

WARM

Waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden



Een studie naar de potentie van aardwarmte
als duurzame warmtebron voor de gebouwde
omgeving, glastuinbouw en industrie

Joachim Schellekens | Wouter Verbeek | Han van Gils | Bert den Ouden

September 2020

Inhoud

Managementsamenvatting	3
1. Introductie	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Opdracht	7
1.3 Leeswijzer	9
2. De potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron	12
2.1 De bovengrondse potentie (vraag)	12
2.2 De ondergrondse potentie (aanbod)	18
2.3 De combinatie van de bovengrondse en ondergrondse potentie voor de toepassing van aardwarmte	22
3. Integraal exploreren en ontwikkelen van aardwarmte	26
3.1 Het effect van een portfoliobenadering op de risico's van een aardwarmteproject	26
3.2 De kostprijs van aardwarmte	29
3.3 De maatschappelijke pijlers van aardwarmte	31
4. Aardwarmte ontwikkelen in de praktijk	35
4.1 Stappenplan aardwarmte	35
4.2 Detailstudies naar de potentie van aardwarmte per RES-gebied	35
4.3 Concepten voor het ontwikkelen van aardwarmte	35
5. Gevoeligheidsanalyse gebouwde omgeving	38
5.1 Aanpak	38
5.2 Resultaten nationaal	38
5.3 Resultaten regionaal	40
6. Geraadpleegde bronnen	42
7. Bijlagen	43

Managementsamenvatting

Conclusie

Aardwarmte heeft veel potentie om op kosteneffectieve wijze bij te dragen aan de warmtetransitie van de gebouwde omgeving, van de glastuinbouw en van industriesectoren met een warmtevraag van beneden de 100 graden.

Het totale potentieel in de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie telt op tot 290 PJ. Voor de gebouwde omgeving is dit 88 PJ, waarvan voor 38 PJ geldt dat aardwarmte het goedkoopste alternatief voor aardgas is. De overige 50 PJ kan ook (gedeeltelijk) door aardwarmte ingevuld worden, al zijn restwarmte of een lage temperatuur warmtebron voor deze buurten het goedkopere alternatief. Aardwarmte kan daarnaast ook een rol spelen in de verduurzaming van de glastuinbouw en de industrie, respectievelijk gaat het om 55 PJ en 147 PJ. Voor beide sectoren is de bovengrondse warmtevraag van 'voldoende' omvang en is de ondergrond 'geschikt', er is niet gecorrigeerd voor de beschikbaarheid van eventuele lokale alternatieve warmtebronnen. Onderstaande tabel zet de potentie van aardwarmte in Nederland op een rij:

Sector met een warmtevraag waarin aardwarmte in kan voorzien	Potentie (PJ)	Percentage van de warmtevraag in die sector ¹
Gebouwde omgeving	88 PJ	26%
<i>waarvan middentemperatuur-warmtenet (MT-warmtenet) op basis van een aardwarmte bron</i>	38 PJ	11%
<i>waarvan MT-warmtenet op basis van restwarmte, waar aardwarmte een alternatief is</i>	33 PJ	9%
<i>waarvan LT-warmtenet op basis van verschillende LT-bronnen, waarvan ondiepe aardwarmte er een kan zijn</i>	17 PJ	5%
Glastuinbouw ²	55 PJ	58%
Industrie ²	147 PJ	28%
Totaal	290 PJ	30%

Aanleiding

In het Klimaatakkoord is afgesproken om tot 2030 1,5 miljoen woningen aardgasvrij te maken en duurzaam te verwarmen. In de verduurzaming van de gebouwde omgeving hebben gemeenten de regie. Op dit moment ontwikkelt elke gemeente een 'Transitievisie Warmte'. In dat plan zet een gemeente vóór eind 2021 per wijk uiteen op welke manier en langs welk tijdspad zij de verduurzaming wil aanpakken.

Voor duurzame verwarming bestaan meerdere opties. Om gemeenten te helpen bij het beoordelen daarvan, heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in zijn 'Startanalyse' vijf strategieën voor het verwarmen van de gebouwde omgeving in kaart gebracht (versie 0.8). De vijf strategieën kunnen worden onderverdeeld in individuele warmteoplossingen (bijvoorbeeld een warmtepomp) en collectieve warmteoplossingen. Bij collectieve oplossingen wordt een warmtenet aangelegd. Aardwarmte is een potentiële warmtebron voor het voeden van zo'n warmtenet.

¹ De totale warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 is volgens het PBL 333 PJ. De vraag van de glastuinbouw en industrie in 2030 is niet bekend. Voor bepalen van het percentage is daarom gerekend met de 'huidige' totale warmtevraag van beide sectoren, respectievelijk 95 PJ en 520 PJ.

² Hierbij merken we op dat veel **glastuinbouwbedrijven** installaties voor warmtekrachtkoppeling (WKK) gebruiken. Daarmee wekken zij naast warmte ook CO₂ op. Niet voor alle bedrijven is een alternatieve CO₂-bron beschikbaar. Bedrijven in de **industrie** verschillen soms sterk. Voor elke sector en locatie zijn naast aardwarmte vaak ook andere opties mogelijk. Voor beide kanttekeningen hebben we de resultaten van deze studie niet gecorrigeerd, omdat het lokaal maatwerk vereist. Het potentieel van aardwarmte als duurzame bron dat we voor beide sectoren schetsen, zit aan de bovenkant van de bandbreedte.

Op dit moment is nog niet voor alle plekken in Nederland voldoende duidelijk of de bodem er geschikt is voor het winnen van aardwarmte. Ook is er bij gemeenten nog onvoldoende kennis over de stappen die nodig zijn voor het opzetten van een aardwarmteproject. Hierdoor kan het voor RES-coördinatoren en beleidsambtenaren die aan de slag gaan met de 'Transitievisie Warmte' lastig zijn om aardwarmte goed te vergelijken met de andere opties.

In opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN) hebben Berenschot en PanTerra daarom verder onderzoek gedaan naar de bijdrage die aardwarmte als duurzame warmtebron kan leveren aan de warmtetransitie – op buurt- en RES-niveau. Specifiek geeft deze studie antwoord op de vraag hoe en waar aardwarmte in Nederland kosteneffectief kan worden ontwikkeld.

De potentie van aardwarmte als duurzame bron in de gebouwde omgeving

Om de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron inzichtelijk te maken, hebben we eerst voor elke buurt in Nederland berekend wat de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving is. Randvoorwaarde hierbij is dat woningen kunnen worden aangesloten op een MT- of LT-warmtenet en/of kunnen worden geïsoleerd tot energielabel B (strategie 2 en 3 uit de 'Startanalyse'). De totale warmtevraag in 2030 bedraagt dan 290 PJ.

Vervolgens hebben we op buurniveau de kosten voor de maatschappij van strategie 2 en 3 vergeleken met de kosten voor de maatschappij van de andere strategieën³. Uit deze vergelijking blijkt dat het (deels of geheel) verwarmen van een woning met aardwarmte in 33% van alle buurten in Nederland het goedkoopste alternatief voor verwarming met aardgas is. Dit komt neer op 113 PJ⁴.

Daarna hebben we voor deze buurten onderzocht in hoeverre de ondergrond geschikt is voor het winnen van aardwarmte. Hiervoor heeft PanTerra een detailstudie gedaan naar de bodemlagen Paleogeen, Onder-Krijt, Jura, Trias, Perm en Dinantien⁵. Op basis van kennis over de dikte, temperatuur en permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van deze bodemlagen heeft het bureau voor elke laag de kans op een succesvolle boring berekend. Met de kleuren van een verkeerslicht hebben we op de kaart van Nederland weergegeven in hoeverre de ondergrond geschikt is voor het leveren van aardwarmte met een temperatuur aan het oppervlak van tenminste 70 graden⁶.

Tenslotte hebben we voor elke buurt de bovengrondse vraag gecombineerd met het ondergrondse aanbod. Uit deze studie blijkt dat in 38 PJ (11% van de totale warmtevraag in 2030⁷) kosteneffectief kan worden voorzien met een MT-warmtenet op basis van een aardwarmtebron. Daarnaast kan op termijn nog eens 50 PJ (een additionele 15%) worden verduurzaamd. Voorwaarden voor die aanvulling is dat aardwarmte restwarmte (gedeeltelijk) vervangt als warmtebron in MT-warmtenetten die tot dan toe volledig met restwarmte werden gevoed; of dat aardwarmte (gedeeltelijk) wordt ingezet als warmtebron in LT-warmtenetten.

³ Per strategie hebben we de totale investeringskosten vergeleken met de verwachte CO₂-reductie. De strategie die tegen de laagste kosten voor de maatschappij een ton CO₂ kan besparen, is de strategie op basis waarvan een buurt kostenefficiënt kan verduurzamen.

⁴ Deze waarde is opgebouwd uit drie delen, te weten een MT-warmtenet gevoed door aardwarmte (48 PJ), een MT-warmtenet gevoed door restwarmte (46 PJ) en een LT-warmtenet met verschillende bronnen (19 PJ). Aardwarmte is voor de laatste twee niet het alternatief met de laagste kosten voor de maatschappij, maar kan een rol spelen in de bronnenmix of op termijn een bron vervangen.

⁵ In deze studie hebben we niet gekeken naar de potentie van ultradiepe geothermie (UDG), oftewel naar warmte uit bodemlagen waarvan de top dieper dan 4.000 meter ligt. Het Dinantien ligt alleen in Zuid-Nederland ondieper dan 4.000 meter.

⁶ Nota bene: met uitzondering van het Paleogeen. Voor deze relatief jonge bodemlaag is een temperatuurdrempelwaarde van 40 graden aangehouden.

⁷ Volgens het PBL betreft de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 ongeveer 333 PJ. De daadwerkelijke warmtevraag in 2030 hangt af van veel factoren, zoals de mate van isolatie van woningen, en is daardoor variabel.

De potentie van aardwarmte als duurzame bron in de glastuinbouw en industrie

Twee andere sectoren met een grote en constante vraag naar warmte zijn de glastuinbouw en industrie. De glastuinbouw gebruikt warmte om gewassen te laten groeien, de industrie gebruikt warmte voor de productie van bijvoorbeeld papier. De totale warmtevraag van beide sectoren is respectievelijk 95 PJ en 520 PJ⁸.

De glastuinbouw heeft veel ervaring met aardwarmte als warmtebron en is momenteel de grootste afnemer. De glastuinbouw heeft een zeer geconcentreerde en continue warmtevraag, waardoor onder andere de kosten van distributie van warmte laag zijn. In de industrie is weinig ervaring met aardwarmte. De benodigde temperatuur voor de verschillende productieprocessen binnen de industrie lopen sterk uiteen. Voor een aantal processen is de gevraagde temperatuur relatief laag, dat wil zeggen minder dan 100 graden. In deze vraag kan mogelijk (deels) worden voorzien met aardwarmte. Op basis van een selectie van sectoren bedraagt de totale warmtevraag van de industrie waarin mogelijk met aardwarmte kan worden voorzien 200 PJ.

Net als voor de gebouwde omgeving geldt, is aardwarmte een (economisch) potentiële bron voor de glastuinbouw en industrie wanneer de warmtevraag aansluit bij het warmteaanbod. Warmte kan namelijk niet eindeloos worden getransporteerd. De warmtevraag in een buurt moet voldoende groot zijn. Op basis van een drempelwaarde – een bovengrondse totale warmtevraag van 0,3 PJ per buurt – hebben we de totale potentie van aardwarmte als duurzame bron in de glastuinbouw en industrie bepaald. Voor de glastuinbouw komt die neer op 60 PJ en voor de industrie op 180 PJ.

Tenslotte hebben we, net als bij de gebouwde omgeving, de bovengrondse warmtevraag gecombineerd met het ondergrondse aanbod. Hieruit blijkt dat ook de glastuinbouw en industrie een aanzienlijk deel van hun warmtevraag, respectievelijk 55 PJ en 147 PJ, kunnen verduurzamen met aardwarmte⁹.

De financiële voordelen van een portfoliobenadering

Elk warmteproject kent financiële risico's, soms met een technische aanleiding. Dat geldt ook voor aardwarmte. Veel van deze risico's worden verkleind door wetgeving. Niet alle risico's kunnen echter helemaal worden geëlimineerd. Wat resteert, kan worden gezien als het financiële (rest)risico van een project. Volgens experts kan een groot deel daarvan worden beperkt door tijdig kennis te delen over de lokale kwaliteit van de ondergrond, de zogeheten sub-play¹⁰. Door aardwarmte integraal te ontwikkelen, stellen zij, neemt de onzekerheid van andere gelijkwaardige projecten in de omgeving af. Kennis en gegevens uit het eerste project in een sub-play worden binnen deze benadering gebruikt voor het tweede project in dezelfde sub-play, enzovoort. Deze aanpak wordt de play-based portfoliobenadering genoemd.

Om het voordeel van deze benadering kwantitatief te toetsen, hebben we in een simulatie onderzocht wat het financiële restrisico is van:

- één los aardwarmteproject;
- een portfolio van twintig aardwarmteprojecten, waarbij kennis over de ondergrond intensief wordt gedeeld en het totale risico over de projecten wordt gespreid.

Uit de simulatie blijkt dat de financiële restrisico's van een aardwarmteproject met een play-based portfoliobenadering fors kunnen worden verkleind. Het restrisico neemt met ten minste 30% af. Door risico's daarnaast te spreiden over meerdere projecten kunnen eventuele financiële risico's nog verder worden beperkt.

⁸ Dit betreft de totale warmtevraag van de industrie in 2013. Een recentere databron, met uitsplitsing naar warmtevraag per sub-sector, was tijdens het schrijven van deze managementsamenvatting niet beschikbaar.

⁹ Dit potentieel zit aan de bovenkant van de bandbreedte, zie ook voetnoot 1.

¹⁰ Een play is een bodemlaag met vergelijkbare geologische eigenschappen. Bij een play-based portfoliobenadering worden meerdere aardwarmteprojecten in een play in samenhang ontwikkeld. Kennis en gegevens uit het eerste project worden gebruikt voor het tweede project, enzovoort. Daardoor nemen de risico's van vervolgprojecten af.

Deze conclusies pleiten ervoor om aardwarmteboringen (in elk geval op regionaal niveau) in samenhang te ontwikkelen. De risico's van vervolgprojecten nemen dan af. De totale kosten van aardwarmte nemen als gevolg hiervan af.

Handvat en verdieping voor RES-coördinatoren en beleidsambtenaren

Om aardwarmte succesvol te kunnen ontwikkelen, is het niet alleen belangrijk dat vraag en aanbod goed op elkaar aansluiten. Ook andere aspecten verdienen aandacht, zoals de ruimtelijke inpassing van een project, vergunningverlening en draagvlak. Om RES-coördinatoren en beleidsambtenaren bij gemeenten op weg te helpen bij het maken van een goede afweging, geven we in het eindrapport van deze studie informatie over:

- de ontwikkeling en opbouw van de kosten van een aardwarmteboring;
- het duurzaam winnen van aardwarmte;
- het ruimtelijk inpassen van aardwarmteprojecten;
- het veilig en verantwoord ontwikkelen van aardwarmte;
- het communiceren met en betrekken van omwonenden en andere relevante partijen.

Daarnaast hebben we twee aanvullende 'producten' ontwikkeld, het 'Stappenplan aardwarmte' en detailstudies per RES-gebied naar de potentie van aardwarmte. In deze producten hebben we de inzichten uit deze studie vertaald in een praktisch handvat en naar de regionale situatie. De documenten, die het lokale en regionale besluitvormingsproces ondersteunen, kunnen op de website van EBN worden gedownload.

Vervolgstappen

Om de potentie van aardwarmte op lokaal niveau te ontsluiten, is het belangrijk de volgende stappen te zetten:

- Onderzoeken of in een buurt een individuele of collectieve warmteoplossing de voorkeur heeft. Is er onder omwonenden voldoende draagvlak voor een collectieve oplossing (en überhaupt voor aardgasvrij verwarmen)? Zijn omwonenden bereid aan te sluiten op zo'n oplossing? En welke impact heeft de keuze voor aardwarmte in de ene buurt op omliggende buurten?
- Een voorstudie uitvoeren. Zie hiervoor onder meer het 'Stappenplan aardwarmte'. Het is belangrijk om hierbij tijdig relevante andere partijen te betrekken. Denk bijvoorbeeld aan aardwarmte-operators, warmteleveranciers, warmtevragers, omwonenden en financiële instellingen.
- Detailonderzoek doen op een kansrijke locatie.

1. Introductie

1.1 Aanleiding

Nederland staat aan de vooravond van een grote energietransitie die als doel heeft de CO₂-uitstoot te verlagen. Deze transitie heeft gevolgen voor de manier waarop we de gebouwde omgeving verwarmen. Ons land telt 7,8 miljoen woningen, waarvan de meeste nog zijn aangesloten op aardgas. Om de doelen van het Klimaatakkoord te halen, moeten ongeveer 1,5 miljoen van die woningen worden verduurzaamd. Als we daarin slagen, bereiken we vanaf 2030 een reductie van zo'n 3,4 Mton CO₂ per jaar¹¹. Naast de gebouwde omgeving moeten overigens ook andere sectoren, zoals de glastuinbouw en industrie, hun uitstoot terugbrengen.

In de verduurzaming van de gebouwde omgeving hebben gemeenten de regie. In samenspraak met lokale partijen, zoals de glastuinbouw, moeten zij uiterlijk eind 2021 een 'Transitievisie Warmte' presenteren¹². Daarin beschrijven gemeenten per wijk op welke manier en langs welk tijdspad zij de verduurzaming willen aanpakken. Om hen daarbij te ondersteunen, heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in opdracht van het Expertise Centrum Warmte (ECW) voor elke buurt in Nederland een technisch-economische doorrekening gedaan – de 'Startanalyse'.

In deze analyse onderscheidt het PBL twee typen warmteoplossingen als alternatief voor aardgas: individuele warmteoplossingen, zoals elektrische warmtepompen of all-electric oplossingen, en collectieve warmteoplossingen (bijvoorbeeld rest- of aardwarmte). Bij collectieve oplossingen wordt er op grotere schaal een warmtenet aangelegd, waaraan vervolgens één of meer bronnen warmte leveren. Deze (groep van) bronnen noemen we de bronnenmix.

