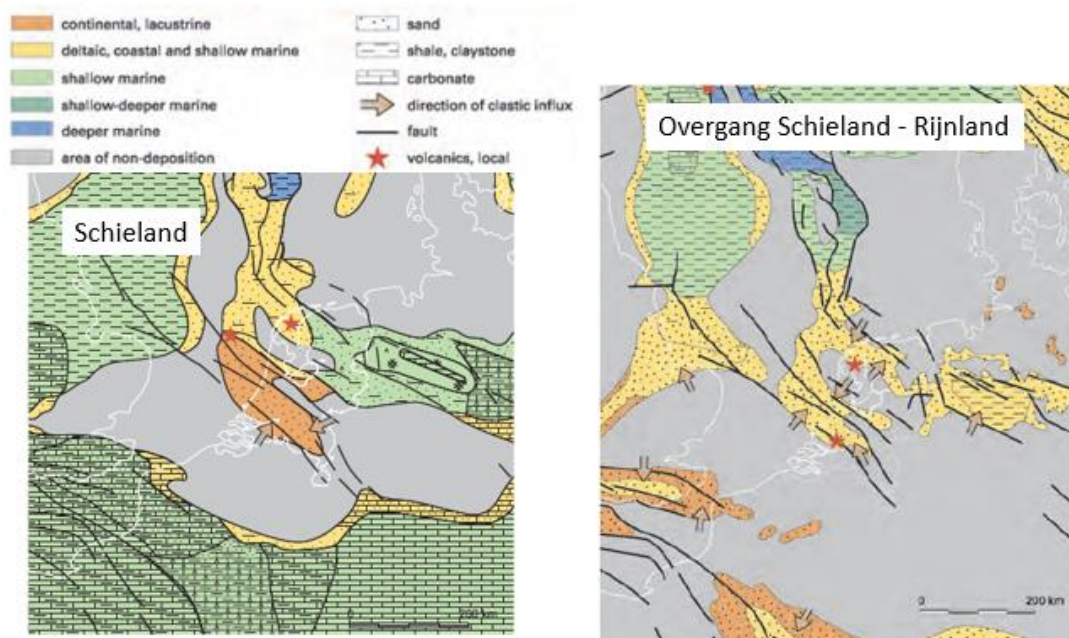
De tektonische activiteiten (als gevolg van het opbreken van het supercontinent Pangea) die optraden tijdens het Laat Jura - vroeg Krijt domineren de huidige structurele configuratie van de Nederlandse ondergrond. In de play-benadering voor de Jura-Krijt sedimenten dient deze structurele situatie, die optrad tijdens afzetting van de sedimenten, meegenomen te worden voor de onderverdeling van de sub-plays (net zoals gedaan is voor de Rotliegend en Trias plays, zie Figuur B.8).

Stap 2: Definiëren afzettingsmilieu

De afzettingen uit het Jura-Krijt bestaan uit vier groepen, de Rijnland Groep, de Nedersachsen Groep, de Scruff Groep en de Schieland Groep. De groepen welke onder de Jura-Krijt play vallen, en geschikt zijn voor het winnen van aardwarmte, zijn de Rijnland en Schieland Groep. Deze groepen bestaan uit meerdere subgroepen, welke weer zijn opgedeeld in formaties en members. In Figuur B.21 is de paleogeografische setting ten tijde van afzetting van de Schieland (links) en Rijnland (rechts) groep weergegeven. Hieruit is op te maken dat het afzettingsmilieu zowel per groep als per locatie varieert. Ten tijde van afzetting van de Schieland Groep was er met name aanvoer van sedimenten in het zuiden van Nederland. Hier heerste een continentaal, lacustrien afzettingsmilieu. In het noordwesten van Nederland was sprake van een delta/kust/ondiep marien klimaat met bijbehorende afzettingen. In het noordoosten van Nederland heerste een ondiep

marien klimaat. Ten tijde van afzetting van de Rijnland Groep was er sprake van een delta/kust/ondiep marien klimaat met bijbehorende afzettingen voor het gehele afzettingsgebied in Nederland.

Omdat de play uit meerdere geschikte groepen, formaties en members bestaat, waarbij het per locatie afhankelijk is of deze wel of niet afgezet zijn en er variatie is in het afzettingmilieu, is gekozen om het afzettingmilieu in eerste instantie niet mee te nemen in de onderverdeling van het Jura-Krijt in Nederland in sub-plays. Het wordt aangeraden om, indien er per regio/sub-play gekeken gaat worden naar de potentie voor aardwarmte, een uitgebreidere geologische inventarisatie uit te voeren waarin het afzettingmilieu mee wordt genomen. Hierbij kan de regio/sub-play verder ingedeeld worden op basis van verschillen in afzettingmilieu die een invloed hebben op de reservoir eigenschappen.



Figuur B.21 | Interpretatie van afzettingmilieu ten tijde van afzetting van de Schieland en Rijnland groep (Ziegler, 1990)

Stap 3: Definiëren play karakteristieken

Voor de Schieland en Rijnland Groep varieert de netto/bruto verhouding (N/G) sterk per formatie en locatie in Nederland. Om de netto dikte te berekenen is gebruik gemaakt van een N/G van 0,50. Dit is een aanname die gedaan is voor heel Nederland, maar om de potentie van het Jura-Krijt beter te onderzoeken wordt aangeraden in een vervolgtraject per sub-play een inschatting te maken van de N/G voor het specifieke gebied van interesse, om zo een betere inschatting te kunnen maken van de aanwezige RH (Recoverable Heat).

Onderverdeling geologische sub-plays

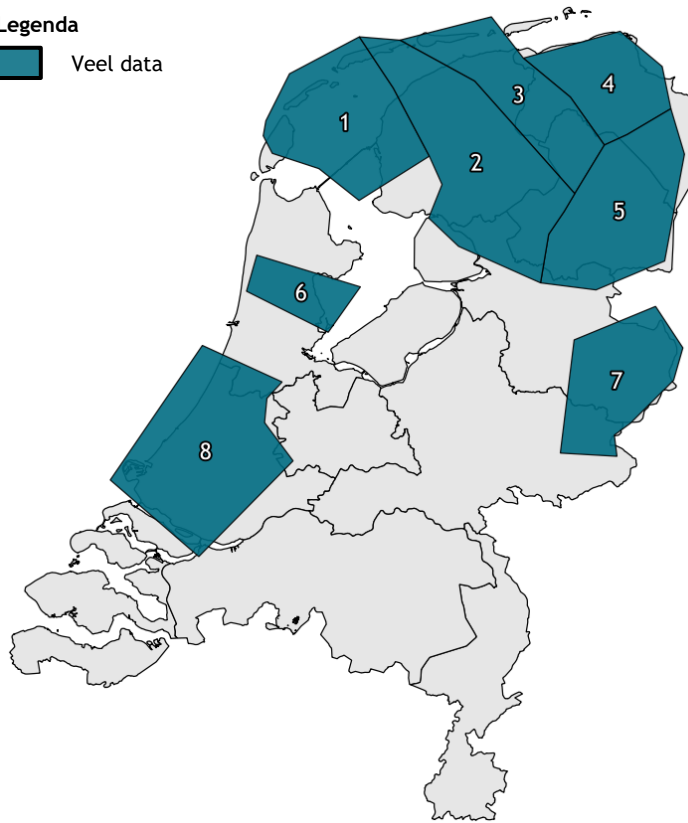
Op basis van de structurele kenmerken en reservoirkarakteristieken kan Nederland voor het Jura-Krijt worden opgedeeld in de sub-plays zoals weergegeven in Figuur B.22.

Voor het onderverdelen van de sub-plays worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Een sub-play bevindt zich binnen dezelfde geologische structuur (e.g. bekken of platform)

Legenda

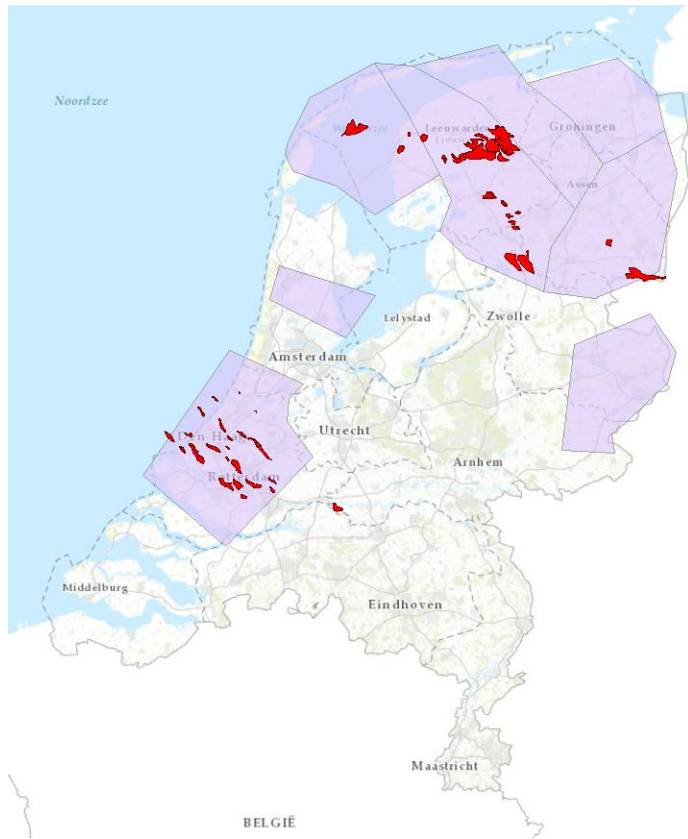
 Veel data



Figuur B.22 | Onderverdeling Jura-Krijt play in 8 sub-plays

Olie- en gasvoorkomens

De olie- en gasvelden in de Jura-Krijt zijn weergegeven in Figuur B.23. Olie- en gasvelden zijn voornamelijk aanwezig in sub-play 2 en 8. Wanneer de olie- en gasvelden worden weggestreept, neemt de hoeveelheid aanwezige aardwarmte (Heat in Place, HIP) af met circa 5%. De olie- en gasvelden komen niet voor in alle voor aardwarmte geschikte lagen. Ingeschat is dat door de olie- en gasvelden het potentieel aan winbare aardwarmte in sub-plays 2 en 8 afneemt met 2,5%.