Voor het duurzaam verwarmen van de gebouwde omgeving bestaan vijf opties (hierna 'strategieën'¹³). Het PBL brengt deze strategieën in de 'Startanalyse' in kaart en vergelijkt ze met elkaar. Bij twee ervan geldt aardwarmte (ook wel geothermie genoemd) als potentiële bron voor warmtenetten op lage temperatuur (LT) tot hoge temperatuur (HT). Aardwarmte fungeert daarbij als basislast in combinatie met andere bronnen of als enige bron met eventuele ophoging van de temperatuur middels een warmtepomp.

Recente studies naar de potentie van aardwarmte en afgeronde aardwarmteprojecten hebben de kennis over de ondergrond verbeterd. Mede hierdoor neemt de interesse naar aardwarmte als bron voor warmtenetten toe. Tegelijk is nog niet over alle gebieden met een verduurzamingsvraag duidelijk of de ondergrond er geschikt is voor het winnen van aardwarmte. Ook hebben veel gemeenten behoefte aan meer informatie over de stappen die nodig zijn voor het opzetten van een aardwarmteproject, en over de exploratie- en ontwikkelmogelijkheden.

Deze studie, die we hebben uitgevoerd in opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN), heeft als doel de kennis van deze aspecten te vergroten. De resultaten kunnen gemeenten helpen een afweging te maken over het inzetten van aardwarmte als alternatieve warmtebron voor de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie. Ze geven inzicht in de kosten van een aardwarmteproject, in de risico's en in manieren om die te verkleinen. Ze bieden een overzicht van de effecten op milieu, omgeving en samenleving. En ze hebben geleid tot een stappenplan voor het voorbereiden van een besluit.

1.2 Opdracht

Deze studie bouwt voort op drie eerdere studies. In de rapporten 'Play-based portfolio benadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie' (EBN, 2018) en 'Opschaling

¹¹ Ecorys, 2019. 'De financiële gevolgen van de warmtetransitie.'

¹² PBL, 2019. 'Startanalyse voor aardgasvrije buurten.'

¹³ PBL, 2019. 'Een strategie is een plan om iets te bereiken, in dit geval: verwarmen zonder aardgas.' Elke strategie kent een aantal varianten.

aardwarmte in warmtenetten' (Berenschot, 2018) wordt geopperd om geothermische plays¹⁴ geclusterd te bekijken. In het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland' (EBN, 2018) wordt de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron op nationaal niveau geschetst, en wordt beschreven welke acties nodig zijn om opschaling te realiseren.

In deze studie gaan we in op enkele onbeantwoorde vragen uit het 'Masterplan Aardwarmte':

- Hoe en waar kan aardwarmte in Nederland (technisch en technisch-economisch) worden ontwikkeld?
- In hoeverre kunnen de financiële (rest-)risico's van een project worden verkleind?
- Hoe is het gesteld met duurzaamheid, met het inpassen van aardwarmteprojecten in de omgeving en met het betrekken van de omgeving bij het project?

Het antwoord op deze vragen moet bijdragen aan:

- het vergroten van kennis over de potentie van aardwarmte als duurzaam alternatief voor aardgas;
- het planmatig beheren en doelmatig, duurzaam winnen van aardwarmte.

Het antwoord vormt daarnaast een basis voor:

- informatie en handvatten voor het ontwikkelen van aardwarmte op het niveau van de Regionale Energie Strategieën (RES);
- informatie over aardwarmte voor het opstellen van de 'Transitievisie Warmte' op gemeentelijk niveau.

Tijdens de studie voerden we overleg met experts van EBN, TNO en Stichting Platform Geothermie (SPG). Ook raadpleegden we medewerkers van het ECW, het PBL, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), het Nationaal Programma RES (NPRES) en RES-coördinatoren en beleidsambtenaren bij gemeenten en provincies.

De figuur hieronder geeft de inhoud van de studie weer, opgesplitst in delen. Elk deel behandelen we in dit rapport in een apart hoofdstuk. Daarin beschrijven we naast de onderzoeksresultaten ook de onderzoek aanpak.

¹⁴ Een play is een aardwarmtepotentieel, gebaseerd op de aanwezigheid van warm water in een gesteenteformatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden. (Bron: EBN, 2018.)



Figuur 1: Inhoud van de studie

1.3 Leeswijzer

Deel I: De potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron (hoofdstuk 2)

Aardwarmte kan op een kosteneffectieve manier bijdragen aan de warmtetransitie van de gebouwde omgeving, glastuinbouw en LT-industrie (industrie die een relatief lage temperatuur van onder de 100 graden vereist, hierna 'industrie'). Volgens het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland' kan aardwarmte in 2050 200 petajoule (PJ) leveren. Dat is bijna een kwart van de totale warmtevraag in dat jaar.

Maar voor het zover is, moet er nog veel gebeuren. Er is bijvoorbeeld meer inzicht nodig in geschikte locaties voor het winnen van aardwarmte als bron voor warmtenetten. Daarnaast kunnen de financiële risico's van aardwarmteprojecten, die worden gekenmerkt door hoge initiële investeringskosten, een drempel opwerpen om tot boringen over te gaan.

In deel I van deze studie belichten we daarom enerzijds de warmtevraag van de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie (de zogeheten bovengrondse potentie, kortweg de vraag) en anderzijds de geschiktheid van de ondergrond (dieper dan 500 m) voor het winnen van aardwarmte (de ondergrondse potentie, kortweg het aanbod) in Nederland.

Voor het in kaart brengen van de bovengrondse potentie hebben we gebruikt gemaakt van resultaten uit de 'Startanalyse' en inzichten uit recente publicaties. Aan deze resultaten en inzichten, die betrekking hebben op de gebouwde omgeving, hebben we gegevens over de glastuinbouw en industrie toegevoegd.

Voor het in kaart brengen van het ondergrondse potentie hebben we verder onderzoek gedaan naar de geothermische potentie van de volgende aardlagen: het Dinantien¹⁵, het Rotliegend, het Trias, het Jura, het Onder-Krijt en het Paleogeen. In deze studie is de zogeheten play-based portfolio benadering¹⁶ op aardwarmte toegepast. Dit is een benadering die is ontwikkeld voor de olie- en gassector en daar haar nut bewezen heeft, en die ook voordelen kan hebben op het gebied van aardwarmte. Een analyse van het effect van deze benadering op aardwarmteprojecten is recent uitgevoerd door PanTerra¹⁷.

Tot slot hebben we de bovengrondse en ondergrondse potentie gecombineerd. Hierdoor wordt per regio tot op buurniveau duidelijk in hoeverre aardwarmte in 2030 een technisch en financieel relevante optie is om in de warmtevraag te voorzien. Dit inzicht is vooral belangrijk voor RES-coördinatoren en voor ambtenaren bij provincies en gemeenten die betrokken zijn bij het opstellen van de 'Transitievisie Warmte'.

Deel II: Integraal exploreren en ontwikkelen van aardwarmte (hoofdstuk 3)

In deel II richten we ons op factoren die van invloed zijn op het opsporen en ontwikkelen van aardwarmte. Wat zijn bijvoorbeeld de kosten? Welke risico's komen erbij kijken? Hoe duurzaam is het? Wat is de impact van een aardwarmteproject op de omgeving? Om deze vragen te beantwoorden, hebben we de volgende analyses uitgevoerd:

- Ten eerste hebben we in kaart gebracht welke risico's er ontstaan bij het opsporen en ontwikkelen van aardwarmte. Op basis daarvan hebben we de zogeheten 'value at risk' bepaald (een inschatting van het potentiële verlies en de kans dat het zich voordoet) voor één aardwarmteproject en voor een portfolio van twintig aardwarmteprojecten.
- Ten tweede behandelen we de businesscase van een aardwarmteproject. Met experts die betrokken zijn bij het Integraal Kostenreductie Programma Aardwarmte (IKPA) hebben we een standaardcase uitgewerkt voor een gebouwde omgeving die al over een warmtenet beschikt.
- Ten derde hebben we informatie verzameld om te beoordelen hoe duurzaam aardwarmte is en welke impact zij heeft op milieu en omgeving. Daarnaast beschrijven we welke stappen er sinds de verschijning van het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland' zijn gezet om te zorgen dat projecten duurzaam zijn, om projecten in de omgeving in te passen en om de omgeving erbij te betrekken.

Deel III: Aardwarmte ontwikkelen in de praktijk (hoofdstuk 4)

Deze studie moet betrokkenen op RES- en gemeentelijk niveau helpen een afweging te maken over de inzet van aardwarmte. Twee praktische documenten, die we hebben ontwikkeld op basis van de resultaten van de studie, kunnen daarbij van pas komen:

¹⁵ In deze studie hebben we niet gekeken naar de potentie van ultradiepe geothermie (UDG), oftewel naar aardlagen met een top dieper dan 4.000 meter. Het Dinantien ligt alleen in Zuid-Nederland ondieper dan 4.000 meter.

¹⁶ Bij de play-based portfolio benadering worden meerdere aardwarmteprojecten in samenhang ontwikkeld. Zie paragraaf 3.1.

¹⁷ PanTerra, 2020. De mogelijkheden en potentie om aardwarmte op te schalen vanuit een ondergrond perspectief

- Het 'Stappenplan aardwarmte' biedt een handvat die onder meer laat zien welke partijen er bij de afweging moeten worden betrokken, waar informatie te vinden is en hoe het vergunningstraject verloopt.
- Detailstudies bieden inzicht in de potentie van aardwarmte per RES-gebied. Deze informatie kan ook door gemeenten worden gebruikt bij het opstellen van de 'Transitievisie Warmte'.

Deel IV: Gevoeligheidsanalyse potentie gebouwde omgeving (hoofdstuk 5)

In hoofdstuk 2 is het boven- en ondergronds potentieel van aardwarmte in Nederland bepaald. Voor deze analyse is aangenomen dat de kosten van een aardwarmteboring richting 2030 afnemen. Kanttekening bij deze – door het PBL opgestelde aanpak – is dat een klein verschil in kosten tussen alternatieven mogelijk grote impact op de plek van een warmtebron in de merit order. Een klein verschil in kosten hoeft niet altijd doorslaggevend te zijn in de besluitvorming over hoe een wijk van het gas af gaat. Dit hoofdstuk gaat in op dit probleem en rekt voor elke buurt een aantal scenario's door. Voor elke RES-regio wordt hierdoor extra inzicht gegeven in de rol die aardwarmte kan spelen.

2. De potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron

Dit hoofdstuk bestaat uit drie onderdelen:

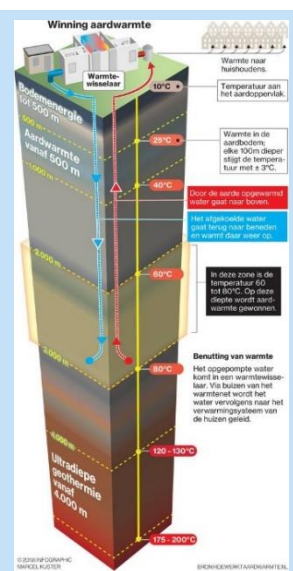
- In paragraaf 2.1 gaan we in op de bovengrondse potentie van aardwarmte. We hebben berekend hoe groot de warmtevraag van de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie is voor zover die kan worden ingevuld met een collectieve warmteoplossing (een oplossing op basis van rest- of aardwarmte).
- In paragraaf 2.2 beschrijven we hoe informatie over de ondergrond uit het geografisch informatiesysteem ThermoGIS v2.1 van TNO is geactualiseerd en onderverdeeld in verschillende plays en sub-plays. Op die manier ontstaat een gedetailleerd beeld van de ondergrondse warmtepotentie van Nederland.
- In paragraaf 2.3 combineren we het resultaat van beide inventarisaties. Per buurt wordt zo duidelijk of het technisch en financieel interessant is om de mogelijkheden van aardwarmte verder te verkennen.

Wat is aardwarmte?

In de ondergrond zit warm water dat is opgeslagen in aardlagen. Hoe dieper zo'n laag zit, hoe warmer het water is. Aardwarmte komt uit water in aardlagen die zich 500 tot 4.000 meter in de ondergrond bevinden. Bodemenergie bevindt zich in de eerste 500 meter, vanaf 4.000 meter spreekt men van Ultra-Diepe-Geothermie (UDG).

Op meerdere locaties in Nederland kan dit water worden opgepompt. Afhankelijk van de locatie gebeurt dat op verschillende dieptes. Er worden daarbij twee putten geboord. De ene put, de zogeheten productieput, pompt het warme water omhoog. De warmte uit dat water wordt vervolgens door een warmtewisselaar overgebracht naar het water in het warmtenet. De andere put voert het afgekoelde water terug naar de oorspronkelijke aardlaag.

Geschikte aardlagen voor het winnen van voldoende aardwarmte zijn, van oud naar jong, het Dinantien, het Rotliegend, het Trias, het Jura, het Onder-Krijt en het Paleogeen. Slechts enkele delen van het Dinantien liggen op minder dan 4.000 meter diepte. De overige delen van het Dinantien, die dieper liggen, laten we in deze studie buiten beschouwing¹⁸. Voor de andere aardlagen geldt dat aardwarmte financieel interessant is als de watertemperatuur meer dan 70°C bedraagt, de laag minimaal 60 meter dik is en de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van de laag groter is dan 120 millidarcy. Zie tabel 2.



2.1 De bovengrondse potentie (vraag)

In deze paragraaf gaan we in op de bovengrondse potentie van aardwarmte¹⁹. Eerst beschrijven we de beschikbare data, daarna geven we aan welke keuzes we hebben gemaakt om de potentie voor elke buurt te bepalen. Daarbij maken we onderscheid tussen de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie.

We hebben voor de gebouwde omgeving bepaald in welke buurten aardwarmte in 2030 de laagste nationale kosten heeft in vergelijking met andere alternatieven voor aardgas. De nationale kosten zijn de totale kosten in Nederland van alle maatregelen die nodig zijn om ergens (bijvoorbeeld in een buurt) een warmteproject uit te voeren, ongeacht wie die kosten betaalt. Deze kosten zijn inclusief de baten van energiebesparing, maar exclusief belastingen, heffingen en subsidies. We vermelden alleen buurten waarin aardwarmte het goedkoopste alternatief is. Voor de glastuinbouw en industrie hebben we een vergelijkbare analyse uitgevoerd, al is voor deze sectoren de vergelijking met kosten van alternatieven geen onderdeel van deze studie. Tenslotte hebben we de totale warmtevraag

¹⁸ Zie <https://www.ebn.nl/energietransitie/new-energy/programma-udg/> voor meer informatie over ultradiepe aardwarmte.

¹⁹ De bovengrondse potentie is de 'geschiktheid' van de warmtevraag in een buurt voor verwarming met aardwarmte. Een belangrijke voorwaarde is dat de warmtevraagdichtheid hoog genoeg is voor het aanleggen van een warmtenet. Bij een te lage dichtheid moet warmte over grotere afstanden worden getransporteerd, met temperatuurverlies als gevolg.

gecorrigeerd voor het ondergronds potentieel. Dat leidt tot een kaart van Nederland die per buurt laat zien of er vanuit technisch-financieel oogpunt potentie is voor het ontwikkelen van aardwarmte en, zo ja, wat de 'slaagkans' is van de ondergrond: de geschiktheid van de ondergrond voor het winnen van aardwarmte.

2.1.1 De warmtevraag per sector en de mogelijke rol van aardwarmte

Gebouwde omgeving

De overstap van aardgas naar alternatieven met een lagere CO₂-uitstoot vraagt een fikse investering van de samenleving. Om uit deze alternatieven een verantwoorde keuze te maken, is het voor bijvoorbeeld gemeenten belangrijk om inzicht te krijgen in de warmtevraag en in de kosten van de alternatieven. Het Rijk heeft het PBL daarom opdracht gegeven om een technisch-economisch rekenmodel te creëren. Dat heeft geresulteerd in Vesta MAIS, een computermodel dat rekening houdt met lokale omstandigheden. Doordat Vesta MAIS een opensourcemodel is, kan het door gemeenten, energiebedrijven en andere organisaties vrijelijk worden gebruikt²⁰.

Het PBL zelf gebruikte het model bij de totstandkoming van zijn 'Startanalyse'. Daarin biedt het PBL een eerste beeld op buurtniveau van de technisch-economische en duurzaamheidsgevolgen in 2030 van vijf aardgasvrije-warmtestrategieën²¹. Het PBL berekende onder meer de gemiddelde warmtevraag per woningequivalent per jaar, het energieverbruik, en de CO₂-uitstoot van woningen, kantoren, winkels en utiliteiten. Ook becijferde het de kosten van elke strategie vanuit nationaal perspectief onder de aanname dat elke buurt aardgasvrij wordt²². Dat maakte het mogelijk om per buurt de nationale kosten van duurzame alternatieven met elkaar te vergelijken en vervolgens te kiezen voor het alternatief met de laagste nationale kosten (LNK)²³.

Let op: bij het bepalen van de LNK per buurt houdt Vesta-MAIS geen rekening met de keuze in andere buurten. Het is goed om te weten dat één aardwarmtebron meerdere buurten van warmte kan voorzien. Als in een buurt wordt gekozen voor aardwarmte, wordt aardwarmte daardoor ook voor nabijgelegen buurten financieel interessant.

Dit zijn de vijf aardgasvrije-warmtestrategieën uit de 'Startanalyse' (versie 0.8):

Strategie 1 (S1)	Strategie 2 (S2)	Strategie 3 (S3)	Strategie 4 (S4)	Strategie 5 (S5)
Individuele elektrische warmtepomp	Warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron	Warmtenet met lagetemperatuurbron	Hernieuwbaar gas met hybride warmtepomp	Hernieuwbaar gas met hr-ketel
2 varianten: 1A: luchtwarmtepomp 2B: bodemwarmtepomp	4 varianten: 2A: MT Restwarmte 2B: MT Geothermie 2C: MT Geothermie zonder kanskaart 2D: MT met bio-WKK	5 varianten: 3A: LT warmtebron, levering op 30 graden 3B: LT warmtebron, levering op 70 graden 3C: LT warmtebron, levering op 50 graden 3D: WKO, 50 graden 3E: TEO + WKO, 70 graden	n.v.t.	n.v.t.

Figuur 2: Aardgasvrije-warmtestrategieën, PBL 2019

²⁰ Zie <https://www.pbl.nl/vesta> voor meer over Vesta MAIS

²¹ Bron: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/main.php#>

²² In de praktijk zal niet elke buurt in 2030 aardgasvrij (kunnen) zijn.

²³ De kosten van gebouwmaatregelen, zoals isolatie, en gebiedsmaatregelen (bijvoorbeeld warmtenetten op aardwarmte) worden integraal doorgerekend.

Bij strategie 2 en 3 geldt aardwarmte als potentiële bron voor LT- tot HT-warmtenetten. Aardwarmte fungeert daarbij als basislast in een mix van bronnen of als enige bron met eventuele ophoging van de temperatuur middels een warmtepomp.

In deze studie focussen we ons in eerste instantie op variant 2C. Het PBL stelt dat de ondergrond overal in Nederland geschikt is voor winning van aardwarmte op de juiste temperatuur²⁴ en dat de kosten voor transport naar het middentemperatuur warmtenet (MT-warmtenet) nihil zijn²⁵. Aanvullend kijken we naar de warmtevraag van variant 2A en de totale warmtevraag van alle varianten van strategie 3. Ook in deze varianten kan aardwarmte een rol spelen, bijvoorbeeld als basislast in een bronnenmix.

De gecombineerde middentemperatuur warmtevraag (strategie 2) bedraagt in 2030 ruim 290 PJ, die van strategie 3 bedraagt 60 PJ²⁶. Deze vraag is niet gecorrigeerd voor economische parameters, zoals de kosten van andere duurzame alternatieven, en voor de ondergrondse potentie. Correctie voor beide aspecten biedt inzicht in de economische potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron per buurt en komt respectievelijk in paragraaf 2.1.2 en 2.3 aan bod.

Glastuinbouw

Een andere sector met een grote en constante vraag naar warmte is de glastuinbouw. Volgens het CBS telde Nederland in 2019 circa 9.500 hectare glastuinbouw met volgens het RVO een totale vraag van zo'n 95 PJ²⁷. Om de warmtevraag per bedrijf te bepalen, zijn we uitgegaan van een verbruik van 30 m³ aardgas per m². Met behulp van het 'Bestand Bodemgebruik' van het CBS hebben we vervolgens de warmtevraag van glastuinbouw per buurt berekend²⁸. Hierbij gaat het dus niet om de verwachte warmtevraag in 2030, maar om de huidige vraag.

Industrie

De industrie verbruikt veel warmte voor bijvoorbeeld de productie van papier. De totale warmtevraag van de industrie bedroeg in 2013 520 PJ²⁹. De cijfers voor de verschillende productieprocessen binnen de sector lopen sterk uiteen. Voor een aantal processen is de benodigde temperatuur laag, dat wil zeggen minder dan 100 graden³⁰. In deze vraag kan mogelijk (deels) worden voorzien met aardwarmte. De 'Warmteatlas' van RVO bevat een kaart met de warmtevraag van verschillende industriële sectoren. Als we uitgaan van deze kaart en een met TNO afgestemde selectie van sectoren, blijkt dat de totale warmtevraag van de LT-industrie in 2013 zo'n 200 PJ bedroeg³¹.

²⁴ Dit geldt ook in buurten waar nu nog 'witte vlekken' zijn (zie paragraaf 2.2.4) of waar de ondergrond niet geschikt lijkt.

²⁵ In variant 2C gaat men er van uit dat een boring naast de aansluiting met een MT-warmtenet plaatsvindt, waardoor van boorlocatie tot net geen grote afstand hoeft te worden overbrugd. In de praktijk is kan de afstand groter zijn en vallen de kosten dus hoger uit.

²⁶ Dit is de totale warmtevraag die in potentie met een MT- of LT-warmtenet kan worden ingevuld. Deze cijfers kunnen niet bij elkaar worden opgeteld. Waar een LT-warmtenet mogelijk is, is meestal ook een MT-net mogelijk.

²⁷ Zie <http://energiewiki.tiddlyspot.com/#B.Gemeente> (klik onder 'VraagSectoren' op 'Glastuinbouw').

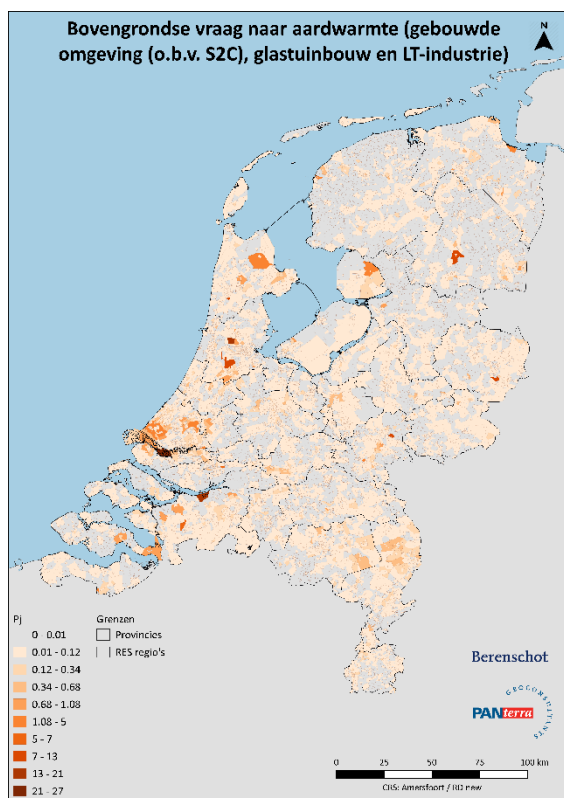
²⁸ Zie <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische-data/natuur-en-milieu/bestand-bodemgebruik>. Op deze kaart is de totale oppervlakte van een glastuinbouwbedrijf weergegeven. De getoonde oppervlaktes zijn een overschatting van gemiddeld ongeveer 40% van het daadwerkelijke areaal aan kassen. Voor elke locatie hebben we in overleg met RVO een correctie toegepast.

²⁹ CE Delft, 2014. 'Kansen voor warmte'

³⁰ Grofweg kunnen we stellen dat de volgende sectoren een LT-vraag hebben: riolering en waterzuiveringsinstallaties; afvalverwijdering; handel, diensten en overheid; bouw; verkeer en vervoer; landbouw; chemische industrie (deels); voeding en genotmiddelen (deels). (Bron: TNO en CE Delft.)

³¹ Als er recentere en gedetailleerdere gegevens over het type warmte (temperatuur) beschikbaar komen, kan een betere inschatting worden gemaakt.

Figuur 3 toont de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving (variant 2C), glastuinbouw en industrie³². In deze figuur hebben we nog geen rekening gehouden met economische parameters en met de ondergrondse potentie.



Figuur 3: Totale warmtevraag gebouwde omgeving (variant 2C), glastuinbouw en industrie per buurt



Figuur 4: Bovengrondse vraag naar aardwarmte, restwarmte en LT-warmte op basis van LNK

2.1.2 De daadwerkelijke vraag naar aardwarmte op basis van de kosten van alternatieven

Gebouwde omgeving

In paragraaf 2.1.1 hebben we de technische potentie van aardwarmte inzichtelijk gemaakt. Om de daadwerkelijke potentie te bepalen, moeten we voor elke buurt de nationale kosten van aardwarmte vergelijken met die van duurzame alternatieven³³. Hiervoor is het belangrijk kritisch te kijken naar de kostenopbouw van een aardwarmteproject in Vesta-MAIS³⁴.

Het PBL baseert de kosten van een aardwarmtebron op de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE)³⁵. Hierbij gaat het PBL ervan uit dat de realisatiekosten (ook wel kapitaalslasten genoemd) van het ontwikkelen van een aardwarmtebron tot 2030 kunnen worden teruggebracht met 11%³⁶. Volgens een recent rapport³⁷ is echter een reductie van 30% mogelijk, dankzij synergie, efficiëntie en standaardisatie in het ontwikkelen van

³² De warmtevraag van deze drie sectoren is gebaseerd op een ander jaartal. Voor de gebouwde omgeving is een inschatting door het PBL gemaakt van de warmtevraag in 2030. Voor de glastuinbouw maken we gebruik van de vraagcijfers uit 2019. De cijfers van de industrie gaan over 2013. Naar verwachting neemt de totale warmtevraag van de glastuinbouw en industrie richting 2030 toe ten opzichte van respectievelijk 2019 en 2013.

³³ Zie https://apps.geodan.nl/public/data/org/gws/NZVGBQNFZNVB/pbl_public/wms?request=GetCapabilities

³⁴ Versie 'Startanalyse' 0.8.

³⁵ Zie https://www.pbl.nl/sites/default/files/rest/cms/publicaties/pbl-2018-conceptadvies-geothermie-sde-2019_3273.pdf

³⁶ Andere typen kosten waarmee in strategie 2 rekening wordt gehouden: warmtedistributie (in de buurt en in een pand) en warmtetransport (van de bron naar de buurt).

³⁷ TNO en EBN, 2018. <https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2018/06/TNO-EBN-rapport-Play-based-portfoliobenadering-geothermie-30-mei-2018-2.pdf>

aardwarmtebronnen. De details van deze reductie worden nu uitgewerkt in het programma IKPA (zie paragraaf 3.2). Tot 2050 is volgens experts een kostenreductie van 50% mogelijk³⁸.

Vergelijken we voor deze drie scenario's de nationale kosten van variant 2C met die van andere alternatieven³⁹, dan kunnen we zien voor welk percentage van buurten aardwarmte het alternatief met de LNK is.

	11% kostenreductie (uitgangspunt PBL)	30% kostenreductie (verwachting 2030)	50% kostenreductie (verwachting 2050)
Percentage buurten waarin aardwarmte het goedkoopste alternatief voor aardgas is in 2030	7,5%	16,5%	21%

In een kleine 10% van alle buurten is een MT-warmtenet op basis van restwarmte (variant 2A) het alternatief met de LNK en in 6% van alle buurten is een LT-warmtenet (strategie 3) het alternatief met de LNK. Theoretisch kan aardwarmte in deze buurten een rol spelen (bijv. als basislast), maar aanvullend lokaal onderzoek is nodig.

In deze studie gaan we uit van een reductie in 2030 van 30%. Op de reductie van 11% uit de 'Startanalyse' hebben we dus een additionele reductie van 19% toegepast.

Als we uitgaan van een reductie van 30%, dan betreft de MT-warmtevraag 94 PJ. 46 PJ wordt ingevuld door variant 2A en 48 PJ door variant 2C. Daarnaast wordt 19 PJ geleverd strategie 3. Voor variant 2A en strategie 3 is aardwarmte niet de optie met de LNK. Aardwarmte kan wel een rol spelen als basislast of als (toekomstig) duurzaam alternatief.

In figuur 4 is per buurt weergegeven welke variant de LNK heeft. Ook worden buurten getoond waarin de warmtevraag van de glastuinbouw en industrie gecombineerd met de vraag van de gebouwde omgeving groter is dan 0,3 PJ. Deze waarde lichten we hierna toe.

Glasiuinbouw en industrie

In de 'Startanalyse' kijkt PBL alleen naar de warmtevraag van de gebouwde omgeving. Om in te schatten in welke buurten aardwarmte een rol kan spelen voor de glastuinbouw en industrie, hebben we gewerkt met een drempelwaarde. Als binnen een buurt de som van de warmtevraag van de gebouwde omgeving en/of de glastuinbouw groter is dan 0,3 PJ⁴⁰, of als de som van de warmtevraag van de gebouwde omgeving en/of de industrie groter is dan 0,3 PJ, dan hebben we de additionele glastuinbouw en/of industrie warmtevraag opgeteld bij de warmtevraag van de gebouwde omgeving om de totale potentie van de bovengrondse vraag naar aardwarmte⁴¹ te bepalen. De warmtevraag van de glastuinbouw en industrie is overgenomen uit de Warmteatlas⁴².

De totale economische potentie van aardwarmte

De linker kaart in figuur 5 toont de bovengrondse vraag naar aardwarmte in PJ voor de gebouwde omgeving (variant 2C), glastuinbouw en industrie. De totale warmtevraag in 2030 bedraagt 288 PJ. In deze kaart hebben we geen rekening gehouden met de ondergrondse potentie, maar wel met economische parameters. De rechter kaart toont de warmtevraag wanneer we ook de vraag naar restwarmte en LT-bronnen meenemen. In dat geval bedraagt de totale warmtevraag 353 PJ.

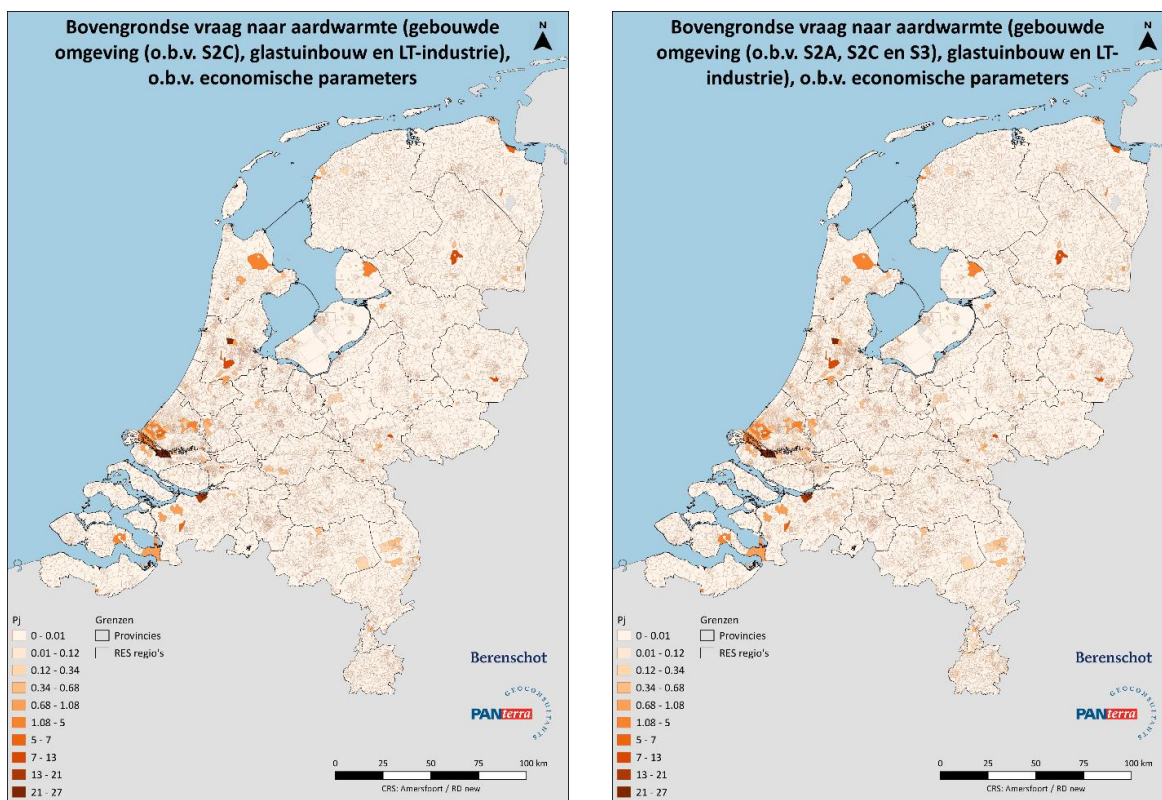
³⁸ Bij het bepalen van de potentie hebben we de kostprijsreductie die wordt verwacht in 2050 niet meegenomen.

³⁹ Bij het bepalen van de kosten van variant 2C zijn de eventuele kosten van de transportleiding niet meegenomen. Aangenomen wordt dat een aardwarmtebron op zeer korte afstand van de afnemers kan worden geboord, waardoor deze kosten € 0 zijn.

⁴⁰ Deze drempelwaarde is afkomstig uit het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland' (2018).

⁴¹ In kaarten die de potentie van onder- en bovengrond combineren, hebben we de vraag naar aardwarmte met het oog op de vraag van de glastuinbouw aangeduid met een 'overlay' van diagonale lijnen. Voor de industrie hebben we de vraag, bijvoorbeeld in figuur 8, aangeduid met een overlay van stippen.

⁴² <http://www.warmteatlas.nl/>



Figuur 5, links: warmtevraag die ingevuld zou kunnen worden met aardwarmte in de gebouwde omgeving (variant 2C, in 2030), glastuinbouw en industrie, op basis van LNK.

Figuur 6, rechts: warmtevraag gebouwde omgeving die ingevuld zou kunnen worden met aardwarmte (variant 2A, 2B, 3), glastuinbouw en industrie, op basis van LNK. In de detailstudie voor uw RES-gebied vindt u een uitsnede van deze kaarten voor uw gebied.

Onderstaande tabel vat de resultaten uit paragraaf 2.1 samen. De tabel toont dat aardwarmte een rol kan spelen bij duurzame verwarming van de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie.

Tabel 2: Bovengrondse vraag naar aardwarmte en alternatieve MT- en LT-warmtebronnen, niet gecorrigeerd voor ondergronds aanbod

Sector	Onderdeel	Vraag die ingevuld zou kunnen worden door aardwarmte (PJ)	Aantal buurten (-)
Gebouwde omgeving	Totale warmtevraag strategie 2 (MT-bronnen), 2030	290	n.v.t.
	LNK variant 2A	46	1.300
	LNK variant 2C	48	2.200
	Totale warmtevraag strategie 3 (LT-bronnen), 2030	60	n.v.t.
	LNK strategie 3	19	800
Glastuinbouw	Totale warmtevraag glastuinbouw, 2019	95	918
	Vraag (gecombineerd) in 1 buurt groter dan 0,3 PJ	60	67
Industrie)	Totale warmtevraag industrie, in 2013	520	n.v.t.
	Totale LT-warmtevraag industrie, 2013	199	531
	Vraag (gecombineerd) in 1 buurt groter dan 0,3 PJ	180	56
Totaal	Warmtevraag gebouwde omgeving (2A, 2C, 3), glastuinbouw en industrie	353	4.423 (34%)
	Warmtevraag gebouwde omgeving (2C), glastuinbouw en industrie	288	2.323 (18%)

Let op 1: In bovenstaand overzicht hebben we niet gecorrigeerd voor de ondergrondse potentie van aardwarmte. De combinatie van de bovengrondse en ondergrondse potentie (die leidt tot een afname van het aantal PJ) beschrijven we in paragraaf 2.3.