Figuur B.23 | Olie- en gasvelden Jura-Krijt

Bijlage 3 Kostprijs aardwarmte

In deze bijlage is toegelicht hoe de kostprijs voor aardwarmte is bepaald.

SECTOREN

Bovengronds is gekeken naar de sectoren gebouwde omgeving en naar glastuinbouw. De kostprijs voor aardwarmte zal verschillen per sector. Hieronder staan per sector de belangrijkste aannames die gedaan zijn bij het berekenen van de kostprijs.

Tabel B.2 | Belangrijkste aannames per sector voor het berekenen van de kostprijs

| Sector | Injectietemperatuur [°C] | Equivalentte vollasturen [h/a] |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Gebouwde omgeving | 40 | 3.500 ¹² |
| Glastuinbouw | 30 | 6.000 ¹³ |
| Glastuinbouw + gebouwde omgeving | 30 | 6.000 |

KOSTPRIJS

De kostprijs (in €/GJ) is bepaald door de jaarlijkse kosten (in €/jaar) te delen door de jaarlijkse productie (in GJ/jaar). De investeringskosten zijn daarbij teruggerekend naar jaarlijkse kapitaalslasten. De kostprijs voor warmte ($KP_{aardwarmte}$) wordt berekend door:

$$KP_{aardwarmte} = \frac{K_{kapitaal} + K_{elektriciteit} + K_{exploitatie}}{Q_{aardwarmte}}$$

$K_{kapitaal}$ zijn de kapitaalslasten in €/jaar. Deze is berekend over de totale benodigde investering.

$K_{elektriciteit}$ zijn de kosten voor elektriciteit in €/jaar.

$K_{exploitatie}$ zijn de jaarlijkse exploitatiekosten in €/jaar, met uitzondering van de elektriciteitskosten.

$Q_{aardwarmte}$ is de hoeveelheid warmte die wordt onttrokken aan de aardwarmtebron. Dit is de som van het vermogen en het aantal equivalente vollasturen die de aardwarmtebron per jaar draait.

In de studie van TNO & EBN over play-based portfolio benadering (J.G. Veldkamp et al., 2018) en in de SDE+ 2018 zijn inschattingen te vinden van de kosten voor een gemiddeld aardwarmte systeem. Op basis van deze data is een correlatie opgesteld voor de investeringskosten op basis van de diepte. De correlatie is gegeven door:

¹² Conform 'Geothermische warmte voor stadsverwarming' in het conceptadvies SDE+ 2019

¹³ Conform 'Geothermische warmte, diepte ≥ 500 m' in het conceptadvies SDE+ 2019

$$K_{\text{investering}} = 0,6819 \cdot \text{diepte}^2 + 5.261 \cdot \text{diepte} + 1.669.082$$

Bij de SDE+ 2018 is bij aardwarmte tot 3.500 m diepte gerekend met een referentiesysteem met een vermogen van 13,9 MW. De totale investeringskosten zijn ingeschat op 22,5 M€. TNO en EBN schatten de investeringskosten van een systeem op 3 km diepte in tussen de 14 en 27 M€. Wanneer de correlatie wordt toegepast op een doublet met een diepte van 3.000 meter, wordt de investering ingeschat op 23,6 M€. Dit valt binnen de opgegeven bandbreedte van TNO en EBN en verschilt circa 5% met de inschatting in de SDE+ 2018. Aangenomen is dat de correlatie een goede eerste inschatting geeft van de investeringskosten.

In het SDE+ onrendabele topmodel wordt gerekend met een kapitaalkostenvoet van 5,4% en een looptijd van 15 jaar. Bij deze waarden worden de jaarlijkse kapitaalslasten gegeven door:

$$K_{\text{kapitaal}} = 0,0675 \cdot \text{diepte}^2 + 520,6 \cdot \text{diepte} + 165.180$$

De elektriciteitskosten zijn berekend met:

$$K_{\text{elektriciteit}} = \frac{P_{\text{aardwarmte}}}{COP_{\text{aardwarmte}}} \cdot h_{\text{equivalent}} \cdot \text{vollast} \cdot 65\text{€}$$

$P_{\text{aardwarmte}}$ is het vermogen van het aardwarmtesysteem in MW_t. De COP is de verhouding tussen het aardwarmtevermogen en het elektrisch vermogen van de pompen (ESP en booster pomp). Aangenomen is dat de COP van een gemiddeld aardwarmtesysteem 15 bedraagt. Het aantal equivalente vollasturen per jaar is aangegeven met $h_{\text{equivalent}}$ vollast. Gerekend is met een elektriciteitsstarief van 65 €/MWh.

Op basis van inschattingen voor de exploitatiekosten in de studie van TNO en EBN en op basis van de SDE+ 2018 is een correlatie opgesteld voor de exploitatiekosten (exclusief kosten voor elektriciteit). Deze is gegeven door:

$$K_{\text{exploitatie}} = 0,0586(0,6819\text{diepte}^2 + 5.261\text{diepte} + 1.669.082)$$

TNO en EBN schatten de exploitatiekosten (inclusief elektriciteit) in tussen de 900 en 2.100 k€. In de SDE+ 2018 liggen de exploitatiekosten (inclusief elektriciteit) op 1.700 k€. Wanneer de correlatie voor exploitatiekosten en de formule voor de elektriciteitskosten worden gebruikt, liggen de exploitatiekosten bij een systeem van 13,9 MW met een diepte van 3 km en 6.000¹⁴ draaiuren per jaar op 1.750 k€. Dit valt binnen de opgegeven bandbreedte van TNO en EBN en verschilt circa 3% met de inschatting in de SDE+ 2018. Aangenomen is dat met de correlatie en formule voor elektriciteitskosten een goede inschatting wordt gemaakt van de totale exploitatiekosten (inclusief elektriciteit).

De hoeveelheid aardwarmte (in GJ/jaar) die wordt onttrokken is berekend met:

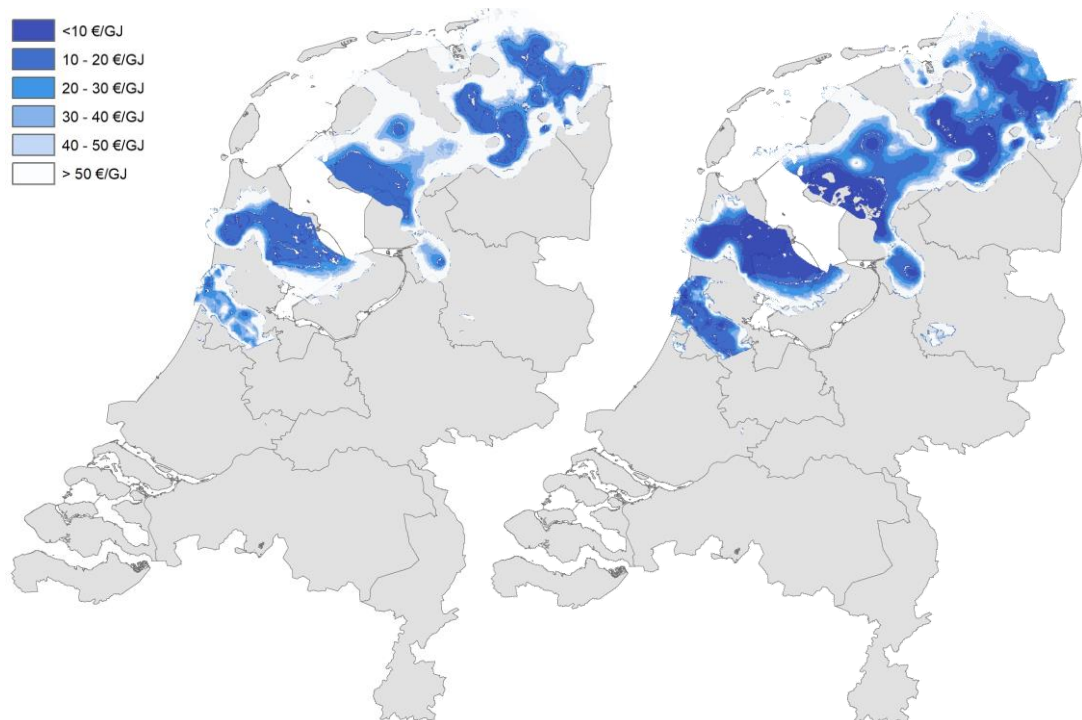
¹⁴ De correlatie is gevalideerd met 6.000 equivalente vollasturen. Deze waarde wordt binnen de SDE+ 2018 ook gehanteerd en deze waarde zal dicht in de buurt liggen van bestaande aardwarmtesystemen. Merk op dat in deze studie, conform de SDE+ 2019 conceptadvies, voor warmtenetten gerekend wordt met 3.500 equivalente vollasturen. In geval van warmtenetten zal voor $h_{\text{equivalente}} \text{ vollast}$ dus een waarde van 3.500 vollasturen moeten worden ingevuld.

$$Q_{aardwarmte} = 3,6 \cdot P_{aardwarmte} \cdot h_{equivalent\ vollast}$$

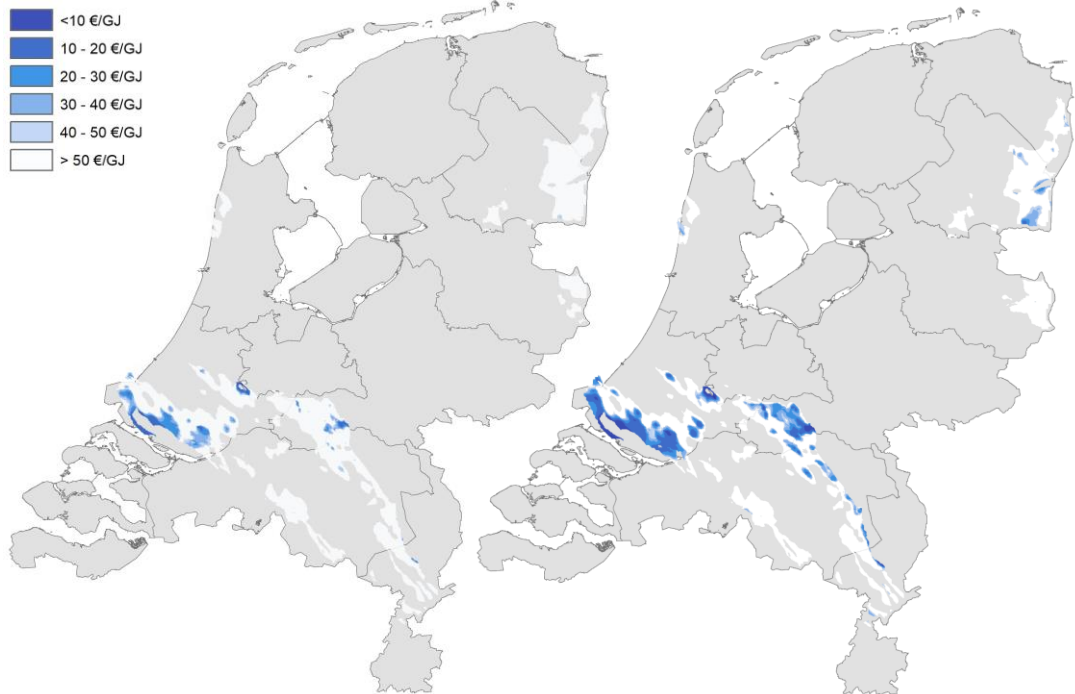
Met bovenstaande vergelijkingen en correlaties is het mogelijk om op basis van de diepte en vermogen de kostprijs voor aardwarmte te berekenen.

Bij de analyse van de ondergrond zijn op basis van data uit ThermoGIS, aangevuld met data uit de Noord-Holland studie van IF, de diepte en het verwachte vermogen (P50) bepaald voor de drie plays. Het vermogen is bepaald voor toepassing in de glastuinbouw (injectietemperatuur van 30°C) en voor de gebouwde omgeving (injectietemperatuur van 40°C). In onderstaande figuren zijn de berekende kostprijzen weergegeven voor de verschillende plays en verschillende sectoren.

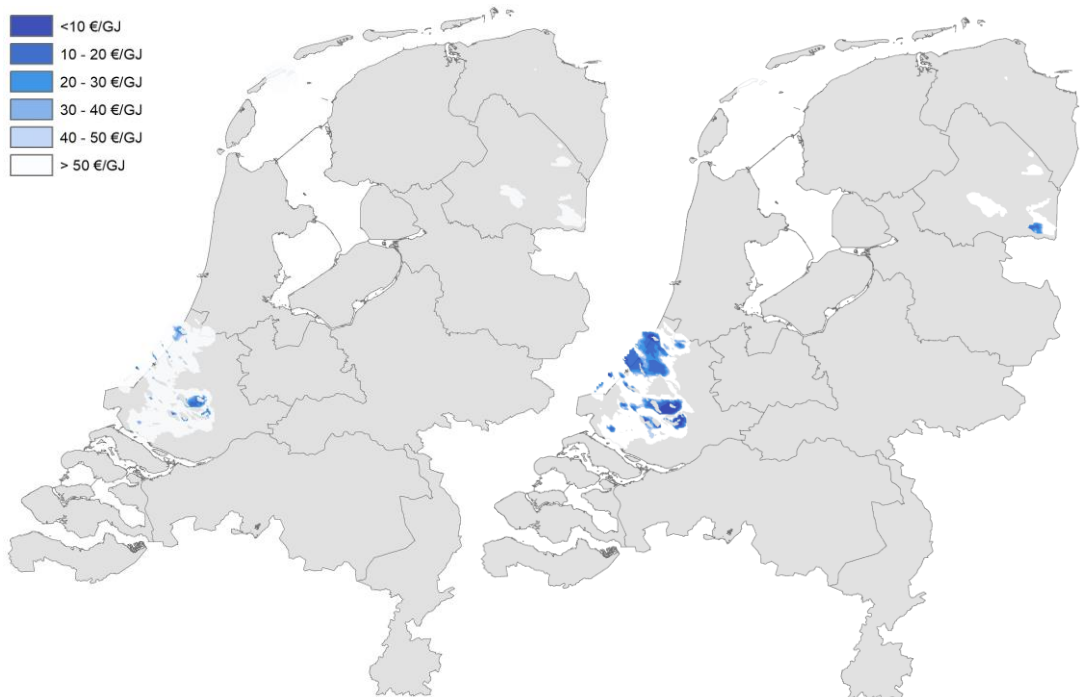
Wat opvalt is dat de spreiding in kostprijs zeer groot is. Dit komt doordat er geen cut-off waarden zijn gebruikt, waardoor er ook een kostprijs is berekend in gebieden waar het verwachte vermogen zeer laag is. In dat geval schiet de kostprijs omhoog.



Figuur B.24 | Links: Berekende kostprijs voor gebouwde omgeving Rotliegend Rechts: Berekende kostprijs voor glastuinbouw Rotliegend



Figuur B.25 | Links: Berekende kostprijs voor gebouwde omgeving Trias Rechts: Berekende kostprijs voor glastuinbouw Trias



Figuur B.26 | Links: Berekende kostprijs voor gebouwde omgeving Jura-Krijt Rechts: Berekende kostprijs voor glastuinbouw Jura-Krijt

Bijlage 4 Toelichting CEGOIA

In deze bijlage wordt een beknopte modeluitleg gegeven. Aan het einde van deze bijlage staat een overzicht van alle in het model gehanteerde inputwaarden en aannames.

CE Delft heeft de afgelopen jaren het CEGOIA-rekenmodel ontwikkeld om berekeningen te maken van de totale ketenkosten van een klimaatneutrale warmtevoorziening. De berekeningen worden gemaakt op buurtniveau. Met het CEGOIA-model worden voor elke buurt alle mogelijke kostencombinaties doorgerekend voor schilisolatie van de gebouwen en wijze van invulling van de resterende warmtevraag, inclusief de daarbij horende kosten van energie-infrastructuur. We benadrukken dat het geen blauwdruk oplevert van hoe het moet, maar wel een transparante doorrekening geeft van welke combinatie in een buurt de laagste kosten over de keten heeft. De investeringen in die combinatie leveren daarmee ook het hoogste CO₂-rendement, met daarbij de kanttekening dat in het eindbeeld alle resterende ingezette energiedragers klimaatneutraal zijn.

Overigens kunnen de uitkomsten van de integrale ketenkosten-aanpak verschillen van een uitkomst waarbij de zgn. Trias Energetica wordt gevolgd. Daarbij worden eerst rendabele besparingsinvesteringen gedaan die zichzelf terugverdienen over hun levensduur, waarna in een vervolgstap de resterende warmtevraag klimaatneutraal wordt ingevuld. Het kan zijn dat de totale kosten van die aanpak hoger uitkomen dan wanneer direct van het begin af aan een integrale afweging wordt gemaakt zoals in dit project. Daarnaast kunnen prijzen afwijken van kosten. Zo worden de kosten van elektriciteits- en gasnetten bijvoorbeeld gesocialiseerd, hetgeen betekent dat ze over alle aangeslotenen worden omgeslagen ook als maar een beperkt deel van die aangeslotenen de feitelijke veroorzaker van de kosten is. Die uitkomst kan gebruikt worden als input voor een proces om gezamenlijk te bepalen hoe de gewenste eindsituatie eruitziet.

BUURTNIVEAU ALS BASIS

Er zijn verschillende soorten oplossingen om de warmtevraag van gebouwen klimaatneutraal in te vullen. Sommige oplossingen zijn 'individueel', zoals 'all electric' in combinatie met een forse nisolatie en een laagtemperatuur warmte-afgiftesysteem in het gebouw. Andere oplossingen zijn 'collectief', zoals de aanleg van warmtedistributienet.

Wat de kostenoptimale oplossing per buurt is, hangt sterk af van het type, de eigenschappen en mogelijkheden van de gebouwen in de buurt. Gaat het bijvoorbeeld om dichtbebouwde historische binnensteden, recente hoogbouw, een dorpskern, buitengebied of bedrijventerrein? En zijn er mogelijkheden voor restwarmte, geothermie, WKO of groengas? CEGOIA maakt daarom berekeningen op buurtniveau (CBS-indeling), waarbij de karakteristieken van een buurt worden gebruikt als input voor het model. Hierbij valt te denken aan het type bebouwing (gestapeld, grondgebonden, gemiddeld oppervlak, woningtype), het bouwjaar van de gebouwen, de gebouwfuncties (woningen, kantoren, winkels, etc.) en de dichtheid van de bebouwing (aantal gebouwen per hectare). Daarnaast wordt ook het huidige energieverbruik en het gemiddelde energielabel van de buurt gebruikt als input voor het model.

TOTALE KETENKOSTEN

CEGOIA berekent de kosten over de gehele keten: distributie (de energie-infrastructuur), productie (energieverbruik), installaties (warmte-opwektechnieken), gebouwmaatregelen (isolatie) en belastingen. Hierbij worden zowel de investeringskosten ('CAPEX') als de jaarlijkse kosten ('OPEX'; energiegebruik, onderhoudskosten, e.d.) meegenomen.

Er staan twee zaken centraal in de transitie: de investering in isolatie van de bouwschil en in de gebouwinstallatie, en de rol van de energie-infrastructuren die oplossingen mogelijk maken: gas-, elektriciteits- en warmtenetten. Het is dan ook essentieel dat deze schakels in de keten van de energievoorziening integraal meegenomen worden bij de afweging voor de keuze van een toekomstige warmtevoorziening. Zonder warmtenet kan een woning immers niet op een centrale warmtebron aangesloten worden. En ook de kosten van de netverzwaring die nodig zijn bij een all electric-oplossing dienen inzichtelijk te zijn in de afweging, ook al worden die laatste via de netbeheerder door iedereen betaald. Het model rekent met de werkelijke kosten voor de energie-infrastructuur. Dit wil zeggen dat bijvoorbeeld het onderhouden van een gasnet in het buitengebied per woning wezenlijk duurder is dan voor een buurt met recente hoogbouw, ook al is dat niet zichtbaar in de tarieven van de netbeheerder.

De energiekosten hangen samen met gebruikte techniek en het isolatieniveau van de gebouwen. Een klimaatneutrale HR-ketel draait op groengas, een hybride warmtepomp maakt daarnaast ook gebruik van elektriciteit om in de warmtebehoefte te voorzien. Het model berekent de energiekosten van alle gekozen technieken bij alle mogelijke schil-isolatieniveaus (G t/m A+ voor de woningen en drie isolatieniveaus voor utiliteitsbouw). Hierbij wordt het huidige gemiddelde energieverbruik en energielabel van de buurt als uitgangspunt gebruikt.