Let op 2: Veel glastuinbouwbedrijven gebruiken installaties voor warmtekrachtkoppeling (WKK). Daarmee wekken zij naast warmte ook CO₂ op. Niet voor alle bedrijven is een alternatieve CO₂-bron beschikbaar. Hiervoor hebben we de resultaten niet gecorrigeerd.

Let op 3: Bedrijven in de LT-industrie hebben weliswaar gemeen dat zij een relatief lage temperatuur van onder de 100 graden vragen, maar verder verschillen zij soms sterk. Veel bedrijven onderzoeken dan ook verschillende opties om te verduurzamen. Het aantal van 180 PJ laat zien dat aardwarmte als duurzame warmtebron voor deze sector een relevante optie kan zijn. Er bestaan echter ook andere relevante opties, zoals cascadering.

2.2 De ondergrondse potentie (aanbod)

De hoeveelheid beschikbare aardwarmte kan worden gezien als dynamisch; nieuwe gegevens of inzichten over de ondergrond leiden tot andere cijfers. Dit geldt zeker voor gebieden waarvan weinig gegevens beschikbaar zijn over de ondergrond. In deze paragraaf gaan we in op de ondergrondse potentie van aardwarmte op basis van de huidige kennis en de huidige gegevens over de ondergrond.

Eerst hebben we de beschikbare gegevens beschreven, vervolgens hebben we alle aardlagen op grond van geologische gegevens ingedeeld in verschillende plays en sub-plays. Deze (sub-)plays zijn gedefinieerd op basis van vergelijkbare geologische eigenschappen. Voor elke play hebben we berekend wat de slaagkans is, oftewel de geschiktheid van de ondergrond voor het winnen van aardwarmte (zie kader 1). Deze slaagkans hebben we weergegeven op zogeheten CRS-kaarten. CRS is een afkorting van 'common risk segment'. Vervolgens hebben we de verschillende CRS-kaarten samengevoegd tot één 'combined common risk segment'-kaart (CCRS-kaart), die voor heel Nederland met de kleuren van een verkeerslicht laat zien wat de ondergrondse potentie van aardwarmte is.

Kader 1: Geologische eigenschappen die relevant zijn bij het inschatten van de geschiktheid voor aardwarmte.

De geschiktheid van een aardlaag voor het winnen van aardwarmte wordt bepaald door de temperatuur van het water in de laag, de doorlaatbaarheid van de laag en de dikte van de laag. De *temperatuur* van het water hangt in grote mate af van hoe diep de aardlaag in de ondergrond ligt. Hoe dieper de laag, hoe warmer het water. De *doorlaatbaarheid* (ook wel permeabiliteit) van de laag geeft aan hoe makkelijk water door de laag kan stromen en bepaalt daarmee in grote mate hoeveel water een project kan onttrekken aan de ondergrond. Ook de *dikte* van de aardlaag is van invloed op de hoeveelheid water die kan worden opgepompt en teruggebracht. Meestal geldt: hoe dikker de laag, hoe beter.

Bij aardwarmte wordt warmte gewonnen uit gesteentelagen dieper dan 500m. Deze activiteit wordt gezien als mijnbouwactiviteit en valt onder de Mijnbouwwet. De rijksoverheid is het bevoegde gezag en Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is de toezichthouder. Het winnen van warmte uit ondiepere (bodem) lagen noemen we bodemenergie. Deze activiteit valt niet onder de Mijnbouwwet en de provincie is het bevoegde gezag.

2.2.1 De beschikbare geologische gegevens

De olie- en gasindustrie heeft door de jaren heen veel geïnvesteerd in gegevens over de Nederlandse ondergrond, onder meer in de vorm van boringen, gegevensdeling en zogeheten seismisch onderzoek (onderzoek waarbij met behulp van een soort echo meer inzicht wordt verkregen in de diepte en structuur van de ondergrond). Daardoor is de kennis over de Nederlandse ondergrond redelijk tot zeer goed in vergelijking met andere landen.

Veel van de geologische-parameterkaarten in deze studie hebben we afgeleid van ThermoGIS v2.1. Dit is een landelijke database, opgezet door TNO en publiekelijk toegankelijk op www.thermogis.nl. De kwaliteit van de gegevens uit deze database volstaat voor het maken van inschattingen voor grotere gebieden, zoals steden en provincies. Ze zijn echter weergegeven op pixels van 500 bij 500 meter. Als we inzoomen tot op het niveau van een wijk of gemeente, gaan daardoor veel details verloren. De diepte en dikte van lagen komen lokaal niet overal overeen met die gevonden in boringen.

Daarom hebben we de gegevens uit ThermoGIS aangevuld met recente kaarten en inzichten. Ook hebben we voor de verschillende aardlagen (sub-)play-gebieden gedefinieerd. Daarbij hebben we ons gebaseerd op 'De Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland' (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010) en op kennis van bijzonder hoogleraar Regional and Petroleum Geology Jan de Jager en PanTerra. Met de aangevulde gegevens kunnen we nauwkeuriger inschatten of de ondergrond geschikt is voor het winnen van aardwarmte.

2.2.2 De geschiktheid van de ondergrond

Zoals beschreven in kader 1 wordt de geschiktheid van een aardlaag voor het winnen van aardwarmte bepaald door de temperatuur, doorlaatbaarheid en dikte van die laag. Om voor elke play te bepalen welk deel van een play geschikt is, hebben we gewerkt met drempelwaarden voor deze drie eigenschappen. De drempelwaarden, zoals gedefinieerd in tabel 3, zijn gebaseerd op inschattingen van PanTerra en evaluaties van projecten rond aardwarmte projecten. De basiskaarten van temperatuur, doorlaatbaarheid en dikte hebben we aan de hand van deze drempelwaarden omgezet in CRS-kaarten met de kleuren van een verkeerslicht: groen, geel en oranje.

- In groene gebieden bestaat een **grote** kans⁴³ dat de eigenschappen geschikt zijn voor aardwarmteprojecten.
- In gele gebieden bestaat een **redelijke** kans dat de eigenschappen geschikt zijn voor aardwarmteprojecten. Er is een vrij grote onzekerheid, die echter met gedetailleerd geologisch werk, een exploratieprogramma of nieuwe gegevens kan worden verkleind.
- In oranje gebieden bestaat een **kleine** tot **zeer kleine** kans dat de eigenschappen geschikt zijn voor aardwarmteprojecten. In sommige van deze gebieden zijn de eigenschappen ongeschikt, in andere is er een grote onzekerheid (bijvoorbeeld doordat er geen gegevens beschikbaar zijn), die echter met gedetailleerd geologisch werk, een exploratieprogramma of nieuwe gegevens waarschijnlijk kan worden verkleind.

De grenzen tussen oranje en geel en tussen geel en groen zijn niet exact en onzekerheden blijven bestaan. Omdat we de CCRS-kaart niet hebben gebaseerd op één geologische eigenschap, maar op minimaal drie eigenschappen, is de individuele grens van één geologische eigenschap echter minder belangrijk.

Tabel 3: Drempelwaarden voor de CRS-kaarten⁴⁴

Geologische eigenschap	Dinantien	Rotliegend	Trias	Jura	Onder-Krijt	Paleogeen
Dikte (m)	N.v.t.	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<20 oranje 20 – 50 geel >50 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen
Doorlaatbaarheid (mD)	Lage kans (Weinig primaire doorlaatbaarheid) ⁴⁵	<60 oranje 60 – 120 geel >120 groen	<50 oranje 50 – 110 geel >110 groen	<60 oranje 60 – 120 geel >120 groen	<60 oranje 60 – 120 geel >120 groen	<60 oranje 60 – 120 geel >120 groen
Temperatuur (°C)	Voldoende >100	<35 oranje 35 – 70 geel >70 groen	<35 oranje 35 – 70 geel >70 groen	<35 oranje 35 – 70 geel >70 groen	<35 oranje 35 – 70 geel >70 groen	<25 oranje 25 – 40 geel >40 groen

⁴³ Zie PanTerra (2020) voor een onderbouwing en de methodiek waarmee de aardwarmtepotentie van een laag is bepaald.

⁴⁴ Zie PanTerra (2020) voor meer informatie over de gekozen drempelwaarden.

⁴⁵ De slaagkans van een aardwarmteproject in het Dinantien ondieper dan 4.000m is bij gebrek aan voldoende gegevens zeer lastig in te schatten. Zie ook de analyse van de ondergrondse potentie van PanTerra 2020 (hoofdstuk 3).

We hebben de drempelwaarden gekozen op basis van huidige technieken en inzichten, zonder het gebruik van reservoirstimulatie (het verbeteren van de stroming van vloeistoffen door poreuze materialen). Als nieuwe technologieën worden ontwikkeld of bestaande technieken aanzienlijk worden verbeterd, moeten de drempelwaarden wellicht worden aangepast.

2.2.3 De geothermische potentie van een play

De drie bovengenoemde CRS-kaarten per play hebben we bij elkaar ‘opgeteld’ tot een CCRS-kaart (zie figuur 8). Met kleuren hebben we daarop aangegeven in hoeverre aardlagen geschikt zijn voor het winnen van aardwarmte. In tabel 4 lichten we deze kleuren toe.

Tabel 4: Toelichting bij de kleuren op de CCRS-kaart

Kleur op CCRS-kaart	Methodiek van ‘optellen’
Donkergroen	De optelling van 3x groen. In deze gebieden is de ondergrond geschikt voor het winnen van aardwarmte.
Middelgroen	De optelling van 2x groen en 1x geel. In deze gebieden bestaat geringe onzekerheid over één geologische eigenschap, waarover verder onderzoek uitsluitel kan geven. Het is niet van belang welke kaart geelgekleurd is, de temperatuur-, doorlaatbaarheid- of diktekaart.
Lichtgroen	De optelling van 1x groen en 2x geel. In deze gebieden bestaat iets meer onzekerheid, omdat twee geologische eigenschappen verder onderzoek vergen.
Geel	De optelling van 3x geel. In deze gebieden is aardwarmte mogelijk, maar moet verder onderzoek uitsluitel geven over de geologische eigenschappen en de onzekerheden.
Oranje	De optelling van 2x geel en 1x oranje of 2x groen en 1x rood. Wanneer een geologische eigenschap roodgekleurd is, nemen de kansen voor aardwarmte af. Omdat een bepaalde drempelwaarde is gebruikt, kan wel worden bekeken of de drempelwaarde in deze gebieden kan worden verbreed. Maar let op: hoe meer geologische eigenschappen roodgekleurd zijn, hoe groter de risico's van aardwarmte.
Donkeroranje	De optelling van 2x oranje en 1x geel of 1x groen. In deze gebieden zijn de kansen voor aardwarmte te klein, maar kan nieuwe informatie ze verbeteren. Denk bijvoorbeeld aan informatie over een succesvol aardwarmteproject in een nabijgelegen en geologisch soortgelijk gebied.
Rood	De optelling van 3x oranje. In deze gebieden zijn alle geologische eigenschappen waarschijnlijk ongeschikt voor het winnen van aardwarmte. Het is verstandig andere alternatieve warmtebronnen te onderzoeken.

2.2.4 ‘Witte vlekken’ en additionele invloedsfactoren

Gebieden met onvoldoende inzicht in de kwaliteit van de ondergrond

Van sommige gebieden in Nederland zijn te weinig gegevens over de ondergrond beschikbaar om een betrouwbare inschatting te maken van de potentie van aardwarmte. Dit komt doordat in deze gebieden tot nu toe weinig boringen hebben plaatsgevonden. Dit wil niet zeggen dat aardwarmte er uitgesloten is ⁴⁶. In ThermoGIS v2.1 zijn deze gebieden aangemerkt als ‘witte vlekken’.

Voordat een goede uitspraak kan worden gedaan, moeten deze gebieden verder worden onderzocht. Binnen het programma Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) laten EBN en TNO nu regionaal seismische 2D-onderzoeken uitvoeren om meer gegevens te verkrijgen over de ondergrond in witte vlekken. Wellicht worden in

⁴⁶ Op basis van kennis van de algemene geologie van Nederland en extrapolatie van goede gegevens over gebieden waarover minder informatie voorhanden is, kunnen geologen de geologie in deze gebieden redelijk goed voorspellen. SCAN is een eerste stap op regionaal niveau. Ook na dit onderzoek blijft een mate van onzekerheid bestaan. Aanvullend lokaal onderzoek is dan ook nodig, afhankelijk van het gebied.

de toekomst ook wetenschappelijke boringen verricht om de geologische eigenschappen in kaart te brengen. In figuur 7 laten we zien waar de komende jaren SCAN-onderzoek plaatsvindt⁴⁷.

Bij het maken van de afweging of aardwarmte als duurzame warmtebron in een regio een relevante optie is, moet – naast de CCRS-kaarten – ook gekeken te worden naar de resultaten van deze SCAN onderzoeken. Daarnaast kan een gemeente overwegen om zelf (additioneel) seismisch onderzoek te laten uitvoeren. Binnen de witte vlekken is vrijwel altijd aanvullend lokaal seismisch onderzoek nodig voor de realisatie van een project. We hebben de witte vlekken opgenomen op diverse kaarten in dit rapport. Zie onder meer onderstaande CCRS-kaarten van het Rotliedend en de figuren in de bijlage⁴⁸.

Additionele factoren die invloed hebben op de aardwarmtepotentie

Zowel onder- als bovengronds zijn er soms factoren die invloed kunnen hebben op het verkrijgen van vergunningen bij aardwarmteprojecten. Denk bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van olie of gas, Natura 2000-gebieden, waterwingebieden⁴⁹ of breuklijnen. Op figuur 9 laten we de belangrijkste invloedsfactoren zien.

Het is niet mogelijk om op de locatie en in de aardlaag waar zich een olie- of gasveld bevindt een aardwarmteproject te ontwikkelen. Afhankelijk van de locatie is het onder voorwaarden wel mogelijk om in een laag erboven of eronder aardwarmte te winnen.

Of vergunningen worden verleend is een lokale afweging. Bij het bepalen van de potentie van aardwarmte hebben we geen rekening gehouden met de additionele factoren op deze kaart (figuur 9).

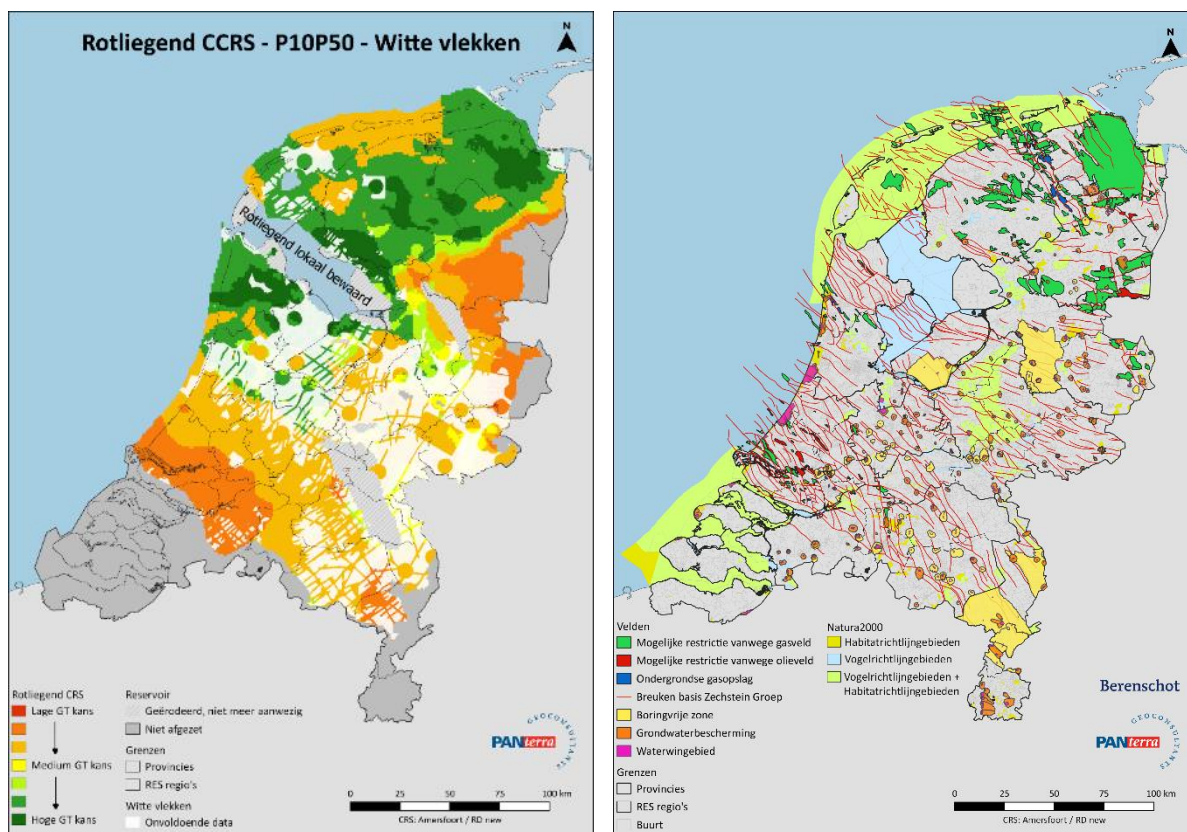


Figuur 7: Projectplan SCAN. De getoonde lijnen worden komende jaren door EBN, TNO en partners onderzocht.

⁴⁷ Zie voor meer informatie over locatie en planning: www.scanaardwarmte.nl

⁴⁸ Zie PanTerra (2020) voor meer informatie over witte vlekken.

⁴⁹ In bijna alle provincies mag wel onder een waterwingebied worden geboord, mits de boorlocatie aan het oppervlak zich buiten het waterwingebied bevindt.



Figuur 8, links: CCRS-kaart van het Rotliegend.

Figuur 9, rechts: additionele factoren die invloed kunnen hebben op het verkrijgen van een vergunning (zie bijlage voor een grotere versie).