De installatiekosten hangen af de verwarmingstechniek. In dit onderzoek wordt gerekend met de volgende technieken:

- brandstofcel-WKK (HT);
- elektrische WP (buitenlucht);
- elektrische WP (bodemwarmtewisselaar);
- restwarmte;
- geothermie;
- wijk-WKK;
- WKO.

Bij het doorrekenen van de variant met groengas is tevens gerekend aan de volgende opties:

- hybride WP (buitenlucht);
- hybride WP (ventilatielucht).

Voor een goede samenvatting van bovengenoemde technieken verwijzen wij graag naar de website van [hierverwarmt](#). De brandstofcel is de enige techniek die niet op deze website staat omschreven. De brandstofcel is, als innovatieve techniek, toegevoegd in het basisscenario. Een brandstofcel maakt van (hernieuwbaar) gas elektriciteit en warmte, wat ingezet kan worden in de woning. Vanwege het innovatieve karakter is een brandstofcel een relatief dure techniek.

Bij warmtedistributie (restwarmte, geothermie, wijk-WKK) wordt ervan uitgegaan dat de zogenaamde piekwarmte geproduceerd wordt met hernieuwbaar gas, dus niet met aardgas.

Alle technieken worden doorgerekend in combinatie met alle mogelijke besparingsniveaus van de gebouwen. Bij de elektrische warmtepomp wordt hierbij een minimale schileis van label B verondersteld. Dit om een gelijkwaardig comfort van de warmtevoorziening te waarborgen. De hybride warmtepomp op ventilatielucht wordt alleen doorgerekend voor woningen met huidig label C en beter. Dit in verband met de aanwezigheid van een ventilatiekanaal, dat nodig is om de hybride warmtepomp toe te kunnen passen.

Ook de belastingen worden door het model meegenomen. De belastingen bestaan uit BTW op alle kostenonderdelen, de energiebelasting op gas en elektriciteit, de opslag duurzame energie op gas en elektriciteit en de belastingvermindering op de energierekening van woningen. Hierbij worden de tarieven van 2016 gehanteerd.

VAN INVESTERING NAAR JAARLIJKSE KOSTEN

Het model berekent de jaarlijkse kosten, CAPEX en OPEX, voor alle keten-onderdelen van de warmtelevering. Alle investeringskosten worden omgerekend naar jaarlijkse kosten, door middel van een specifieke discontovoet en afschrijftermijn. Hiermee wordt impliciet dus ook rekening gehouden met het doen van vervangingsinvesteringen.

DE GEBOUWDE OMGEVING

In dit onderzoek worden utiliteitsbouw en woningen aangeduid als 'gebouwde omgeving'. De energievraag van de industrie en landbouw valt buiten de scope van deze studie. De berekeningen voor utiliteit worden uitgesplitst naar sector. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende utiliteitssectoren:

- kantoren;
- winkels;
- gezondheidszorg;
- logies;
- onderwijs;
- bijeenkomst;
- sport;
- cellengebouw.

De focus van de berekeningen is de bestaande bouw. Het merendeel van de gebouwen die er vandaag staan zullen er immers in 2050 nog steeds staan. Bovendien gelden er strenge eisen voor de energiezuinigheid van nieuwbouw (EPC-eisen) en vanaf eind 2020 moeten alle nieuwe gebouwen in Nederland bijna energieneutrale gebouwen (BENG) zijn. De bijkomende warmtevraag door nieuwbouw is daarom zeer gering in vergelijking tot de totale warmtevraag van de bestaande bouw. Desalniettemin zijn bestaande nieuwbouwplannen wel uitgevraagd bij de gemeente en daar waar relevant qua volumes ook meegenomen in de modelberekeningen.

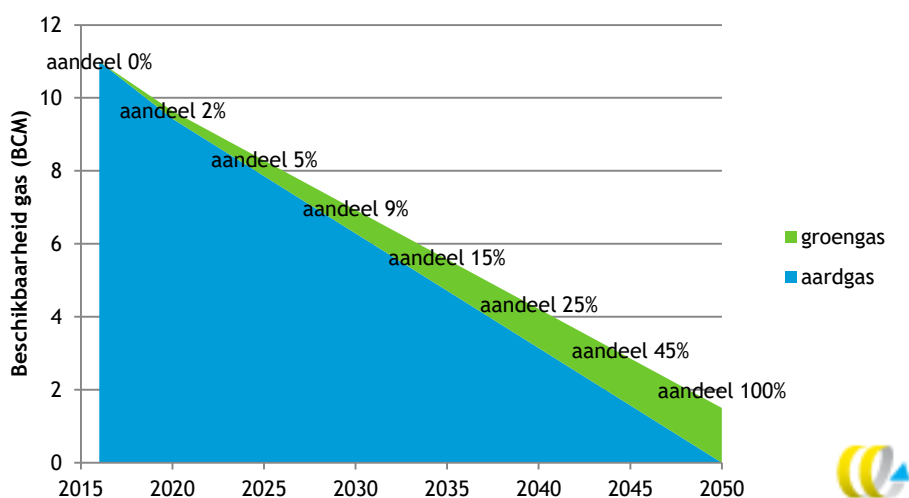
BELANGRIJKE INPUTGEGEVENS

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de gehanteerde energiekosten van gas en elektriciteit en de gehanteerde discontovoeten en afschrijftermijnen.

ONTWIKKELING BESCHIKBAARHEID GAS EN GASPRIJS

CE Delft neemt aan dat het potentieel van groengas in 2050 2 bcm (miljard kubieke meter) bedraagt. Omdat groengas een-op-een uitwisselbaar is met aardgas, wordt in deze studie ervan uitgegaan dat voor de gebouwde omgeving groengas rechtstreeks beschikbaar is (maximaal 2 bcm gehele gebouwde omgeving; maximaal 1,5 bcm alleen woningen) en dat voor de piekvoorziening van collectieve warmte hernieuwbare gas beschikbaar is. In Figuur B.27 wordt het aandeel groengas weergegeven bij een lineaire toename van groengas en tegelijkertijd een lineaire afname van de hoeveelheid aardgas in de loop naar 2050.

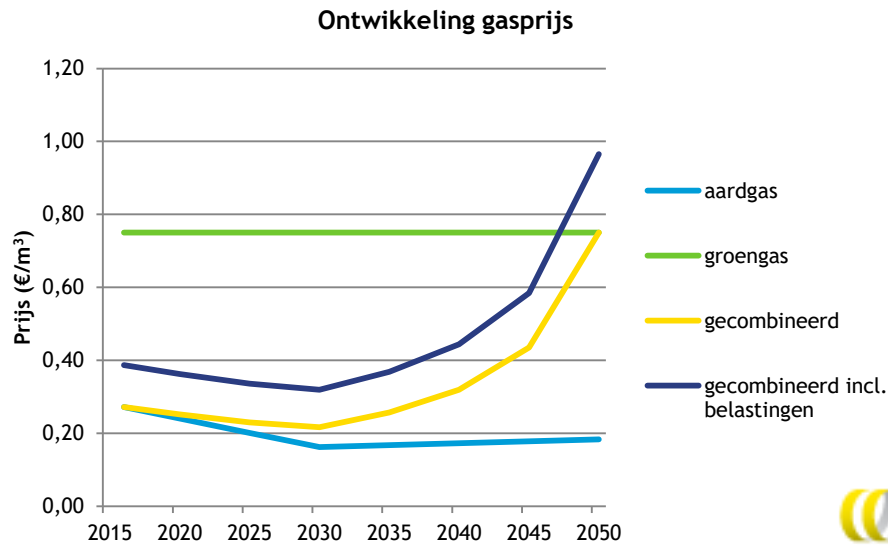
Ontwikkeling gasaandeel



Figuur B.27 | Ontwikkeling beschikbare hoeveelheid gas met het aandeel groengas

Voor de ontwikkeling van de aardgasprijs wordt aangesloten bij de studie Welvaart en Leefomgeving¹⁵. Hierbij is gebruikt gemaakt van het scenario 'Hoog'. Voor de groengasprijs wordt 0,75 €/m³ exclusief belastingen aangenomen. Het model rekent in tussenliggende jaren met een gecombineerde gasprijs op basis van het aandeel aardgas en het aandeel groengas. De opbouw van de gasprijs is weergegeven in Figuur B.28.

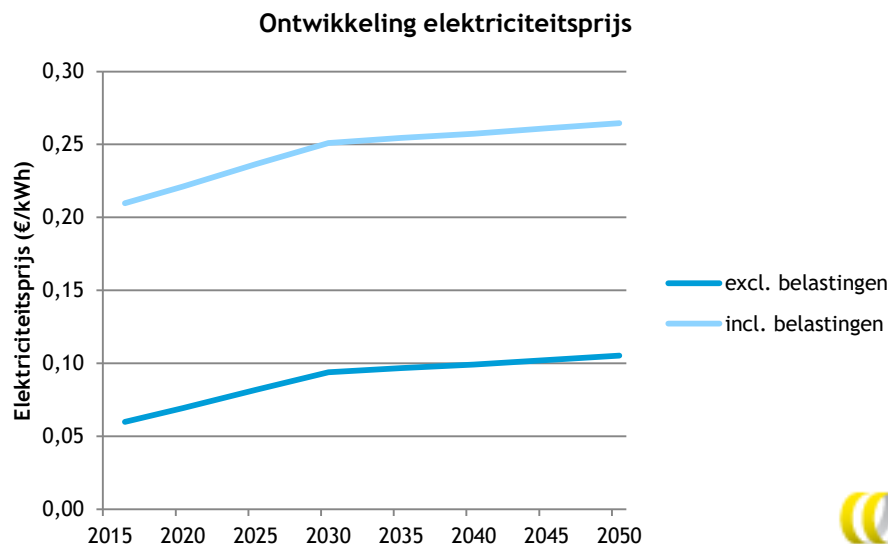
¹⁵ KLIMAAT EN ENERGIE ACHTERGRONDDOCUMENT, WLO - Welvaart en Leefomgeving, Toekomstverkenning 2030 en 2050, CPB/PBL, 30 maart 2016.