2.3 De combinatie van de bovengrondse en ondergrondse potentie voor de toepassing van aardwarmte

In paragraaf 2.1 hebben we bepaald wat op basis van de LNK de bovengrondse potentie voor de toepassing van aardwarmte is van de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie. In paragraaf 2.2 hebben we per aardlaag berekend wat de ondergrondse aardwarmtepotentie is. In paragraaf 2.3 combineren we beide bevindingen en geven we voor elke buurt aan in hoeverre het verder verkennen van aardwarmte als duurzame warmtebron relevant is. De resultaten geven we weer in figuur 10 en tabel 5.

In figuur 10 hebben we de verschillende CRS-kaarten samengevoegd tot een CCRS-kaart. Deze kaart toont voor elke locatie de aardwarmtepotentie van de aardlaag met de grootste slaagkans⁵⁰. De CCRS-kaart hebben we op zijn buurt gecombineerd met de kaart van de bovengrondse potentie van aardwarmte⁵¹.

Als we de kaarten van de bovengrondse en ondergrondse potentie combineren, valt op dat er in veel buurten potentie is om verwarming te verduurzamen met aardwarmte. Het gaat dan om 279 PJ (exclusief de potentie van variant 2A en strategie 3), waarvan 239 PJ in buurten waarin de ondergrond zeer geschikt is voor het winnen van aardwarmte.

⁵⁰ Als in een bepaalde locatie de CCRS-kaart voor het Onder-Krijt een 'gele' kans heeft en voor het Rotliegend een 'groene' kans, dan is de gecombineerde kaart 'groen'.

⁵¹ Voor elke CCRS-kaart hebben we separaat een koppeling met de bovengrond (variant B) gemaakt. Zie bijlage.

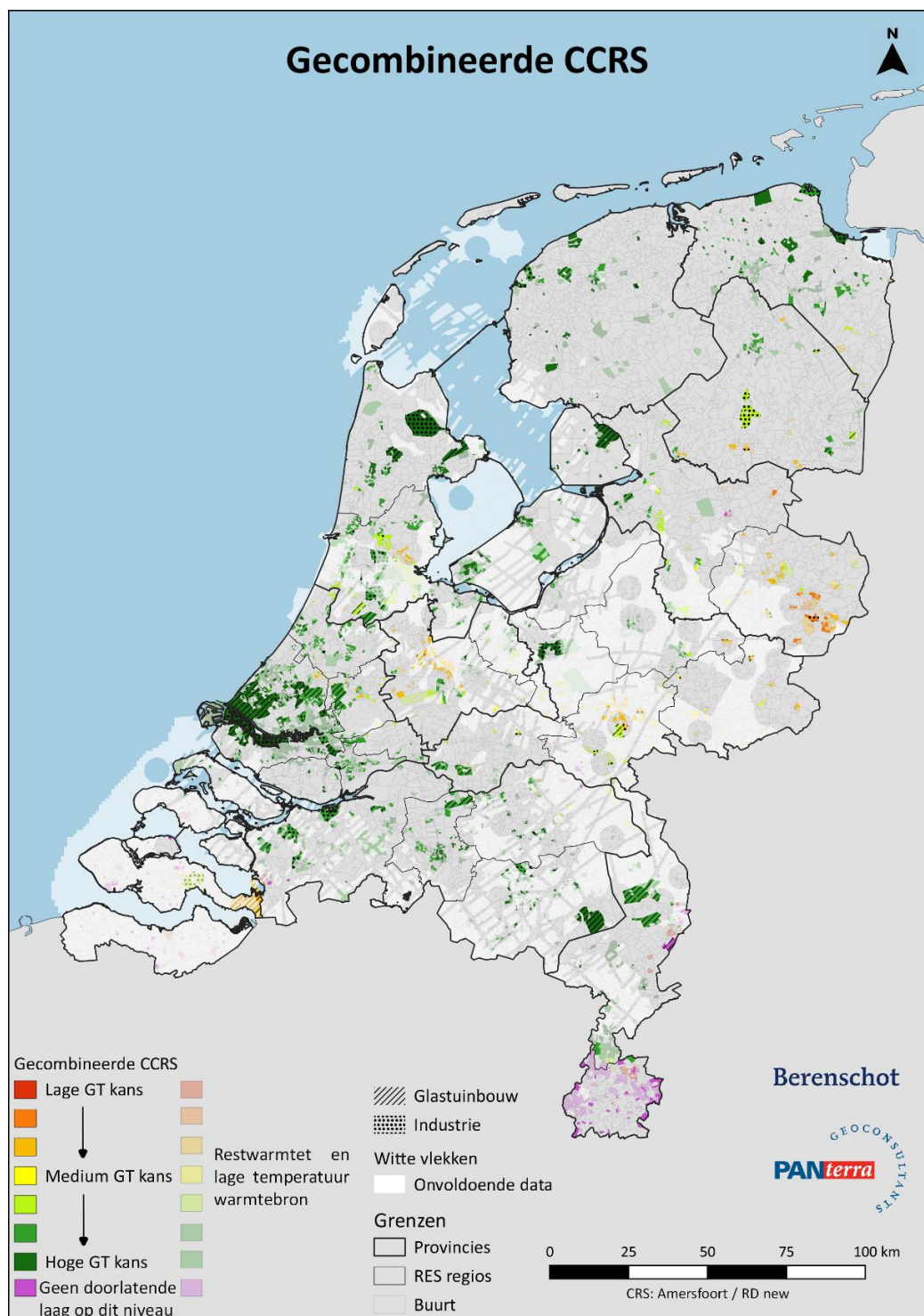
Als we ook de potentie van variant 2A en strategie 3 meenemen, gaat het om 337 PJ, waarvan 289 PJ in buurten met een zeer geschikte ondergrond.

Bij het verder uitwerken op lokaal niveau, moet ermee rekening worden gehouden dat de kaarten de potentie van de ondergrond direct onder de buurt weergeven. De potentie in de directe omgeving van de buurt kan beter zijn.

In de bijlage hebben we het resultaat van de bovengrondse potentie en de ondergrondse potentie per aardlaag opgenomen. Daarnaast hebben we voor elk RES-gebied een detailstudie uitgevoerd die meer inzicht geeft in de potentie van aardwarmte voor dat gebied (zie ook tabel 5). In de detailstudies hebben we de potentie per aardlaag vermeld en uitsneden van kaarten gemaakt. Op die manier wordt duidelijk welke buurten in een RES-gebied aanleiding geven om de rol van aardwarmte verder te onderzoeken.

Als de kennis van de ondergrond verbetert, onder meer dankzij het SCAN-programma, kan aardwarmte een grotere rol in de warmtetransitie spelen dan op basis van de hier vermelde cijfers mag worden aangenomen. De verwachting is dat in de toekomst in meer buurten de ondergrondse potentie aansluit op de warmtevraag.

Veel van de in deze studie meegenomen aardlagen komen niet of nauwelijks voor in Zuid-Limburg. Onderzoek naar de potentie van aardwarmte in deze regio moet nog plaatsvinden.



Figuur 10: Economische potentie en ondergrondse potentie van aardwarmte in Nederland samengevoegd. De kaart toont de slaagkans van aardwarmteprojecten op buurtniveau voor de gebouwde omgeving (variant 2A en strategie 3 hebben we samengevoegd en transparant opgenomen), de glastuinbouw en de industrie⁵².

⁵² Let op: veel gebieden kennen additionele invloedsfactoren, zoals de aanwezigheid van olie- en gasvoorkomens (onder meer in Groningen), drinkwaterwingebieden, Natura 2000-gebieden en breuklijnen, waardoor een project vooralsnog niet mogelijk is of een vergunning voor aardwarmteboring lastig te verkrijgen is. Een kaart met deze factoren is te vinden in de bijlage.

Tabel 5: De potentie van aardwarmte per RES-gebied (gecorrigeerd voor de ondergrondse potentie en op basis van LNK-alternatieven voor aardgas), totaal en in gebieden met een hoge slaagkans. De cijfers zijn niet gecorrigeerd voor additionele invloedsfactoren. Een hoge kans betreft de optelsom van de drie kleuren groen in figuur 8. Voor deze gebieden geldt dat de slaagkans van een aardwarmteproject erg groot is. Met eventuele witte vlekken hebben we geen rekening gehouden en verder lokaal onderzoek wordt aanbevolen. Voor RES-Groningen is rekening gehouden met het Groningen-gasveld in onderstaande cijfers

RES-gebied	Warmtevraag G.O. (S2A, S2C, S3), glastuinbouw en industrie - totaal	Warmtevraag G.O. (S2C), glastuinbouw en industrie - totaal	Warmtevraag G.O. (S2A, S2C, S3), glastuinbouw en industrie – met hoge slaagkans ondergrond	Warmtevraag G.O. (S2C), glastuinbouw en industrie - met hoge slaagkans ondergrond
Achterhoek	1,9	1,4	0,0	0,0
Alblasserwaard	0,3	0,2	0,3	0,2
Amersfoort	2,3	1,3	2,3	1,3
Arnhem/Nijmegen	20,5	18,2	7,2	6,1
Drechtsteden	9,7	8,7	9,7	8,7
Drenthe	13,1	12,6	12,1	11,8
Flevoland	6,3	5,5	6,3	5,5
Foodvalley	2,1	0,8	1,7	0,7
Friesland	8,3	7,3	8,3	7,3
Goeree-Overflakkee	0,3	0,3	0,3	0,3
Groningen	5,7	2,4	5,4	2,4
Hart van Brabant	2,9	2,0	2,9	2,0
Hoeksche Waard	0,5	0,2	0,5	0,2
Holland Rijnland	5,3	4,7	4,9	4,4
Metropoolregio Eindhoven	5,1	3,5	5,1	3,5
Midden-Holland	3,9	3,7	3,6	3,5
Noord- en Midden Limburg	5,4	3,6	3,9	2,6
Noord-Holland Noord	21,9	21,4	21,9	21,4
Noord-Holland Zuid	56,6	46,9	55,9	46,5
Noord-Veluwe	0,5	0,4	0,5	0,4
Noordoost Brabant	3,5	2,1	3,1	2,0
Rivierenland	1,7	1,3	1,6	1,3
Rotterdam-Den Haag	86,3	71,1	86,1	70,9
Stedendriehoek/Cleantech	2,2	1,2	1,8	0,9
Twente	18,3	16,3	0,5	0,4
U10/U16	5,2	3,9	1,7	1,2
West-Brabant	34,6	29,5	34,2	29,4
West-Overijssel	4,4	3,4	4,1	3,2
Zeeland	6,2	4,7	1,2	1,2
Zuid-Limburg	1,8	0,2	1,3	0,0
Totaal	337	279	289	239

3. Integraal exploreren en ontwikkelen van aardwarmte

Voor het succesvol ontwikkelen van aardwarmte is niet alleen de aansluiting tussen vraag en aanbod van belang. Ook andere aspecten verdienen aandacht bij het maken van de afweging over het inzetten van aardwarmte. In dit hoofdstuk richten we ons op die aspecten.

- In paragraaf 3.1 brengen we in kaart welke risico's kunnen ontstaan bij het ontwikkelen van aardwarmte. Veel van deze risico's worden standaard verkleind door maatregelen van de aardwarmte-operator. Niet alle risico's zijn volledig te elimineren. Van de zogeheten restrisico's hebben we de kans dat zij voorkomen en de resulterende schade zo goed mogelijk ingeschat. Deze inschatting hebben we vervolgens gebruikt bij het bepalen van de 'value at risk' van een aardwarmteproject zónder portfoliobenadering en risicodeling, en een aardwarmteproject mét portfoliobenadering en risicodeling. Op die manier willen we aantonen wat de impact van restrisico's is en of die kunnen worden verkleind door projecten in een gebied in samenhang te ontwikkelen.
- In paragraaf 3.2 gaan we in op de businesscase van een aardwarmteproject. Door experts die betrokken zijn bij het IKPA is een standaardcase uitgewerkt.
- In paragraaf 3.3 is zijn de maatschappelijke pijlers van aardwarmte in kaart gebracht; de milieu, natuur, ruimtelijke en sociale inpassing.

3.1 Het effect van een portfoliobenadering op de risico's van een aardwarmteproject

Bij een portfoliobenadering worden meerdere projecten in samenhang ontwikkeld. Bij een play-based portfoliobenadering gaat het om meerdere aardwarmteprojecten in één aardlaag met vergelijkbare geologische eigenschappen, een zogeheten play.

Het in samenhang ontwikkelen van deze projecten levert grote voordelen op. Kennis en gegevens uit het eerste project in een play worden binnen deze benadering gebruikt voor het tweede project in dezelfde play, enzovoort. Waardevolle informatie uit geologische en seismische onderzoeken en metingen is op die manier niet alleen van grote waarde voor het eerste project, maar ook voor andere projecten in de omgeving. De risico's van vervolprojecten nemen af en de waarde van projecten neemt toe. In een regio met voldoende bovengrondse vraag naar warmte en een ondergrond die geschikt is voor het winnen van aardwarmte kunnen meerdere boringen worden gedaan. Dit verhoogt de hoeveelheid warmte die kan worden geleverd en vergroot de leveringszekerheid. Door risico's daarnaast te spreiden over meerdere projecten (het zogeheten pooling), kunnen eventuele financiële risico's verder worden beperkt.

Tot nu toe was onbekend met welke factor financiële risico's door een portfoliobenadering en pooling worden verkleind. Bij het bepalen van de maatschappelijke kosten van aardwarmte is dat inzicht wenselijk. In deze paragraaf maken we een eerste globale inschatting van de financiële risico's van aardwarmteprojecten en tonen we aan welk effect een portfoliobenadering en pooling daarop hebben.

3.1.1 Een analyse van de risico's van een aardwarmteproject

Op basis van risicoregisters, rapportages en de inbreng van experts hebben we een inschatting van risico's in algemene termen beschreven in een eigen register (zie tabel 6⁵³). Naast technische risico's hebben we daarin organisatorische, omgevings- en financiële risico's opgenomen. Het gaat in alle gevallen om restrisico's.

⁵³ De gegevens in deze tabel geven een indicatie van de risico's voor een generiek project. De werkelijke risicokansen en impact voor een specifiek project kunnen flink afwijken. Een gedetailleerde en gedurende de ontwikkeling van het project geactualiseerde risicoanalyse is vereist. Met deze tabel willen we vooral het effect van een portfoliobenadering aantonen.

Tabel 6: Risicoregister aardwarmteprojecten na standaardmaatregelen

#	Categorie	Risico na maatregelen	Kans	Impact	Project afgelast?
1	Technisch	Er ontstaat geïnduceerde seismiciteit (trillingen en aardbevingen veroorzaakt door drukverschillen en/of temperatuurveranderingen), resulterend in schade en overlast	Klein	Bij stilleggen project volledige projectkosten, kosten voor het verlaten van de boring(en) en schadevergoeding	Ja
2	Technisch	Er ontstaat milieuverontreiniging in de vorm van lekkage van vloeistoffen of gassen	Laag	1-5 M€	Mogelijk
3	Technisch	Testwater moet worden bewerkt voordat het kan worden afgevoerd	Gemiddeld	0-1 M€	Nee
4	Technisch	Er ontstaan arbeidsveiligheidsrisico's (klachten door heet en zout water, zwaar of anderszins gevaarlijk gereedschap, vallende voorwerpen, natuurlijke stoffen en gassen uit de ondergrond)	Klein	Immaterieel	Nee
5	Technisch	Er wordt geen water gevonden, doordat ondergrond gegevens gebrekkig waren	Klein tot gemiddeld, afhankelijk van play en aanwezigheid portfoliobenadering	5-15 M€	Ja
6	Technisch	Het vermogen dat een doublet kan produceren, valt tegen	Gemiddeld tot groot, afhankelijk van play en portfoliobenadering	Mogelijk groot over de gehele looptijd van het project	Nee
7	Technisch	Er treden onverwacht overdrukken op (het instromen van vloeistof uit de ondergrond door hoge druk), resulterend in een doorbraak naar het maaiveld (blow-out)	Zeer klein, afhankelijk van portfoliobenadering	10-50 M€	Ja
8	Technisch	Investerings/exploitatiekosten vallen hoger uit dan verwacht of er ontstaat vertraging door technische problemen (bijvoorbeeld het vastraken van de boorkop, vinden van waterstofsulfide (H ₂ S), falen van de operator of blokkeren van het systeem door residuen)	Groot	1-2 M€	Nee
9	Technisch	Het ontwerp van het systeem blijkt niet optimaal voor de play	Gemiddeld tot groot, afhankelijk van portfoliobenadering	0-5 M€	Nee
10	Technisch	De transmissiviteit (gemak waarmee water stroomt) in het reservoir neemt af of de skin (verstopping door boorvloeistof) neemt toe	Groot, afhankelijk van portfoliobenadering	Mogelijk groot over de gehele looptijd van het project	Nee
11	Economisch	In het omhoog gepompte water zitten radioactief geladen deeltjes van lage specifieke activiteit die moeten worden afgevangen en afgevoerd	Groot tot zeer groot, afhankelijk van play	0-1 M€	Nee
12	Economisch	De temperatuur neemt af of het reservoir breekt door tijdens het winnen van warmte	Gemiddeld tot groot, afhankelijk van play en portfoliobenadering	Afhankelijk van het moment van optreden. Mogelijk groot over de gehele looptijd van het project	Nee
13	Economisch	Er wordt op reservoirniveau gas of olie gevonden, waardoor het aardwarmteproject niet mogelijk is	Klein, afhankelijk van portfoliobenadering	5-15 M€	Ja
14	Commercieel	Contracten met warmteafnemers kunnen niet op tijd worden gesloten of delen van de vraag vallen weg door faillissementen van afnemers	Afhankelijk van onder meer het type vraag en de aanwezigheid van een warmtenet	5-15 M€	Ja

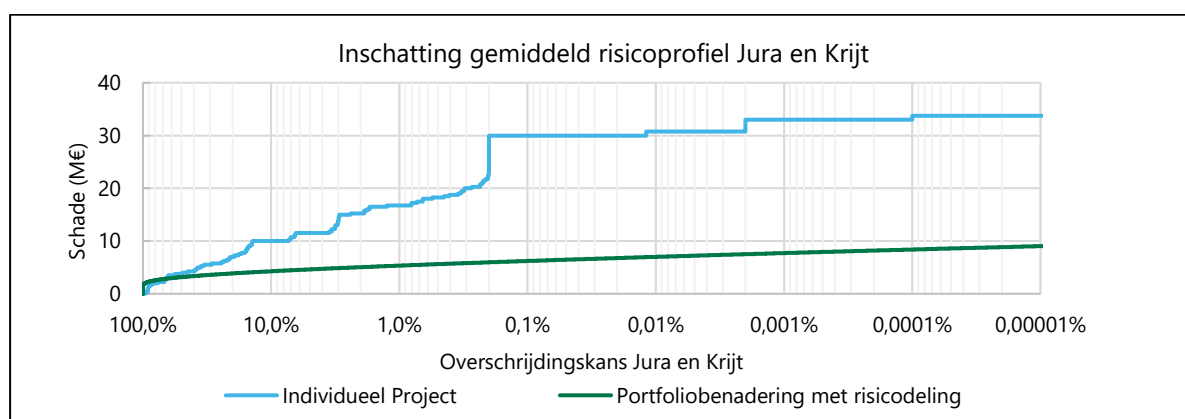
15	Politiek	Er ontstaan problemen met relevante partijen nadat de 'final investment decision' (FID) is genomen	Zeer klein	1-5 M€	Nee
16	Politiek	Het vergunningstraject duurt langer dan verwacht	Gemiddeld	0-2 M€	Nee

3.1.2 Het risicoprofiel van een los project en van een portfolio van projecten

Aan de hand van het risicoregister uit paragraaf 3.1.1 hebben we het risicoprofiel en de zogenaamde *value at risk* bepaald voor een hypothetisch project, gesitueerd in de Jura- en Onder-Krijtplay. Van dit type play bestaat relatief veel kennis⁵⁴.