Figuur B.28 | Ontwikkeling van de gasprijs

ONTWIKKELING ELEKTRICITEITSPRIJS

Voor de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs wordt aangesloten bij het scenario 'Hoog' uit de studie Welvaart en Leefomgeving¹⁶.



Figuur B.29 | Ontwikkeling elektriciteitsprijs

¹⁶ KLIMAAT EN ENERGIE ACHTERGRONDDOCUMENT, WLO - Welvaart en Leefomgeving, Toekomstverkenning 2030 en 2050, CPB/PBL, 30 maart 2016.

GEHANTEERDE DISCONTOVOETEN EN AFSCHRIJFTERMIJNEN

Alle investeringen worden in het model omgerekend naar jaarlijkse kosten. Dit gebeurt met een specifieke discontovoet en afschrijfstermijn, afhankelijk van het type investering. De gehanteerde discontovoeten zijn weergegeven in Tabel B.3 en de gehanteerde afschrijfstermijnen in Tabel B.4.

Tabel B.3 | Gehanteerde discontovoeten

| Onderdeel | Discontovoet |
|--------------------------------------|--------------|
| Warmtenet | 6,0% |
| Energie-infrastructuur Elektra + gas | 3,0% |
| Woningen particulier | 5,5% |
| Woningen corporatie | 3,75% |
| Utiliteit | 8,0% |
| Glastuinbouw | 8,0% |

Tabel B.4 | Gehanteerde afschrijfstermijnen

| Onderdeel | Afschrijfstermijn |
|--------------------------|-------------------|
| Collectieve installaties | 25 jaar |
| Gebouwinstallaties | 15 jaar |
| Energie-infrastructuur | 40 jaar |
| Gebouwmaatregelen | 25 jaar |
| Zonneboiler | 25 jaar |
| Zonnepanelen | 25 jaar |

Tabel B.5 | Inputwaarden individuele warmtetechnieken

| Techniek | Investering | Leercurve ¹⁷ | Rendement ¹⁸ | Onderhoud ¹⁹ |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| HR-ketel | € 1.500 | Langzaam | 0,94/0,70 | 2% |
| Hybride warmtepomp (buitenlucht) | € 5.000 | Snel | Variabel ²⁰ | 2% |
| Hybride warmtepomp (ventilatie) | € 4.023 | Snel | Variabel ²⁰ | 2% |
| Elektrische lucht-warmtepomp | € 8.000 | Snel | 3,7/- | 2% |
| Elektrische bodemwarmtepomp | € 12.500 | Snel | 4,4/- | 2% |
| CV-ketel (vaste biomassa) | € 8.000 | Langzaam | 0,86/- | 5% |
| Elektrische boiler (warm tapwater) | € 1.112 | Langzaam | -/0,75 | 0% |

¹⁷ In de berekeningen wordt gekeken naar investeringskosten in de toekomst. Om rekening te houden met prijsontwikkelingen is een leercurve toegepast op de prijzen van nu. Dit wordt gedaan in drie snelheden. Zie Figuur B.30.

¹⁸ Het rendement voor ruimteverwarming/warm tapwater.

¹⁹ De jaarlijkse onderhoudskosten zijn uitgedrukt als percentage van de investering.

²⁰ Zie Tabel B.7.

Tabel B.6 | Inputwaarden collectieve warmtetechnieken

| Techniek | Investering | Leercurve ¹⁷ | Onderhoud |
|----------------------|-------------|-------------------------|-----------|
| Restwarmte industrie | 250 €/kW | Snel | 5% |
| Geothermie | 1.820 €/kW | Snel | 3% |
| Wijk-WKK | 1.300 €/kW | Langzaam | 1% |
| WKO | 1.133 €/kW | Snel | 0,5% |

Tabel B.7 | Inputwaarden hybride warmtepomp

| Techniek | Schil | Aandeel elektrisch | Rendement elektrisch | Rendement gas |
|-----------------|-------|--------------------|----------------------|---------------|
| Buitenlucht | A | 0,52 | 3,68 | 0,70 |
| | B | 0,49 | 3,72 | 0,70 |
| | C | 0,47 | 3,75 | 0,70 |
| | D | 0,45 | 3,78 | 0,70 |
| | E | 0,42 | 3,81 | 0,70 |
| | F | 0,40 | 3,84 | 0,70 |
| | G | 0,38 | 3,86 | 0,70 |
| Ventilatielucht | A | 0,58 | 4,27 | 0,70 |
| | B | 0,56 | 4,28 | 0,70 |
| | C | 0,49 | 4,29 | 0,70 |

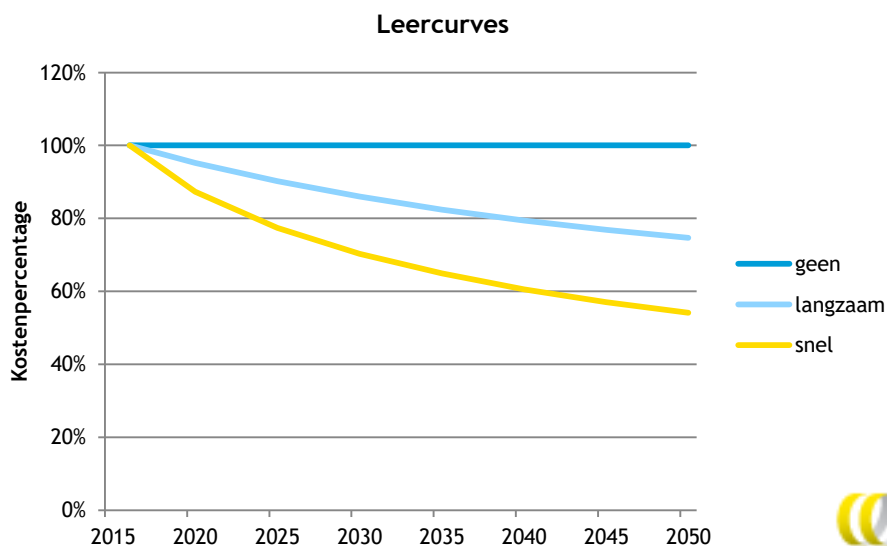
Tabel B.8 | Inputwaarden afgiftesystemen per bruto vloeroppervlak

| Afgiftesysteem | Investering |
|-----------------|---------------------|
| LT-radiatoren | 14 €/m ² |
| HT-radiatoren | 16 €/m ² |
| Vloerverwarming | 72 €/m ² |

Tabel B.9 | Inputwaarden overige technieken

| Techniek | Investering | Leercurve ¹⁷ | Rendement | Onderhoud |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------|
| Monoblock koelsysteem | € 1.000 | Snel | 0,40 | 0% |
| Mechanische ventilatie | € 1.500 | Snel | 0,80 | 2% |
| WTW - douchepijp | € 487 | Snel | 50% besparing ²¹ | 2% |
| Zonneboiler voor warm tapwater | € 2.524 | Snel | 50% besparing ²¹ | 2% |
| Zon-PV | 285 €/m ² | Snel | 150 kWh/m ² | 0% |

²¹ De installatie zorgt voor een besparing van 50% op de warm tapwatervraag.



Figuur B.30 | Leercurves op investeringen door innovaties

Tabel B.10 | Besparing op de warmtevraag voor ruimteverwarming van woningen per schilstep

| Schil | A+ ²² | A | B | C | D | E | F | G |
|-----------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Huidig G | 73% | 45% | 34% | 28% | 18% | 10% | 3% | 0% |
| Huidig F | 69% | 43% | 32% | 26% | 15% | 7% | 0% | - |
| Huidig E | 62% | 39% | 27% | 20% | 8% | 0% | - | - |
| Huidig D | 54% | 34% | 20% | 13% | 0% | - | - | - |
| Huidig C | 43% | 24% | 8% | 0% | - | - | - | - |
| Huidig B | 33% | 17% | 0% | - | - | - | - | - |
| Huidig A | 23% | 0% | - | - | - | - | - | - |
| Huidig A+ | 0% | - | - | - | - | - | - | - |

Op de investeringskosten voor isolatiemaatregelen wordt de langzame leercurve toegepast, met uitzondering van isoleren naar energielabel A+, hierbij wordt de snelle leercurve toegepast.

²² Het label A+ wordt enkel toegepast in combinatie met een elektrische warmtepomp en zonnepanelen: de zogenaamde Nul-Op-de-Meter-woning.

Tabel B.11 | Investeringskosten in €/m² voor isolatiemaatregelen van gestapelde woningen

| Schil | A+ | A | B | C | D | E | F | G |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---|
| Huidig G | 441 | 141 | 116 | 102 | 80 | 57 | 30 | 0 |
| Huidig F | 337 | 138 | 107 | 89 | 61 | 30 | 0 | - |
| Huidig E | 337 | 132 | 96 | 75 | 43 | 0 | - | - |
| Huidig D | 253 | 160 | 80 | 34 | 0 | - | - | - |
| Huidig C | 267 | 157 | 72 | 0 | - | - | - | - |
| Huidig B | 119 | 84 | 0 | - | - | - | - | - |
| Huidig A | 64 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| Huidig A+ | 0 | - | - | - | - | - | - | - |

Tabel B.12 | Investeringskosten in €/m² voor isolatiemaatregelen van grondgebonden woningen

| Schil | A+ | A | B | C | D | E | F | G |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---|
| Huidig G | 303 | 170 | 140 | 123 | 96 | 66 | 33 | 0 |
| Huidig F | 277 | 166 | 128 | 106 | 72 | 35 | 0 | - |
| Huidig E | 232 | 147 | 107 | 85 | 49 | 0 | - | - |
| Huidig D | 198 | 122 | 76 | 49 | 0 | - | - | - |
| Huidig C | 218 | 185 | 69 | 0 | - | - | - | - |
| Huidig B | 82 | 70 | 0 | - | - | - | - | - |
| Huidig A | 31 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| Huidig A+ | 0 | - | - | - | - | - | - | - |

De toegepaste leercurve op de isolatiekosten voor utiliteitsgebouwen in de langzame curve.

Tabel B.13 | Warmtevraag in GJ/m² en investeringskosten voor isolatiemaatregelen in €/m² van utiliteit

| BAG-functie | Bouwjaar | Huidige warmtevraag (GJ/m ²) | Isolatie- niveau B (GJ/m ²) | Isolatie- niveau A (GJ/m ²) | Kosten niveau B (€/m ²) | Kosten niveau A (€/m ²) |
|-----------------|------------|--|---|---|---|---|
| Kantoor | Tot 1920 | 1,01 | 0,27 | 0,19 | 78 | 104 |
| | 1920-1974 | 0,80 | 0,24 | 0,17 | 77 | 104 |
| | 1975-1989 | 0,41 | 0,22 | 0,16 | 71 | 98 |
| | 1990-1994 | 0,37 | 0,22 | 0,15 | 70 | 97 |
| | Vanaf 1990 | 0,31 | 0,21 | 0,15 | 67 | 93 |
| Winkel | Tot 1920 | 0,51 | 0,15 | 0,10 | 92 | 121 |
| | 1920-1974 | 0,41 | 0,13 | 0,09 | 91 | 121 |
| | 1975-1989 | 0,21 | 0,12 | 0,09 | 83 | 113 |
| | 1990-1994 | 0,20 | 0,11 | 0,08 | 82 | 111 |
| | Vanaf 1990 | 0,16 | 0,11 | 0,08 | 77 | 107 |
| Gezondheidszorg | Tot 1920 | 1,15 | 0,39 | 0,27 | 92 | 122 |
| | 1920-1974 | 0,84 | 0,37 | 0,26 | 91 | 122 |
| | 1975-1989 | 0,47 | 0,34 | 0,24 | 84 | 114 |
| | 1990-1994 | 0,47 | 0,31 | 0,22 | 82 | 112 |
| | Vanaf 1990 | 0,39 | 0,30 | 0,21 | 78 | 108 |
| Logies | Tot 1920 | 0,75 | 0,27 | 0,19 | 88 | 117 |
| | 1920-1974 | 0,60 | 0,24 | 0,17 | 87 | 117 |
| | 1975-1989 | 0,33 | 0,23 | 0,16 | 81 | 111 |
| | 1990-1994 | 0,31 | 0,22 | 0,16 | 79 | 109 |
| | Vanaf 1990 | 0,27 | 0,21 | 0,15 | 76 | 106 |
| Onderwijs | Tot 1920 | 0,55 | 0,16 | 0,11 | 85 | 114 |
| | 1920-1974 | 0,42 | 0,15 | 0,10 | 85 | 114 |
| | 1975-1989 | 0,23 | 0,13 | 0,09 | 75 | 105 |
| | 1990-1994 | 0,22 | 0,12 | 0,08 | 74 | 103 |
| | Vanaf 1990 | 0,17 | 0,12 | 0,08 | 69 | 98 |
| Bijeenkomst | Tot 1920 | 0,55 | 0,21 | 0,14 | 78 | 106 |
| | 1920-1974 | 0,79 | 0,34 | 0,24 | 77 | 105 |
| | 1975-1989 | 0,60 | 0,41 | 0,28 | 71 | 99 |
| | 1990-1994 | 0,61 | 0,40 | 0,28 | 70 | 98 |
| | Vanaf 1990 | 0,42 | 0,34 | 0,24 | 66 | 94 |
| Sport | Tot 1920 | 0,80 | 0,32 | 0,22 | 128 | 180 |
| | 1920-1974 | 0,65 | 0,34 | 0,23 | 127 | 179 |
| | 1975-1989 | 0,42 | 0,31 | 0,22 | 115 | 167 |
| | 1990-1994 | 0,42 | 0,30 | 0,21 | 112 | 164 |
| | Vanaf 1990 | 0,35 | 0,28 | 0,19 | 105 | 157 |
| Cel | Tot 1920 | 1,21 | 0,38 | 0,27 | 53 | 72 |
| | 1920-1974 | 0,82 | 0,38 | 0,27 | 53 | 71 |
| | 1975-1989 | 0,49 | 0,33 | 0,23 | 50 | 68 |
| | 1990-1994 | 0,49 | 0,30 | 0,21 | 49 | 67 |
| | Vanaf 1990 | 0,39 | 0,30 | 0,21 | 47 | 65 |

Tabel B.14 | Overige energievragen van woningen

| Woningschil | Ventilatie (GJ/m ²) | Koude (GJ/m ²) | Hulpenergie (GJ/m ²) | Warm tapwater (GJ/pp) |
|-------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| A+ | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 3,0 |
| A | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 3,0 |
| B | 0,02 | 0,05 | 0,01 | 3,0 |
| C | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 3,0 |
| D | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 3,0 |
| E | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 3,0 |
| F | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 3,0 |
| G | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 3,0 |

Tabel B.15 | Overige energievragen van utiliteit

| BAG-functie | Ventilatie (GJ/m ²) | Koude (GJ/m ²) | Hulpenergie (GJ/m ²) | Koudevraag (GJ/m ²) | Warm tapwater (GJ/m ²) |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Kantoor | 0,019 | 0,034 | 0,007 | 0,034 | 0,006 |
| Winkel | 0,008 | 0,011 | 0,010 | 0,011 | 0,006 |
| Gezondheidszorg | 0,046 | 0,030 | 0,016 | 0,030 | 0,095 |
| Logies | 0,048 | 0,077 | 0,019 | 0,077 | 0,065 |
| Onderwijs | 0,009 | 0,002 | 0,009 | 0,002 | 0,007 |
| Bijeenkomst | 0,048 | 0,077 | 0,019 | 0,077 | 0,065 |
| Sport | 0,081 | 0,000 | 0,042 | 0,000 | 0,079 |
| Cel | 0,048 | 0,077 | 0,019 | 0,077 | 0,065 |

Tabel B.16 | Ouderdomsfactoren: kostenverhogende factor vanwege de ouderdom van de gebouwen

| Investeringsonderdeel | Bouwjaar voor 1900 | Bouwjaar 1900-1945 | Bouwjaar na 1945 |
|------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Isolatiemaatregelen | 2 | 1,5 | 1 |
| Amovering | 1,3 | 1 | 0,65 |
| Energie-infrastructuur | 2 | 1,5 | 1 |

Tabel B.17 | Inputwaarde potentieel dakoppervlakte zon-PV

| BAG-functie | Ratio dak/bruto vloeroppervlak | Aandeel dakoppervlak beschikbaar |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Woning - grondgebonden | 0,25 | 1/3 |
| Woning - gestapeld | 0,33 | 1/2 |
| Kantoor | 0,48 | 1/2 |
| Winkel | 0,50 | 1/2 |
| Gezondheidszorg | 0,40 | 1/2 |
| Logies | 0,50 | 1/2 |
| Onderwijs | 0,71 | 1/2 |
| Bijeenkomst | 0,40 | 1/2 |
| Sport | 1,00 | 1/2 |
| Cel | 0,26 | 1/2 |

De kosten voor netverzwaring bij gebruik van elektrische warmtepompen bedragen 961 euro/kW (zonder leercurve).

Tabel B.18 | Inputwaarde netverzwaring elektriciteit

| Techniek | Isolatieschil | Netverzwaring ²³ (kW) |
|-----------------------|---------------|----------------------------------|
| Bodemwarmtepomp | A+ | 0,5 |
| | A | 1,1 |
| | B | 1,7 |
| Lucht-waterwarmtepomp | A+ | 1,9 |
| | A | 4,1 |
| | B | 7,2 |

Tabel B.19 | Productiekosten warmtebronnen

| Warmtebron | Kosten (€/GJ) | Opmerking |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Afvalverbrandingsinstallatie | 2,67 | - |
| Biomassacentrale | 20 | - |
| Geothermie | Elektriciteitsprijs/20 | SPF 20 (pompenergie) |
| Industrie | Elektriciteitsprijs/20 | SPF 20 (pompenergie) |
| Gasturbine | 4,94 | - |
| Kolencentrale | 2,38 | - |
| STEG | 4,94 | - |
| WKO | Elektriciteitsprijs/3,5 | SPF 3,5 |

²³ Inclusief gelijktijdigheidsfactor.

Tabel B.20 | Bijstookfactor warmtebronnen

| Schil | Bijstook (%) | Rendement bijstook |
|-------|--------------|--------------------|
| A+ | 10,0% | 0,9 |
| A | 12,5% | 0,9 |
| B | 15,0% | 0,9 |
| C | 17,5% | 0,9 |
| D | 20,0% | 0,9 |
| E | 22,5% | 0,9 |
| F | 25,0% | 0,9 |
| G | 27,50% | 0,9 |

Voor warmtelevering met een warmtenet wordt een leidingverlies aangehouden van 15%.
De gelijktijdigheidsfactor voor de aansluitingen op het warmtenet wordt verondersteld op 50%.

Tabel B.21 | Inputwaarde warmtenet

| Type gebouw | Aansluitkosten | Aansluitwaarde |
|----------------------|----------------|-----------------------|
| Gestapelde woning | € 8.000 | 7,5 kW |
| Grondgebonden woning | € 12.000 | 9,0 kW |
| Utiliteit | 150 €/kW | 0,5 kW/m ² |

Tabel B.22 | Belastingtarieven 2017

| Onderdeel | Woningen | Utiliteit |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| BTW | 21% | 21% |
| Opslag duurzame energie gas | 1,59 €/m ³ | 1,59 €/m ³ |
| Opslag duurzame energie elektriciteit | 0,74 €/kWh | 0,5825 €/kWh |
| Energiebelasting gas | 25,244 €/m ³ | 25,244 €/m ³ |
| Energiebelasting elektriciteit | 10,13 €/kWh | 3,6259 €/kWh |
| Belastingvermindering | € 308,54 | € 0 |

Bijlage 5 Warmtenetten

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van alle gemeenten waarin één of meerdere buurten voorkomen die volgens de analyse geschikt zijn voor een collectieve optie, oftewel potentieel voor een warmtenet. Daarnaast is aangegeven of er in de gemeente momenteel al een warmtenet aanwezig is. De huidige warmtenetten zijn bepaald op basis van de WarmteAtlas Nederland van het Nationaal Expertisecentrum Warmte (NEW).