Voor het project hebben we gekeken naar een zelfstandige aanpak met één los project (zonder portfoliobenadering en pooling) en naar een aanpak mét een play-based portfoliobenadering en pooling. In de tweede aanpak zijn we uitgegaan van een portfolio van twintig projecten in dezelfde play en het spreiden van risico's over al deze projecten. Elk afzonderlijke project draagt dus een twintigste van het totale financiële risico. Het is belangrijk om op te merken dat we met deze berekening niet het exacte risicoprofiel willen bepalen, maar willen aantonen welk effect een play-based portfoliobenadering kan hebben op het financiële risico van een project.

In onderstaande grafiek geven we het risicoprofiel voor een los project en het risicoprofiel voor een project dat onderdeel is van een portfolio weer.



Figuur 11: Inschatting van het gemiddelde risicoprofiel voor het ontwikkelen van losse projecten en voor het ontwikkelen van projecten binnen een play-based portfoliobenadering en pooling in de Jura- en Onder-Krijtplay.

Uit de grafiek valt af te lezen dat de kans op een schade van meer dan € 10 miljoen voor een los project in dit hypothetische geval zo'n 10% is. De kans op schade van meer dan € 30 miljoen is zo'n 0,001%. Van grote schades (meer dan € 10 miljoen) is bij een portfoliobenadering met pooling veel minder vaak sprake dan bij een los project. De kans op geringe schade neemt enigszins toe: de groene lijn (mét portfoliobenadering) ligt aan het begin van de grafiek boven de blauwe lijn (zonder portfoliobenadering). Dit is ook logisch: er zijn meer projecten waarbij iets kan misgaan en ieder project betaalt daaraan een twintigste mee.

Uit de analyse blijkt ook dat de verwachtingswaarde van de totale schade bij projecten met portfoliobenadering in de Jura- en Onder-Krijtplay 32% lager ligt dan bij losse projecten. Dit komt doordat over die play veel kennis bestaat en het 'ondergrondrisico' dus lager is.

Pooling alléén levert normaliter geen daling van de verwachtingswaarde op. Dankzij de play-based portfoliobenadering neemt de verwachte financiële schade van een aardwarmteproject met ongeveer een derde af. Risicodeling zorgt er vervolgens voor dat veel minder vaak grote financiële schade ontstaat.

⁵⁴ Op basis van de discrete kansen en schadebedragen kan dit analytisch worden uitgerekend.

De kans op een schade van meer dan € 10 miljoen is kleiner dan 0,00001%, waar die kans bij een los project zonder risicodeling meer dan 10% bedraagt. Hieruit concluderen we dat een play-based portfolio benadering de verwachte financiële risico's van aardwarmteprojecten fors beperkt en dat pooling de kans op grote schadeposten verkleint. Bij het ontwikkelen van meerdere projecten in een vergelijkbare omgeving is het dan ook aan te raden deze methodieken toe te passen.⁵⁵

3.2 De kostprijs van aardwarmte

Voor het bepalen van de maatschappelijke kosten van aardwarmte is inzicht in de benodigde investeringen belangrijk. De kostprijs van aardwarmte is afhankelijk van de kosten, opbrengsten en risico's. De kosten hangen samen met de diepte van het project, de hoeveelheid water die omhoog kan worden gepompt en de afstand van de boorput tot het warmtenet. De diepte is niet alleen van invloed op de temperatuur die kan worden geleverd, maar ook op de boorlengte en dus de boorkosten. De hoeveelheid water bepaalt (samen met de temperatuur) niet alleen de warmte die een project maximaal kan leveren (vermogen), maar ook de diameter van de boringen. Beide zijn belangrijke invloedsfactoren voor de kosten van aardwarmte.

Zoals aangekondigd in het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland', stelt de sector nu het Integraal Kostprijsreductie Programma Aardwarmte op. Doel van dit programma is het realiseren van een kostprijsreductie van 30% in 2030 en 50% in 2050. Zoals eerder gebeurde bij de kostprijsreductie van wind op zee⁵⁶, is een nulmeting uitgevoerd van de voornaamste⁵⁷ kosten, opbrengsten en risico's van een businesscase rond aardwarmte (exclusief warmtenet). Nu wordt onderzocht op welke onderdelen de businesscase kan worden geoptimaliseerd. Het gaat dus niet alleen om kosten. Ook de opbrengsten, risico's en doorlooptijd van projecten hebben een grote impact op de businesscase.

Het IKPA bestaat uit vier stappen. Als eerste wordt een 'standaard businesscase' vastgesteld via een nulmeting. Ten tweede maken aardwarmte deskundigen een lijst van kostprijs-reducerende maatregelen op verschillende gebieden, zoals innovatie, kennisoverdracht, beleid en financiering. Ten derde stellen de deskundigen een korte lijst op van maatregelen die een groot effect hebben op de businesscase en dus prioriteit verdienen. Tot slot ontwikkelen zij een uitvoeringsprogramma om de maatregelen in praktijk te brengen en de kosten van aardwarmte als duurzame warmtebron te verlagen⁵⁸. De focus ligt hierbij op de gebouwde omgeving en glastuinbouw.

De nulmeting van het IKPA heeft geleid tot een illustratieve businesscase. Door het lokale karakter van de warmtevraag en door de grote verschillen in de Nederlandse ondergrond is het niet mogelijk een standaard businesscase op te stellen. De illustratieve case is een project voor de gebouwde omgeving in een gebied met voldoende gegevens over de ondergrond en een boring naar 3 kilometer diepte. De temperatuur van het water, gemeten aan het oppervlak, is 95°C en het geleverde vermogen bedraagt 20 MWth⁵⁹. Dit illustratieve project kan rond de 8.000 en 14.000 woningen duurzaam verwarmen.

Tabel 7 geeft een overzicht van de geschatte kosten van de businesscase. De kosten zijn gebaseerd op projectgegevens van verschillende aardwarmteoperators⁶⁰. In totaal kost dit illustratieve project € 25 tot 30 miljoen (excl. jaarlijkse operationele kosten).

⁵⁵ Voor gebieden met veel witte vlekken bedraagt de afname van het financiële risico van een aardwarmteproject zelfs 43%. Omdat de uitkomsten vergelijkbaar zijn, hebben we deze analyse in dit rapport niet verder uitgewerkt. In dit scenario zijn met name de schades van risico's met een hoge kans op optreden lager.

⁵⁶ BVG Associates, 2017. https://bvgassociates.com/wp-content/uploads/2017/11/InnoEnergy-Offshore-Wind-anticipated-innovations-impact-2017_A4.pdf

⁵⁷ Alle componenten met een impact groter dan € 1 miljoen over een levensduur van 30 jaar worden meegenomen.

⁵⁸ In de analyses van hoofdstuk 2 zijn we uitgegaan van de verwachte kostenreductie van 30%.

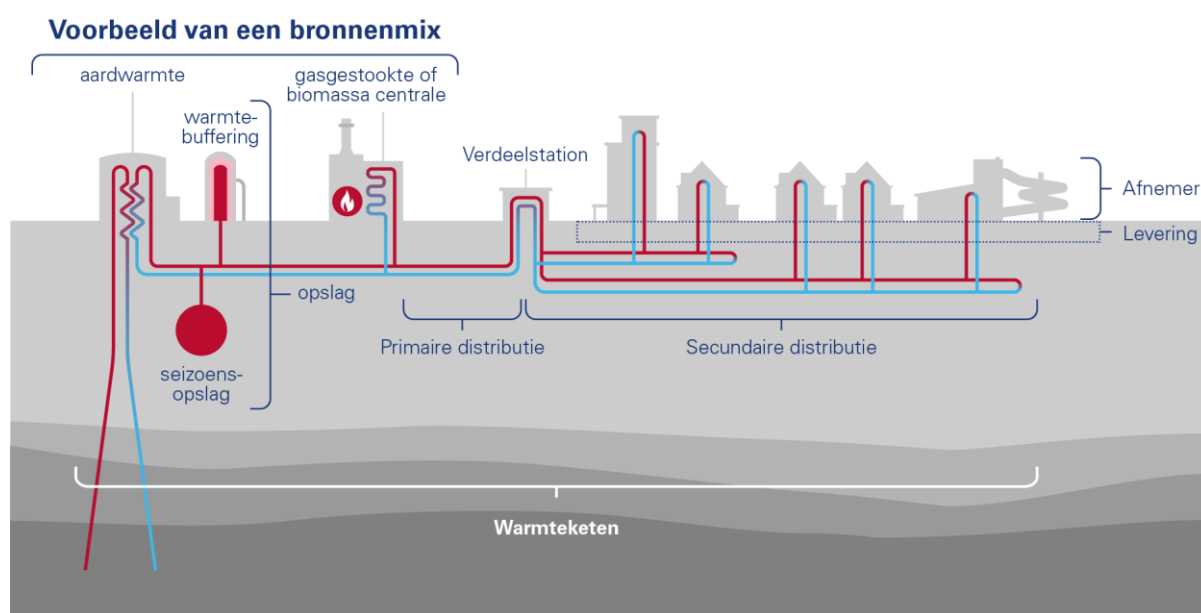
⁵⁹ Overige projectparameters: retourtemperatuur 30°C, basislast (6000u), SDE+ 2019, 30 jaar productie, betrouwbaarheid 95%, eigen vermogen 30%, excl. piekopslag en back-upvoorzieningen.

⁶⁰ De aanloopkosten van de ontwikkeling van een aardwarmteproject tot aan realisatie, en de kosten voor een dubbelwandige put (om het risico op lekkages te verkleinen) zijn hierbij ook meegenomen.

Tabel 7: Kostenoverzicht voor een illustratief aardwarmteproject op 3 kilometer diepte in de gebouwde omgeving

Projectfase	Kostenitem	Kosten
Ontwikkeling	Pre-haalbaarheidsfase	€ 140.000
Ontwikkeling	Haalbaarheidsfase	€ 580.000
Ontwikkeling	Ontwikkelfase	€ 1.720.000
Ontwikkeling	Vorbereiding	€ 430.000
Realisatie bovengronds	Projectmanagement; locatie-ontwikkeling; verzekeringen; bovengrondse installatie	€ 8.700.000
Realisatie ondergronds	Operationele ondersteuning; boren; grondstoffen, materialen en diensten; testen en pompen	€ 13.800.000
Operationeel	Management en monitoring; beheer bovengrondse installatie; beheer boringen	€ 750.000 per jaar
Opruimen	Opruimkosten van de boringen en installatie	€ 1.500.000

Uiteindelijk is voor de eindgebruiker de prijs van de warmte die geleverd wordt van belang, de kostprijs van een bron is hier maar een onderdeel van. De warmteprijs wordt niet alleen bepaald door het aardwarmteproject, maar in de gebouwde omgeving ook door de kosten van de andere bronnen op het net, het netbeheer en de warmte distributie naar de eindgebruiker. Figuur # laat het overzicht zien van de warmteketen met daarin de verschillende componenten die de warmteprijs voor de eindgebruiker bepalen. De kostprijs van aardwarmte is slechts een onderdeel van wat de uiteindelijke warmteprijs bij de eindgebruiker betaalt en inzicht in het gehele (lokale) systeem is nodig om hier een goede uitspraak over te kunnen doen.



Figuur 12: Warmteketen in de gebouwde omgeving met een voorbeeld van een bronnenmix waarin aardwarmte één van de onderdelen is. De gasgestookte/ biomassa centrale wordt in dit voorbeeld ingezet als back-up installatie en voor de pieken in de warmtevraag. Elk van deze onderdelen brengt kosten met zich mee die bijdragen aan de uiteindelijke warmteprijs voor de eindgebruiker. Bron: afgeleid uit aardwarmte in warmtenetten, 2020.

De kostprijs van het aardwarmte onderdeel wordt uiteindelijk bepaald door de benodigde investeringen zoals in tabel 7, de hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden, de jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud, de retourtemperatuur, het aantal vollasturen dat een project zijn warmte kwijt kan en de looptijd van het project. Het

veranderen van een van deze parameters heeft grote invloed op de kostprijs van aardwarmte. Op basis van de huidige inschattingen is de range waarin de kostprijs van aardwarmte zich bevindt dan ook betrekkelijk groot, ongeveer tussen de 40 – 100 €/MWh. Deze kosten worden gedekt door o.a. de SDE++ en de warmteopbrengsten. Het is afhankelijk van de lokale omstandigheden waar de kostprijs voor een project op uitkomt. Op een interessante locatie kan in een locatie specifieke vervolgstudie een betere schatting gemaakt worden van de kostprijs voor aardwarmte als onderdeel van de bronnenmix. Inzicht in de overige bronnen en andere kosten in de warmteketen zijn op dat moment belangrijk om de warmteprijs voor de eindgebruiker te kunnen bepalen.

3.3 De maatschappelijke pijlers van aardwarmte

Bij het ontwikkelen van aardwarmte komen niet alleen financiële en technische overwegingen kijken. Ook maatschappelijke aspecten spelen een rol. De sector heeft actiepunten geformuleerd om aardwarmte duurzaam, veilig, verantwoord en met zo weinig mogelijk overlast voor de omgeving op te schalen. Doel van deze actiepunten is om de omgeving beter en eerder te betrekken en te informeren en zo het draagvlak voor aardwarmte te vergroten.

In deze paragraaf zetten we ten eerste uiteen hoe duurzaam aardwarmte is en welke factoren invloed hebben op de hernieuwbaarheid ervan. Ten tweede beschrijven we de ontwikkelingen op het gebied van de inpassing van aardwarmte in de ruimtelijke omgeving. Ten derde behandelen we activiteiten op het gebied van veilig en verantwoord ontwikkelen. Tot slot belichten we de thema's communicatie en participatie.

3.3.1 Duurzame winning

Het water in de ondergrond dat bij aardwarmte wordt gebruikt, wordt constant verwarmd door natuurlijk radioactief verval in de aarde. We kunnen aardwarmte daarom classificeren als een hernieuwbare energiebron en op de lange termijn ook als een duurzame energiebron⁶¹.

Op de korte termijn ligt dit genuanceerder. Door de productie van aardwarmte ontstaan in de ondergrond namelijk temperatuurverschillen. Door deze temperatuurverschillen stroomt water van de injectieput over een periode van twintig tot veertig jaar naar de productieput. Dit fenomeen wordt een thermische doorbraak genoemd en resulteert in het 'einde' van de aardwarmtebron, totdat het water weer voldoende opgewarmd is⁶².

Hoe lang een aardwarmteput kan worden gebruikt, hangt af van een aantal factoren. Vooral het beheer van de put en de mate waarin hij wordt gebruikt hebben invloed, net als de kwaliteit van de lokale ondergrond. Het is heel belangrijk een put en de ondergrond erom heen goed te beheren. Zeker als de warmtevraag zo groot is dat meerdere dubbelten nodig zijn om erin te kunnen voorzien, moeten de projecten ondergronds goed op elkaar worden afgestemd om de warmte zo efficiënt mogelijk te winnen. Het maken van een meervoudig ontwikkelplan voor de regio is daar een goede methode voor. In een dergelijk plan worden de ondergrondse locaties en het beheer gedurende de productietijd van de verschillende projecten op elkaar afgestemd. Daarnaast kan de levensduur van een aardwarmteput worden verlengd door te kiezen voor lagere productievolumes of een lagere productietemperatuur. Ten slotte is de kwaliteit van de ondergrond van belang. In de stad Parijs is men er bijvoorbeeld van uitgegaan dat een productieput na dertig jaar een thermische doorbraak krijgt, maar nu (veertig

⁶¹ Een bron is duurzaam als hij in de huidige behoefte kan voorzien zonder concessies te doen aan de behoefte van toekomstige generaties (SPG, 2020). Voor aardwarmte is uitgerekend (CE Delft, 2016) dat de directe en indirecte CO₂-emissies ongeveer 80% lager zijn dan aardgas. Als hernieuwbare elektriciteit wordt gebruikt, neemt dit percentage toe.

⁶² Als zich ondergronds een doorbraak voordoet, komt een aardwarmteput in een zogeheten herstelfase. In deze fase, die even lang duurt als de productiefase, kan de aardwarmteput niet worden gebruikt. Afhankelijk van de lokale condities kan vanuit het bovengrondse station wel een nieuwe put worden geslagen, met een iets andere locatie in de ondergrond.

jaar later) heeft die nog niet plaatsgevonden⁶³. Dit voorbeeld laat niet alleen zien dat het gebrek aan kennis over de ondergrond onzekerheid met zich meebrengt, maar ook dat deze onzekerheid positief kan uitvallen.

Bij het water dat wordt onttrokken aan de ondergrond, kan aardgas meekomen. Dat gas moet worden opgevangen en is bruikbaar voor het additioneel verwarmen van het warme water, wat wel leidt tot CO₂-uitstoot. Eventueel kan dit gas met het retourwater worden teruggevoerd in de ondergrond.

3.3.2 Ruimtelijke inpassing

Voor een gemiddelde aardwarmte-installatie die ongeveer 0,3 PJ levert (en dus voorziet in de warmtevraag van 6.000 tot 10.000 woningen⁶⁴) is tijdens de bouw een oppervlakte van ongeveer één tot anderhalf voetbalveld nodig. Deze ruimte wordt gebruikt voor het aanleggen van het boorterrein, maar ook voor bijvoorbeeld parkeerplaatsen van voertuigen en een bassin voor het opvangen van testwater. Voor diepere boringen, met meer materialen, is vaak meer ruimte nodig. Als er minder ruimte beschikbaar is, kunnen materialen op een locatie elders in de buurt worden opgeslagen. Er zijn dan wel meer logistieke bewegingen. Tijdens het boren van de bronnen wordt voor een periode van gemiddeld 2 tot 3 maanden 24 uur per dag gewerkt.⁶⁵ Geluids- en lichtoverlast tijdens het boren wordt zo veel mogelijk beperkt. Hiervoor gelden strikte normen.

Na het boren en testen van de bronnen wordt een aantal voorzieningen (zoals het testwaterbassin) opgeruimd, waardoor minder ruimte nodig is. In de productiefase is de benodigde oppervlakte maximaal één voetbalveld groot. De boorlocaties moeten wel toegankelijk blijven voor periodiek onderhoud van de bronnen. De bovengrondse installaties staan in een gebouw. Aan het einde van de levensduur worden de bronnen opgeruimd.

3.3.3 Veilige en verantwoorde ontwikkeling

Aardwarmteprojecten moeten voldoen aan de Mijnbouwwet omdat ze zich bevinden in de ondergrond dieper dan 500m. Daarin staan voorwaarden voor het veilig en verantwoord uitvoeren van projecten. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is de onafhankelijke toezichthouder die erop toeziet dat operators de regels naleven. Bij een te groot risico kan SodM besluiten geen toestemming te geven om te boren of projecten stil te leggen tijdens de uitvoerings- of productiefase.

'Veilig en verantwoord' houdt in dat de impact op milieu, natuur en de veiligheid van mensen wordt beperkt. Vaak kan dit door tijdens de uitvoering van projecten maatregelen toe te passen. Om bijvoorbeeld het grondwater te beschermen, worden maatregelen genomen in de voorbereiding en inrichting van de boorlocatie. Als de beste locatie gevonden is, wordt de gesteldheid van de ondiepe bodem onderzocht – net als in de woningbouw. Vervolgens wordt bij de inrichting van het terrein een vloeistofkerende laag aangebracht (meestal van waterdicht asfalt), zodat vloeistoffen bij een bovengrondse lekkage niet de grond inlopen. Ook tijdens het boren, testen en opslaan van testwater worden maatregelen genomen om het risico op lekkages zo klein mogelijk te maken⁶⁶.

TNO heeft wereldwijd meer dan veertig aardwarmteprojecten bestudeerd⁶⁷. De onderzoekers keken of er overeenkomsten zijn in de geologie of bedrijfsvoering van aardwarmteprojecten waarbij zich aardbevingen voordeden en of daaruit lessen kunnen worden getrokken voor projecten in Nederland. De studie beschrijft drie typen aardwarmtesystemen. In Nederland wordt aardwarmte gewonnen uit lagen op 1 tot 3 kilometer diepte met een goede doorlaatbaarheid. In Noord-Duitsland en Denemarken worden projecten uitgevoerd die qua geologie en type bedrijfsvoering lijken op projecten in Nederland. Bij de projecten in deze landen wordt al tientallen jaren

⁶³ SPG. 'Hoe duurzaam is geothermie?'

⁶⁴ 0,3 PJ komt overeen met ongeveer 6.000 tot 10.000 woningequivalenten. Een woningequivalent is het jaarverbruik van een gemiddelde woning in Nederland of het verbruik van 150m² aan utiliteitsbouw.

⁶⁵ Zie voor een uitgebreidere beschrijving van de ruimtelijke impact de beschrijvingen per fase op www.hoewerkaardwarmte.nl

⁶⁶ Zie de factsheets op www.geothermie.nl

⁶⁷ Buijze, L., van Bijsterveldt, L., Cremer, H., Paap, B., Veldkamp, H., Wassing, B., van Wees, J.-D., ter Heege, J.H. (2019) 'Review of worldwide geothermal projects: mechanisms and occurrence of induced seismicity.' Report TNO 2019R100043, 257 pp.

warmte gewonnen en hebben zich tot nu toe geen aardbevingen voorgedaan. De verwachting is daarom dat het risico laag is voor Nederlandse projecten die warmte winnen uit lagen met een goede doorlaatbaarheid in gebieden zonder actieve breukzones. Om veilige projecten mogelijk te maken in gebieden mét actieve breukzones, is meer onderzoek nodig. Het risico op aardbevingen is een van de onderdelen waar SodM tijdens vergunningaanvragen goed naar kijkt en projecten op beoordeelt.

Om aardwarmteprojecten verantwoord te kunnen ontwikkelen, heeft de sector het initiatief genomen tot drie activiteiten voor veilige exploitatie en risicobeheersing. Hieronder gaan we in op de status daarvan, geactualiseerd aan de hand van gesprekken met medewerkers van SPG en op basis van deskresearch.

1. *Het ontwikkelen en implementeren van een gedragscode: gedeeltelijk gerealiseerd*

In 2019 heeft DAGO de 'Gedragscode Omgevingsbetrokkenheid bij Aardwarmteprojecten' opgesteld. Hierin zet de associatie voor haar leden (operators en ontwikkelaars) uiteen hoe zij tijdens de voorbereidings- en realisatiefase relevante partijen bij projecten moeten betrekken. De bijbehorende leidraad omgevingsbetrokkenheid is vanaf midden 2020 beschikbaar en wordt dan geïmplementeerd bij de operators. Een aantal projecten zal worden gevolgd om te leren van ervaringen en om de gedragscode te verfijnen.

2. *Het ontwikkelen en implementeren van een schadeprotocol: wordt gerealiseerd*

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat ontwikkelt uitgangspunten voor het proactief, integraal en verantwoord omgaan met de veiligheidsrisico's van aardwarmte. Deze uitgangspunten moeten op een consistente manier vorm geven aan onder meer adequate en proportionele voorzorg en communicatie over de toelaatbaarheid van restrisico's. Het Ministerie geeft daarnaast vorm aan risicobeleid en vernieuwt het instrumentarium voor het maken en toetsen van risicoberekeningen. De resultaten van deze activiteiten worden opgenomen in wijzigingen van de Mijnbouwwet, die waarschijnlijk in juli 2021 van kracht worden⁶⁸.

3. *Het verder uitwerken en afstemmen van de huidige aanpak voor crisiscommunicatie: wordt gerealiseerd*

DAGO werkt aan een aanpak voor crisiscommunicatie. Er is belangstelling voor een sectorbrede aanpak met een focus op reputatiemanagement. Het resultaat wordt verwacht in het derde kwartaal van 2020.

3.3.4 Communicatie en participatie

Draagvlak van de omgeving is een van de belangrijkste voorwaarden voor het succesvol realiseren van aardwarmteprojecten. Het is cruciaal om de directe omgeving en andere relevante partijen tijdig te betrekken bij de voorbereiding van projecten. Ook op dat vlak heeft de sector drie activiteiten voorgesteld.

1. *Het vergroten van de basiskennis van samenleving, overheden en markt in de context van de energietransitie: gedeeltelijk gerealiseerd*

Er wordt door alle partijen in de sector hard gewerkt om aardwarmte en de potentiële rol in de energietransitie bekender te maken. Via landelijke conferenties en seminars, via lokale bijeenkomsten en via nieuwsbrieven en publicaties in landelijke dagbladen wordt aardwarmte steeds bekender. Ook bestaan er plannen om gemeenten te ondersteunen bij het organiseren van informatiebijeenkomsten voor betrokkenen en geïnteresseerden. Verder wordt nagedacht over het geven van workshops over de wet- en regelgeving op het gebied van aardwarmte, ondersteund met factsheets. Daarnaast heeft het Ministerie van EZK samen met EBN en SodM in vrijwel alle provincies informatiebijeenkomsten over aardwarmte georganiseerd. Bovendien spreekt de Minister van EZK in het kader van de RES met regio's over de kansen en risico's van aardwarmte⁶⁹. Tot slot wordt een website ontwikkeld die aan het bredere publiek uitlegt wat aardwarmte is en hoe

⁶⁸ Kamerbrief 'Voortgang Geothermie' (mei 2020).

⁶⁹ Kamerbrief 'Voortgang Geothermie' (mei 2020).

aardwarmteprojecten veilig kunnen worden uitgevoerd. Voor de website wordt gebruikmaakt van eerder gerealiseerde communicatiemiddelen, zoals hoewerktaardwarmte.nl, scanaardwarmte.nl, een brochure over warmtenetten, folders, presentaties, filmpjes en educatiemateriaal⁷⁰. De site moet in het derde kwartaal van 2020 klaar zijn.

2. *Het ontwikkelen van samenwerkings- en participatiemodellen voor lokaal draagvlak: kennis aanwezig*

Er bestaan verschillende algemene modellen voor het inrichten van samenwerking en participatie. Denk aan samenwerking en participatie op basis van responsiviteit, een vertrouwde kennisbasis en distributieve rechtvaardigheid. Voor het ontwikkelen van specifieke modellen voor aardwarmteprojecten is meer informatie nodig. SPG heeft enige ervaring met participatie. Het is belangrijk dat die ervaring wordt gedeeld. Overigens zijn gedetailleerde modellen niet nodig, omdat er tussen lokale projecten grote verschillen kunnen bestaan.

3. *Het nationaal en lokaal monitoren van draagvlak: wordt gerealiseerd*

Om de effectiviteit van bovenstaande en andere maatregelen in kaart te brengen, moet het draagvlak worden gemonitord, zowel op lokaal als nationaal niveau. Voor monitoren op nationaal niveau moet eerst een nulmeting plaatsvinden. Die is in het begin van 2020 opgezet. Het streven was om de nulmeting in het eerste halfjaar van 2020 uit te voeren en het draagvlak daarna structureel te meten. In verband met COVID-19 zijn beide activiteiten uitgesteld.

We concluderen dat op veel punten die zijn voorgesteld in het 'Masterplan Aardwarmte in Nederland' actie wordt ondernomen. Veel activiteiten zijn waarschijnlijk eind 2020 of begin 2021 uitgevoerd, aan andere wordt nog gewerkt. Denk bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van een gedragscode, het ontwikkelen van een nationaal plan voor informatie-uitwisseling en dialoog, het uitwerken van samenwerkings- en participatiemodellen als onderdeel van de gedragscode en het uitvoeren en opzetten van structurele draagvlakmetingen.

⁷⁰ Zie https://geothermie.nl/images/bestanden/Verslag_werksessie_D_Draagvlak_expertmeeting_masterplan.pdf

4. Aardwarmte ontwikkelen in de praktijk

Uit de vragen die bij de Masterplan Aardwarmte betrokken partners binnen zijn gekomen in de afgelopen twee jaar vanuit de decentrale overheden blijkt: i) dat er behoefte is aan meer informatie over de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron in de eigen regio en ii) over de stappen die nodig zijn voor het maken van een afweging over het al dan niet inzetten van aardwarmte. Daarom hebben we twee 'producten' ontwikkeld die inzicht en handvatten bieden: een 'Stappenplan aardwarmte' en een detailstudie voor elke RES-gebied naar de potentie van aardwarmte.

- In paragraaf 4.1 geven we een toelichting op het doel en de inhoud van het 'Stappenplan aardwarmte'.
- In paragraaf 4.2 doen we hetzelfde voor de detailstudies.
- In paragraaf 4.3 zetten we uiteen welke concepten in de praktijk mogelijk zijn voor het ontwikkelen van aardwarmte en wat hun voor- en nadelen zijn. We doen dit in globale termen, omdat de omstandigheden in gemeenten en RES-gebieden sterk kunnen verschillen. Per locatie zal door bijvoorbeeld een externe adviseur, een energiebedrijf of een aardwarmte-operator verder onderzoek moeten worden gedaan, dat moet leiden tot de oplossing die het best past bij de lokale omstandigheden.

4.1 Stappenplan aardwarmte

Aardwarmteprojecten gaan vaak over de grenzen van gemeenten heen en vormen daardoor al snel een regionale opgave. Samenwerking met relevante partijen in een RES-gebied is dus cruciaal, net als inzicht in elkaars rollen en verantwoordelijkheden. Het stappenplan dient als leidraad voor beleidsmakers en alle andere partijen die een rol spelen bij de realisatie van aardwarmteprojecten en bij de afweging of aardwarmte in een RES-gebied een technisch en financieel relevante optie is en of er in een RES-gebied voldoende draagvlak is voor aardwarmte.

Het 'Stappenplan Aardwarmte' helpt beleidsmakers en andere betrokkenen in kaart te brengen welke partijen een rol spelen bij het gezamenlijk ontwikkelen van aardwarmte en welke vergunningen er nodig zijn. Het ondersteunt hen bij het bepalen of aardwarmte in hun gebied technisch mogelijk en financieel interessant is en of aardwarmte onder omwonenden voldoende draagvlak heeft. Zij maken kennis met de risico's van aardwarmte en manieren om die te verkleinen. En zij krijgen inzicht in de eventuele vervolgstappen. Het document kan op de website van EBN worden gedownload.

4.2 Detailstudies naar de potentie van aardwarmte per RES-gebied

In hoofdstuk 2 van dit rapport hebben we uiteengezet hoe we de potentie van de onder- en bovengrond hebben bepaald. Met deze aanpak hebben we met de huidige kennis voor heel Nederland inzichtelijk gemaakt wat per buurt de potentie van aardwarmte is. Die informatie kan beleidsmakers en andere geïnteresseerden helpen om een afweging te maken over de inzet van aardwarmte als alternatieve warmtebron.

Om de resultaten eenvoudiger bruikbaar te maken voor specifieke gemeenten en RES-gebieden, hebben we voor elk RES-gebied een detailstudie uitgevoerd. In een separaat document laten we per gebied zien wat de potentie van aardwarmte is, welke aardlaag de meeste potentie heeft en welke vervolgstappen binnen het gebied mogelijk of nodig zijn. Detailstudies per RES-gebied kunnen op de website van EBN worden gedownload.

4.3 Concepten voor het ontwikkelen van aardwarmte

Aardwarmte is 'groen' en kan langere tijd warmte leveren. Zij is echter niet onuitputtelijk, omdat warmte soms sneller aan de ondergrond wordt onttrokken dan de aarde warmte naar een productielocatie kan aanvoeren. Bovendien kan aardwarmte niet overal worden gewonnen, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van olie- en gasvelden, drinkwaterwingebieden, breuken of bebouwing. Voor een duurzaam en efficiënt gebruik van aardwarmte is inzicht in de mogelijke ontwikkelconcepten belangrijk. Daarnaast is het van belang om de partijen die voor een

aardwarmteproject nodig zijn, zoals de aardwarmte-operator⁷¹ die zorgt voor de bron en het energiebedrijf dat de warmte levert aan de bewoners, tijdig bij elkaar te brengen. In sommige situaties is dit een en dezelfde partij. In deze paragraaf geven we een globaal overzicht van de mogelijkheden. Welke optie voor een specifiek project de beste is, hangt af van de lokale omstandigheden.

Alle ontwikkelconcepten gaan uit van aardwarmte als basislast in een bronnenmix. Naast aardwarmte is dan een bron nodig om te kunnen voorzien in de piekvraag en een back-upvoorziening om te kunnen voldoen aan de leveringszekerheid in de gebouwde omgeving. Het opstellen van een bronnenstrategie voor een warmtenet is dan ook gebruikelijk.

Afhankelijk van de lokale warmtevraag zien de ontwikkelconcepten er globaal als volgt uit:

- *Het verzamelen van aanvullende gegevens van de ondergrond in SCAN gebieden:*

In de komende jaren levert het SCAN-programma aanvullende regionale gegevens over de ondergrond op. Deze worden zo snel mogelijk beschikbaar gesteld aan iedereen. Het is nodig deze gegevens eerst te analyseren voor verdere vervolgstappen in deze gebieden genomen kunnen worden. Voor het verder ontwikkelen van projecten in de SCAN vlekken is het zeer waarschijnlijk dat vervolgens nog lokaal aanvullende gegevens nodig zijn.

- *Het verzamelen van aanvullende gegevens van de ondergrond*

Het kan nodig zijn om aanvullende gegevens van de ondergrond te verzamelen als de huidige gegevens onvoldoende zekerheid bieden voor het verder ontwikkelen van een project. Dit kan zowel binnen als buiten een SCAN gebied van toepassing zijn. Nieuwe gegevens kunnen uiteen lopen van het opnieuw bewerken van seismische gegevens uit eerdere onderzoeken tot het opnemen van nieuwe gegevens of zelfs het boren van een exploratieput om de eigenschappen van de aardlagen in beeld te brengen. De uiteindelijke keuze hangt af van de vraag over de ondergrond die beantwoord moet worden voor een verdere ontwikkeling van het project mogelijk is.

- *Het ontwikkelen van een enkel doublet*

Afhankelijk van de bovengrondse warmtevraag kan één doublet voldoende zijn om in de bovengrondse vraag te voorzien. We spreken dan van enkelvoudige ontwikkeling.

- *Het ontwikkelen van een project op afstand van de warmtevraag*

In deze studie hebben we geen rekening gehouden met transport van de warmte. De kaarten laten de potentie zien direct onder een buurt. Met het oog op de beschikbare bovengrondse ruimte is het in de praktijk vaak logischer om een aardwarmtebron buiten de wijk te plaatsen en de warmte daar in het warmtenet van de buurt in te brengen. De maximale afstand 'van bron tot buurt' hangt af van de lokale omstandigheden en kan oplopen tot enkele kilometers. Het temperatuurverlies over de transportafstand kan worden beperkt, maar het aanleggen van een warmteleiding brengt extra kosten met zich mee.