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|---------------------|-------------------|----------------------|
| Aa en Hunze | Nee | Ja |
| Aalten | Nee | Ja |
| Achtkarspelen | Nee | Ja |
| Alblasserdam | Ja | Ja |
| Albrandswaard | Ja | Ja |
| Alkmaar | Ja | Ja |
| Almelo | Ja | Ja |
| Almere | Ja | Ja |
| Alphen aan den Rijn | Ja | Ja |
| Alphen-Chaam | Nee | Ja |
| Amersfoort | Ja | Ja |
| Amstelveen | Ja | Ja |
| Amsterdam | Ja | Ja |
| Apeldoorn | Ja | Ja |
| Arnhem | Ja | Ja |
| Assen | Nee | Ja |
| Baarn | Nee | Ja |
| Barendrecht | Ja | Ja |
| Barneveld | Nee | Ja |
| Bedum | Nee | Ja |
| Beek | Nee | Ja |
| Beesel | Ja | Ja |
| Bellingwedde | Nee | Ja |
| Bergeijk | Nee | Ja |
| Bergen (L.) | Nee | Ja |
| Bergen (NH.) | Nee | Ja |
| Bergen op Zoom | Ja | Ja |
| Berkelland | Nee | Ja |
| Bernheze | Nee | Ja |
| Best | Nee | Ja |
| Beuningen | Nee | Ja |
| Beverwijk | Nee | Ja |
| Binnenmaas | Ja | Ja |
| Bladel | Nee | Ja |
| Blaricum | Nee | Ja |
| Bloemendaal | Nee | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|------------------------|-------------------|----------------------|
| Bodegraven-Reeuwijk | Ja | Ja |
| Boekel | Nee | Ja |
| Borger-Odoorn | Nee | Ja |
| Borne | Nee | Ja |
| Boxmeer | Nee | Ja |
| Boxtel | Nee | Ja |
| Breda | Ja | Ja |
| Brielle | Nee | Ja |
| Bronckhorst | Nee | Ja |
| Brummen | Nee | Ja |
| Brunssum | Nee | Ja |
| Bunschoten | Nee | Ja |
| Buren | Nee | Ja |
| Bussum | Nee | Ja |
| Capelle aan den IJssel | Ja | Ja |
| Castricum | Nee | Ja |
| Coevorden | Nee | Ja |
| Cranendonck | Nee | Ja |
| Cromstrijen | Nee | Ja |
| Cuijk | Nee | Ja |
| Culemborg | Ja | Ja |
| Dalfsen | Nee | Ja |
| De Bilt | Nee | Ja |
| De Friese Meren | Nee | Ja |
| De Marne | Nee | Ja |
| De Ronde Venen | Nee | Ja |
| De Wolden | Nee | Ja |
| Delft | Ja | Ja |
| Delfzijl | Nee | Ja |
| Den Helder | Nee | Ja |
| Deurne | Nee | Ja |
| Deventer | Ja | Ja |
| Diemen | Ja | Ja |
| Dinkelland | Nee | Ja |
| Doesburg | Nee | Ja |
| Doetinchem | Ja | Ja |
| Dongen | Ja | Ja |
| Dongeradeel | Nee | Ja |
| Dordrecht | Ja | Ja |
| Drechterland | Nee | Ja |
| Drimmelen | Nee | Ja |
| Dronten | Nee | Ja |
| Druten | Nee | Ja |
| Duiven | Ja | Ja |
| Echt-Susteren | Nee | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|
| Edam-Volendam | Nee | Ja |
| Ede | Ja | Ja |
| Eemsmond | Nee | Ja |
| Eersel | Nee | Ja |
| Eijsden-Margraten | Nee | Ja |
| Eindhoven | Ja | Ja |
| Elburg | Nee | Ja |
| Emmen | Nee | Ja |
| Enkhuizen | Nee | Ja |
| Enschede | Ja | Ja |
| Epe | Nee | Ja |
| Ermelo | Nee | Ja |
| Etten-Leur | Nee | Ja |
| Franekeradeel | Nee | Ja |
| Geertruidenberg | Ja | Ja |
| Geldermalsen | Nee | Ja |
| Geldrop-Mierlo | Nee | Ja |
| Gemert-Bakel | Nee | Ja |
| Gennep | Nee | Ja |
| Giessenlanden | Nee | Ja |
| Gilze en Rijen | Nee | Ja |
| Goeree-Overflakkee | Nee | Ja |
| Goes | Ja | Ja |
| Goirle | Ja | Ja |
| Gorinchem | Ja | Ja |
| Gouda | Nee | Ja |
| Grave | Nee | Ja |
| Groesbeek | Nee | Ja |
| Groningen | Ja | Ja |
| Grootegast | Nee | Ja |
| Gulpen-Witterm | Nee | Ja |
| Haaksbergen | Nee | Ja |
| Haaren | Nee | Ja |
| Haarlem | Ja | Ja |
| Haarlemmerliede en Spaarnwoude | Nee | Ja |
| Haarlemmermeer | Nee | Ja |
| Halderberge | Nee | Ja |
| Hardenberg | Nee | Ja |
| Harderwijk | Nee | Ja |
| Haren | Nee | Ja |
| Harlingen | Nee | Ja |
| Hatterm | Nee | Ja |
| Heemskerk | Nee | Ja |
| Heemstede | Nee | Ja |
| Heerde | Nee | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|------------------------|-------------------|----------------------|
| Heerenveen | Nee | Ja |
| Heerhugowaard | Ja | Ja |
| Heerlen | Ja | Ja |
| Heeze-Leende | Nee | Ja |
| Heiloo | Ja | Ja |
| Hellendoorn | Nee | Ja |
| Hellevoetsluis | Nee | Ja |
| Helmond | Ja | Ja |
| Hendrik-Ido-Ambacht | Nee | Ja |
| Hengelo | Ja | Ja |
| Heumen | Nee | Ja |
| Heusden | Nee | Ja |
| Hillegom | Nee | Ja |
| Hilvarenbeek | Nee | Ja |
| Hilversum | Ja | Ja |
| Hof van Twente | Nee | Ja |
| Hollands Kroon | Nee | Ja |
| Hoogeveen | Nee | Ja |
| Hoogezand-Sappemeer | Nee | Ja |
| Hoorn | Nee | Ja |
| Horst aan de Maas | Nee | Ja |
| Houten | Ja | Ja |
| Huizen | Nee | Ja |
| Hulst | Ja | Ja |
| IJsselstein | Nee | Ja |
| Kaag en Braassem | Nee | Ja |
| Kampen | Nee | Ja |
| Katwijk | Nee | Ja |
| Kerkrade | Nee | Ja |
| Koggenland | Nee | Ja |
| Krimpen aan den IJssel | Nee | Ja |
| Krimpenerwaard | Nee | Ja |
| Laarbeek | Nee | Ja |
| Landgraaf | Nee | Ja |
| Landsmeer | Nee | Ja |
| Langedijk | Ja | Ja |
| Lansingerland | Ja | Ja |
| Laren | Nee | Ja |
| Leek | Nee | Ja |
| Leerdam | Nee | Ja |
| Leeuwarden | Ja | Ja |
| Leiden | Ja | Ja |
| Leiderdorp | Ja | Ja |
| Leidschendam-Voorburg | Ja | Ja |
| Lelystad | Ja | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|---------------------|-------------------|----------------------|
| Leudal | Nee | Ja |
| Leusden | Nee | Ja |
| Lingewaal | Nee | Ja |
| Lingewaard | Nee | Ja |
| Lisse | Nee | Ja |
| Littenseradiel | Nee | Ja |
| Lochem | Ja | Ja |
| Loon op Zand | Nee | Ja |
| Loppersum | Nee | Ja |
| Losser | Nee | Ja |
| Maasdriel | Nee | Ja |
| Maasgouw | Nee | Ja |
| Maassluis | Nee | Ja |
| Maastricht | Ja | Ja |
| Marum | Nee | Ja |
| Medemblik | Nee | Ja |
| Menterwolde | Nee | Ja |
| Meppel | Nee | Ja |
| Middelburg | Nee | Ja |
| Midden-Delfland | Ja | Ja |
| Midden-Drenthe | Nee | Ja |
| Mill en Sint Hubert | Nee | Ja |
| Moerdijk | Nee | Ja |
| Molenwaard | Nee | Ja |
| Montferland | Nee | Ja |
| Muiden | Nee | Ja |
| Naarden | Nee | Ja |
| Neder-Betuwe | Nee | Ja |
| Neerijnen | Nee | Ja |
| Nieuwegein | Ja | Ja |
| Nieuwkoop | Nee | Ja |
| Nijkerk | Nee | Ja |
| Nijmegen | Ja | Ja |
| Nissewaard | Nee | Ja |
| Noordenveld | Nee | Ja |
| Noordoostpolder | Nee | Ja |
| Noordwijk | Nee | Ja |
| Nunspeet | Nee | Ja |
| Nuth | Nee | Ja |
| Oegstgeest | Ja | Ja |
| Oirschot | Nee | Ja |
| Oisterwijk | Nee | Ja |
| Oldambt | Nee | Ja |
| Oldebroek | Nee | Ja |
| Oldenzaal | Nee | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|---------------------|-------------------|----------------------|
| Ommen | Nee | Ja |
| Onderbanken | Nee | Ja |
| Oost Gelre | Nee | Ja |
| Oosterhout | Ja | Ja |
| Ooststellingwerf | Nee | Ja |
| Oostzaan | Nee | Ja |
| Opmeer | Nee | Ja |
| Opsterland | Nee | Ja |
| Oss | Nee | Ja |
| Oud-Beijerland | Nee | Ja |
| Oude IJsselstreek | Nee | Ja |
| Ouder-Amstel | Nee | Ja |
| Overbetuwe | Nee | Ja |
| Papendrecht | Ja | Ja |
| Peel en Maas | Nee | Ja |
| Pekela | Nee | Ja |
| Pijnacker-Nootdorp | Ja | Ja |
| Purmerend | Ja | Ja |
| Putten | Nee | Ja |
| Raalte | Nee | Ja |
| Renkum | Nee | Ja |
| Reusel-De Mierden | Nee | Ja |
| Rheden | Nee | Ja |
| Rhenen | Nee | Ja |
| Ridderkerk | Nee | Ja |
| Rijnwaarden | Nee | Ja |
| Rijssen-Holten | Nee | Ja |
| Rijswijk | Nee | Ja |
| Roerdalen | Nee | Ja |
| Roermond | Ja | Ja |
| Roosendaal | Nee | Ja |
| Rotterdam | Ja | Ja |
| Rozendaal | Nee | Ja |
| Rucphen | Nee | Ja |
| Schagen | Ja | Ja |
| Scherpenzeel | Nee | Ja |
| Schiedam | Nee | Ja |
| Schijndel | Nee | Ja |
| Schinnen | Nee | Ja |
| Schouwen-Duiveland | Nee | Ja |
| 's-Gravenhage | Ja | Ja |
| 's-Hertogenbosch | Ja | Ja |
| Simpelveld | Nee | Ja |
| Sint Anthonis | Nee | Ja |
| Sint-Michielsgestel | Nee | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|------------------------|-------------------|----------------------|
| Sint-Oedenrode | Nee | Ja |
| Sittard-Geleen | Ja | Ja |
| Sliedrecht | Nee | Ja |
| Slochteren | Nee | Ja |
| Sluis | Nee | Ja |
| Smallingerland | Nee | Ja |
| Soest | Ja | Ja |
| Someren | Nee | Ja |
| Son en Breugel | Nee | Ja |
| Stadskanaal | Ja | Ja |
| Staphorst | Nee | Ja |
| Steenbergen | Nee | Ja |
| Steenwijkerland | Nee | Ja |
| Stein | Nee | Ja |
| Stichtse Vecht | Nee | Ja |
| Súdwest-Fryslân | Nee | Ja |
| Ten Boer | Nee | Ja |
| Terneuzen | Nee | Ja |
| Texel | Nee | Ja |
| Teylingen | Nee | Ja |
| Tiel | Nee | Ja |
| Tilburg | Ja | Ja |
| Twenterand | Nee | Ja |
| Tynaarlo | Nee | Ja |
| Uden | Nee | Ja |
| Uitgeest | Nee | Ja |
| Uithoorn | Ja | Ja |
| Urk | Ja | Ja |
| Utrecht | Ja | Ja |
| Utrechtse Heuvelrug | Nee | Ja |
| Valkenburg aan de Geul | Nee | Ja |
| Valkenswaard | Nee | Ja |
| Veendam | Nee | Ja |
| Veenendaal | Nee | Ja |
| Veere | Nee | Ja |
| Veghel | Nee | Ja |
| Veldhoven | Ja | Ja |
| Velsen | Nee | Ja |
| Venlo | Nee | Ja |
| Venray | Nee | Ja |
| Vianen | Nee | Ja |
| Vlaardingen | Nee | Ja |
| Vlagtwedde | Nee | Ja |
| Vlieland | Nee | Ja |
| Vlissingen | Ja | Ja |

| Gemeente (2016) | Huidige warmtenet | Potentieel warmtenet |
|--------------------|-------------------|----------------------|
| Voerendaal | Nee | Ja |
| Voorschoten | Nee | Ja |
| Voorst | Nee | Ja |
| Vught | Nee | Ja |
| Waalre | Nee | Ja |
| Waalwijk | Nee | Ja |
| Waddinxveen | Nee | Ja |
| Wageningen | Ja | Ja |
| Wassenaar | Nee | Ja |
| Waterland | Nee | Ja |
| Weert | Nee | Ja |
| Weesp | Nee | Ja |
| Werkendam | Nee | Ja |
| Westerveld | Nee | Ja |
| Westervoort | Ja | Ja |
| Westland | Nee | Ja |
| Weststellingwerf | Nee | Ja |
| Westvoorne | Nee | Ja |
| Wierden | Nee | Ja |
| Wijchen | Ja | Ja |
| Wijdmeren | Nee | Ja |
| Wijk bij Duurstede | Nee | Ja |
| Winterswijk | Nee | Ja |
| Woensdrecht | Nee | Ja |
| Woerden | Ja | Ja |
| Woudenberg | Nee | Ja |
| Zaanstad | Ja | Ja |
| Zaltbommel | Nee | Ja |
| Zandvoort | Ja | Ja |
| Zederik | Nee | Ja |
| Zeevang | Nee | Ja |
| Zeist | Nee | Ja |
| Zevenaar | Ja | Ja |
| Zoetermeer | Ja | Ja |
| Zoeterwoude | Nee | Ja |
| Zuidhorn | Nee | Ja |
| Zuidplas | Ja | Ja |
| Zutphen | Nee | Ja |
| Zwartewaterland | Nee | Ja |
| Zwijndrecht | Nee | Ja |
| Zwolle | Ja | Ja |

Bijlage 6 Werksessies

WERKSESSIE 1 - 5 APRIL 2018

| Werksessie 1 - Programma - 13:30 - 17:00 uur | |
|--|--|
| 13:40 | Introductie project |
| 13:50 | Play-based portfolio benadering: samenvatting |
| 14:30 | Analyse van de ondergrond |
| 15:10 | Analyse van de bovengrond |
| 15:50 | Pauze |
| 16:00 | Play-based portfolio benadering: resultaten Rotliegendes |
| 16:45 | Discussie & vragen |

| Genodigde partijen - Werksessie 1 | |
|---|---------------------------|
| Alliander | Stadsverwarming Purmerend |
| DAGO | Stedin |
| ECW | Stichting Warmtenetwerk |
| Eneco | TNO |
| Enexis | Uniper |
| Engie | Vermilion |
| Ennatuurlijk | Visser & Smit Hanab |
| Gasunie/Havenbedrijf Rotterdam t.b.v. de Warmterotonde Zuid-Holland | Warmtebedrijf Rotterdam |
| HVC | Wayland Energy |
| Hydreco GEOMECC | Westland Infra |
| LTO Glaskracht | Gasunie New Energy |
| NAM | EBN |
| Nuon | IF Technology |
| Perpetuum Energy Partners | CE Delft |
| Platform Geothermie | Berenschot |

WERKSESSIE 2 - 26 APRIL 2018

| Werksessie 2 - Programma - 9:00 - 12:00 uur | |
|---|---|
| 9:00 | Inloop |
| 9:10 | Presentatie Masterplan |
| 9:40 | Discussie |
| 10:00 | Korte pauze |
| 10:10 | Presentatie resultaten plays Rotliegendes, Trias & Jura-Krijt |
| 10:35 | Discussie |
| 10:45 | Werksessie voordelen play-based portfolio benadering (in groepjes uiteen) |
| 11:40 | Gezamenlijke afsluiting & presenteren resultaten |

| Genodigde partijen - Werksessie 2 | |
|---|---------------------------|
| Alliander | Stadsverwarming Purmerend |
| DAGO | Stedin |
| ECW | Stichting Warmtenetwerk |
| Eneco | TNO |
| Enexis | Uniper |
| Engie | Vermilion |
| Ennatuurlijk | Visser & smit hanab |
| Gasunie/Havenbedrijf Rotterdam t.b.v. de Warmterotonde Zuid-Holland | Warmtebedrijf Rotterdam |
| HVC | Wayland energy |
| Hydreco GEOMECC | Westland Infra |
| LTO Glaskracht | Gasunie New Energy |
| NAM | EBN |
| Nuon | IF Technology |
| Perpetuum Energy Partners | CE Delft |
| Platform Geothermie | Berenschot |

BIJeenKOMST 3 - 11 JUNI 2018

| Bijeenkomst 3 - Programma - 13:00 - 17:00 uur | |
|---|---|
| 13:00 | Inloop |
| 13:15 | Opening vertegenwoordigers Masterplan aardwarmte (SPG, DAGO, SWN, EBN, EZK, BZK) |
| 13:45 | Masterplan aardwarmte (SPG, DAGO) |
| 14:45 | Vragen en discussie |
| 15:00 | Koffie/thee |
| 15:30 | Opschaling aardwarmte in warmtenetten (Gasunie, EBN, IF Technology, CE Delft, Berenschot) |
| 16:30 | Casus: portfoliobenadering in de praktijk (ECW) |
| 16:45 | Vragen en discussie |
| 17:00 | Afsluiting en borrel |

| Aanwezige partijen - Bijeenkomst 3 | |
|------------------------------------|----------------|
| AAB NL | IF Technology |
| Aardwarmtecluster Koekoekspolder | ING |
| ACM | IPO |
| Arkom Windpower | Juva |
| Baker Hughes | KCA Deutag |
| Berenschot | LNV |
| BHGE | LTO Glaskracht |
| BNG | McKinsey |

| | |
|---|------------------------------------|
| BOM | Meewind |
| BZK | Ministerie Ezk |
| CE Delft | NAM |
| DAGO | Nederlands Investerings Agentschap |
| Deloitte | NEN |
| Dijkstra Draisma Geothermie | Netbeheer Nederland |
| Drilltec | Platform Geothermie |
| Duinweg Advies | Provincie Overijssel |
| Dunea | Provincie Utrecht |
| EBN | QnQ Advisory |
| ECN part of TNO | Qwestland |
| Ecofys | Rabobank |
| ECW | RH DHV |
| Eneco | RVO |
| Enexis | Shell |
| Engie | Spidron/Weco |
| Ennatuurlijk | Staatstoezicht op de Mijnen |
| E-tree | Stadsverwarming Purmerend |
| EZK | Stedin |
| Floricultura | Stichting Warmtenetwerk |
| Gasunie | Stork |
| Gasunie New Energy | Suikerunie |
| Gasunie/Havenbedrijf Rotterdam t.b.v. de Warmterotonde Zuid-Holland | TNO |
| Gemeente Den Haag | Translead |
| Gemeente Groningen | Uniper |
| Gemeente Utrecht | VEH |
| Gemeente Zwolle | Vermilion |
| GSAdvies | Volker Wessels |
| Havenbedrijf Amsterdam NV | Warmtebedrijf Rotterdam |
| HermanDeGroot | Waterbedrijf Groningen |
| Huisman | Well Engineering Partners |
| HVC | Witteveen & Bos |
| Hydreco | |

INTERVIEWS

Voor de stakeholderanalyse zijn er een drietal interviews afgenomen. Dit aantal is beperkt, aangezien veel partijen in dezelfde tijd ook voor het Masterplan Aardwarmte geïnterviewd zijn, vandaar dat wij ook uit die bron putten.

| Interviews | |
|---------------|--------------------------|
| 23 april 2018 | LTO Glaskracht |
| 25 april 2018 | EnergieNederland |
| 1 mei 2018 | IPO en Provincie Utrecht |

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**