- *Het ontwikkelen van meerdere projecten, al dan niet vanaf dezelfde bovengrondse locatie, in een meervoudig ontwikkelingsplan*

Als de warmtevraag groot genoeg is en als de ondergrond het toelaat, kunnen meerdere projecten vanaf dezelfde locatie worden ontwikkeld. Anders dan bij een standaardconfiguratie kunnen projecten dan bestaan uit meerdere productie- en injectieputten. Denk bijvoorbeeld aan een combinatie van drie productieputten en vier injectieputten. In dit geval spreken we van meervoudige ontwikkeling. De voordelen van deze manier van

⁷¹ De aardwarmte-operator is verantwoordelijk is voor de uitvoering en het beheer van de putten.

ontwikkelen is dat de ondergrond duurzamer en efficiënter wordt ontwikkeld, omdat men de ondergrond in het gebied steeds beter leert kennen. Door vooraf een plan te maken, kunnen de ondergrondse risico's worden verkleind en kan de ontwikkeling optimaal worden gepland. Boren vanaf één bovengrondse locatie bespaart kosten en beperkt de eventuele overlast van het aanleggen tot een enkele locatie. Hetzelfde geldt voor onderhoud en beheer, gedurende de productietijd van 30 jaar.

- *Het toevoegen van mogelijkheden voor bovengrondse optimalisatie*

De warmtevraag is door het jaar heen niet constant. Seizoensopslag is een van de mogelijkheden om dat probleem op te lossen. Warmte die in de zomer is geproduceerd, wordt daarbij opgeslagen voor gebruik in de winter. Op die manier kan een project worden geoptimaliseerd. Een andere mogelijkheid is het toevoegen van een warmtepomp. Daarmee wordt de productietemperatuur verhoogd of de retourtemperatuur verlaagd en kan een groter vermogen worden geleverd.

- *Overige lokaal-specifieke keuzes en opties voor ontwerp van de aardwarmtebron*

Er zijn verschillende opties voor het ontwerp van de bron zelf. Welke mogelijkheid het best bij een project past, hangt sterk af van de ondergrond, maar wordt ook bepaald door het budget. Gedurende de ontwikkeling van een project wordt dan ook uitvoerig stilgestaan bij het ontwerp. De mogelijkheden lopen uiteen van een verticale put of een gedeveierde put (waarbij onder een hoek wordt geboord) tot een horizontale put (waarbij horizontaal door het reservoir wordt geboord). Horizontaal boren neemt meer tijd in beslag en is dus duurder. Het brengt ook extra boorrisico's met zich mee die kunnen leiden tot hogere kosten. Anderzijds zijn ook de opbrengsten hoger, doordat dankzij het grotere contactoppervlak meer water de put in kan stromen. Daarnaast is het mogelijk om een put ondergronds te vertakken in meerdere putten of om de hoeveelheid water die wordt opgepompt te vergroten door bijvoorbeeld reservoirstimulatie toe te passen. Per project en locatie moeten de technische en financiële aspecten van het ontwerp zorgvuldig worden afgewogen, samen met de projectpartners.

5. Gevoeligheidsanalyse gebouwde omgeving

In hoofdstuk 2 is uiteengezet hoe we de boven- en ondergrondse potentie van aardwarmte in Nederland hebben bepaald. In het kort: voor elke buurt is in de 'Startanalyse v0.8' voor vijf aardgasvrije warmtestrategieën (en varianten daarop) bepaald wat de kosten zijn voor dat alternatief in 2030. Op basis van een vergelijking van de kosten per alternatief⁷² is vervolgens voor elke buurt het alternatief met de laagste kosten geselecteerd. In deze studie is voor buurten waarvoor geldt dat aardwarmte, restwarmte of een lagetemperatuur warmtebron (met indien nodig aanleg-/uitbreiding van een warmtenet en isolatie) het goedkoopste alternatief is, vervolgens nagegaan of de ondergrond 'geschikt' is om de gevraagde warmte te leveren. Dit geeft het totale potentieel voor Nederland.

Kanttekening bij deze – door het PBL opgestelde aanpak – is dat een klein verschil in kosten tussen alternatieven mogelijk grote impact op de keuze van een warmtebron heeft (op de positie van een bron in de merit order). Een klein verschil in kosten hoeft echter in de praktijk niet altijd doorslaggevend te zijn in de besluitvorming over hoe een wijk van het gas af gaat, dan spelen andere factoren zoals bijv. draagvlak ook een grote rol.

Dit hoofdstuk gaat in op dit probleem en rekent voor elke buurt een aantal scenario's door.

5.1 Aanpak

In elk scenario variëren we de kostprijs van het aardwarmteproject. Hierdoor wordt inzichtelijk hoe het bovengronds potentieel van aardwarmte toeneemt ten opzichte van andere alternatieven als de kosten van een aardwarmteproject afnemen. Vervolgens matchen we het bovengronds potentieel aan het ondergronds aanbod⁷³. Dit geeft het daadwerkelijke potentieel van aardwarmte in de gebouwde omgeving per scenario per buurt in 2030⁷⁴. De volgende vijf scenario's zijn doorerekend ten opzichte van de huidige kostprijs:

- Scenario 1: 11 procent reductie, conform de verwachting van het PBL in 2030 (op basis van de Startanalyse v0.8)
- Scenario 2: 20 procent reductie
- Scenario 3: 30 procent reductie, conform het Masterplan in 2030
- Scenario 4: 40 procent reductie
- Scenario 5: 50 procent reductie, conform het Masterplan in 2050

Het resultaat van deze gevoeligheidsanalyse biedt RES-coördinatoren en betrokken beleidsambtenaren extra inzicht in de potentie van aardwarmte in hun regio. Enerzijds omdat het aantoont voor welke buurten geldt dat aardwarmte veruit het goedkoopste alternatief is voor aardgas. Anderzijds geeft het weer voor welke buurten geldt dat aardwarmte 'slechts' net iets duurder is dan het goedkoopste alternatief voor aardgas, en om die reden relevant is om mee te nemen in de afweging hoe een bepaalde buurt te verduurzamen.

5.2 Resultaten nationaal

Tabel 8 toont voor elk scenario de bovengrondse vraag in de gebouwde omgeving die tegen de laagste kosten door respectievelijk aardwarmte, restwarmte of een lagetemperatuur warmtebron geleverd kan worden. Ook in gebieden waar restwarmte of lagetemperatuur warmtebron de laagste kosten hebben, kan aardwarmte een rol

⁷² Bij het bepalen van de kosten van aardwarmte is in deze studie uitgegaan van een afname van de kosten van een aardwarmte boring met 30 procent in 2030. Dit is een verwachte kostendaling die groter is dan aangenomen door het PBL in hun Startanalyse v0.8, zij gaan uit van een kostendaling van 'slechts' 11 procent.

⁷³ Bij bepalen van ondergronds aanbod is geen rekening gehouden met eventuele witte vlekken, wel is voor deze analyse aangehouden dat het ondergronds aanbod een hoge slaagkans moet hebben.

⁷⁴ In de gevoeligheidsanalyse is de potentie van de glastuinbouw en industriector buiten beschouwing / constant aangezien aanpak om potentie van aardwarmte in die sectoren gebaseerd is op een drempelwaarde en niet op basis van kosten. Reden hiervoor is dat kosten van een aardwarmte bron voor deze sectoren niet uniform bepaald kunnen worden en in vergelijking met de gebouwde omgeving veel meer afhangen van het lokale gebruikersprofiel en overige lokale factoren.

spelen. In Petajoule is een range zichtbaar van net iets meer dan 100 PJ tot een kleine 130 PJ voor de verschillende scenario's. Als alleen naar het aardwarmte scenario gekeken wordt is de range groter, namelijk 34 PJ tot 67 PJ.

Het aantal buurten waar aardwarmte de goedkoopste bron is (mits aanwezig in de ondergrond) kent een grotere spreiding, namelijk tussen de 1.000 en bijna 3.000 buurten. De relatief sterkere toename in aantal buurten ten opzichte van aantal PJ is logisch. Voor buurten met een hoge warmtevraag geldt dat de kosten van de warmtebron een kleiner aandeel vormen in de totale kosten; de kosten van de bron is over meer verbruik te verdelen. Voor buurten met een relatief lagere warmtevraag maakt een daling in kosten van de warmtebron dan ook meer uit. Deze buurten voegen in totaal minder PJ per buurt toe aan het totale Nederlands potentieel waardoor die spreiding dus kleiner is.

Tenslotte valt op dat aardwarmte, restwarmtebronnen en lagetemperatuur warmtebronnen communicerende vaten zijn. Alle drie de alternatieven behoren tot de beste keuze wanneer er een hoge dichtheid qua bebouwing is en een collectieve invulling van de warmtevraag voor de hand ligt. Een afname in kostprijs van een aardwarmte bron, leidt dan ook tot een afname van het aantal buurten (en PJ) waarvoor een restwarmte- of een lagetemperatuur warmtebron het goedkoopste alternatief is. Door de kostprijzdaling neemt het (bovengronds) potentieel van aardwarmte dan ook sterker toe dan de som van het potentieel van alle drie de alternatieven (zie tabel 9).

Tabel 8: De warmtevraag die ingevuld zou kunnen worden door aardwarmte (S2C), restwarmte (S2A) en lage temperatuur warmte (S3) op basis van LNK volgens vijf kostprijsreductie scenario's zonder rekening te houden met de ondergrond.

Scenario (% kostprijsreductie)	Warmtevraag waar aardwarmte LNK heeft (in PJ)	Warmtevraag waar restwarmte LNK heeft (in PJ)	Warmtevraag waar een lage temperatuur-bron LNK heeft (in PJ)	SOM (in PJ)	Aantal buurten waar aardwarmte LNK heeft	Percentage aantal buurten
11 procent (PBL 2030)	34,1	48,3	20,7	103,1	1011	7,7%
20 procent	40,3	46,4	20,0	106,7	1886	14,3%
30 procent (Masterplan aardwarmte, in 2030)	48,5	45,6	18,7	112,8	2185	16,5%
40 procent	56,4	45,0	18,0	119,4	2467	18,7%
50 procent (Masterplan aardwarmte, in 2050)	67,5	43,7	16,3	127,6	2826	21,4%

Tabel 9 geeft de potentie van aardwarmte weer wanneer het bovengronds potentieel is gecorrigeerd met het ondergronds aanbod, dit potentieel is vanzelfsprekend lager. In Petajoule is de range van de potentie in de verschillende scenario's 80 PJ tot 100 PJ, voor alleen het aardwarmte scenario is dit 27 PJ tot 52 PJ. Aangenomen dat de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 333 PJ bedraagt, kan in maximaal 24 tot 30 procent van deze vraag door aardwarmte voorzien worden. Als ook de potentie in de glastuinbouw en industrie hieraan toegevoegd worden neemt het totale potentieel toe. De totale potentie van aardwarmte bedraagt dan tussen de 280 en 300 PJ.

Tabel 9: De warmtevraag die ingevuld zou kunnen worden door aardwarmte (S2C), restwarmte (S2A) en lage temperatuur warmte (S3) op basis van LNK en ondergronds potentieel, volgens de vijf kostenscenario's

Scenario (% kostenreductie)	Warmtevraag waar aardwarmte LNK heeft (in PJ)	Warmtevraag waar restwarmte LNK heeft (in PJ)	Warmtevraag waar een lage temperatuur-bron LNK heeft (in PJ)	Sub-totaal G.O.	Aandeel totale vraag G.O. 2030	Glastuinbouw	Industrie	Totaal (in PJ)
11 procent (PBL 2030)	26,8	35,0	18,4	81,0	24,3%			281,9
20 procent	31,7	33,2	17,9	83,5	25,1%			284,5
30 procent (2030, Masterplan aardwarmte)	37,6	32,7	16,7	87,8	26,3%	54	147	288,7
40 procent	43,6	32,3	16,0	92,7	27,8%			293,7
50 procent (Masterplan aardwarmte 2050)	51,9	31,3	14,5	98,5	29,6%			299,4

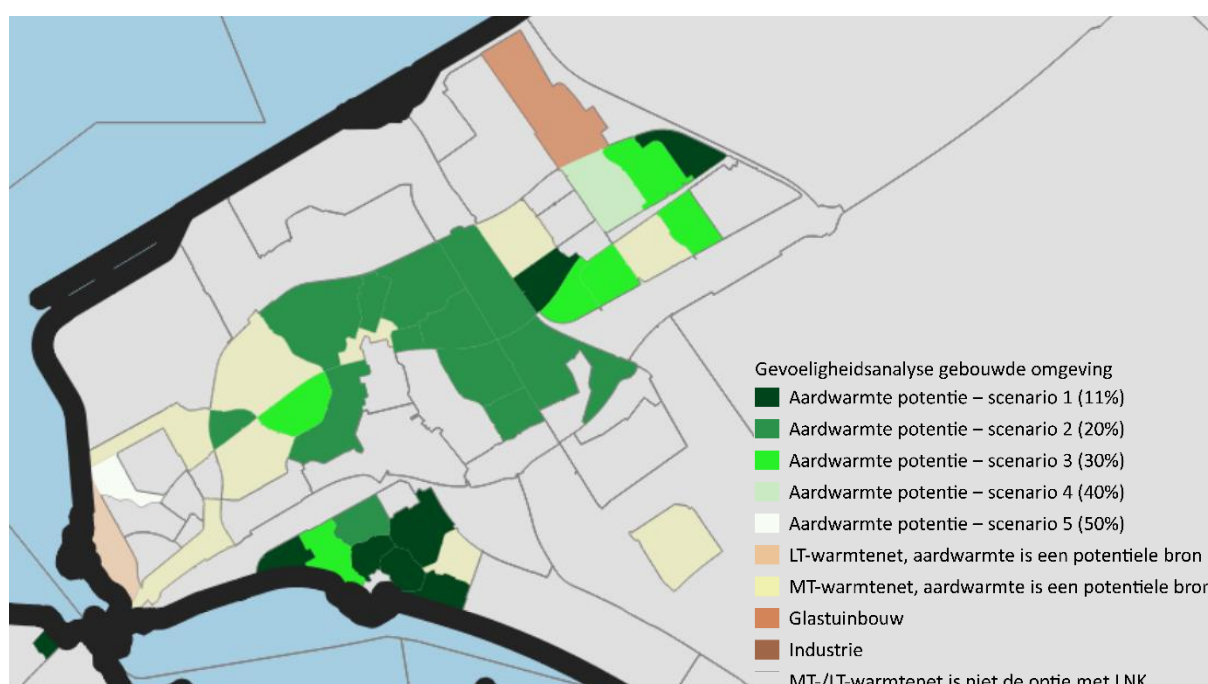
5.3 Resultaten regionaal

Het potentieel in de gebouwde omgeving per scenario is in tabel 10 uitgesplitst naar RES-gebied. Figuur 13 toont voor de stad Almere het resultaat van de gevoeligheidsanalyse. Deze figuur laat zien dat bij een grotere kostenreductie voor steeds meer aaneengesloten buurten geldt dat verwarmen met aardwarmte het alternatief is met de laagste nationale kosten. Aardwarmte wordt bijv. in Almere Buiten de optie met laagst nationale kosten wanneer de kosten van een aardwarmte boring met 40% zijn afgenomen. In Almere Haven is aardwarmte al eerder de optie met de laagst nationale kosten.

Tabel 10: De potentie van aardwarmte per RES-gebied voor vijf scenario's van kostenreductie (hierna: Skr) (gecorrigeerd voor de ondergrondse potentie en op basis van LNK-alternatieven voor aardgas). De cijfers zijn exclusief potentie van de potentie van de glastuinbouw en de industrie en niet gecorrigeerd voor additionele invloedsfactoren.

RES-gebied	Warmtevraag waar aardwarmte LNK heeft (in PJ)					Warmtevraag waar restwarmte of lage temperatuurbron LNK heeft (in PJ)				
	Skr1: 11%	Skr2: 20%	Skr3: 30%	Skr4: 40%	Skr5: 50%	Skr1: 11%	Skr2: 20%	Skr3: 30%	Skr4: 40%	Skr5: 50%
Achterhoek	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alblasserwaard	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Amersfoort	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8
Arnhem/Nijmegen	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
Drechtsteden	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9
Drenthe	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Flevoland	1,1	1,9	2,5	2,6	2,8	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8
Foodvalley	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Friesland	0,7	0,9	1,1	1,5	1,6	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
Goeree-Overflakkee	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Groningen	0,5	0,6	0,6	0,8	1,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Hart van Brabant	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	1,1	0,9	0,9	0,9	0,8
Hoeksche Waard	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Holland Rijnland	2,2	2,3	2,6	3,0	3,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4
Metropoolregio Eindhoven	1,1	1,2	1,4	1,5	2,3	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5
Midden-Holland	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Noord- en Midden Limburg	0,4	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
Noord Holland Noord	2,2	2,3	2,5	2,8	3,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Noord Holland Zuid	5,2	6,3	7,6	8,7	10,1	10,3	9,9	9,4	9,0	8,5
Noord Veluwe	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Noord Oost Brabant	0,7	0,8	1,1	1,4	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
Rivierenland	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Rotterdam-Den Haag	3,1	3,7	4,7	5,2	6,8	16,0	15,6	15,2	14,9	13,9
Stedendriehoek/cleantech	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
Twente	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
U10/U16	0,9	1,1	1,2	1,7	1,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
West-Brabant	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7
West-Overijssel	1,8	2,2	2,5	2,7	3,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7
Zeeland	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zuid-Limburg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Totaal	26,8	31,7	37,6	43,6	51,8	52,1	49,7	48,1	47,0	44,5



Figuur 13: Gevoeligheidsanalyse gebouwde omgeving van Almere. De kaart toont bij welk percentage kostenreductie aardwarmte het goedkoopste alternatief voor aardgas is. Voor elk van de ingekleurde buurten geldt dat – voor zover bekend – de ondergrond een hoge slaagkans heeft om aardwarmte te leveren. Let op: op verschillende locaties in Nederland is informatie over de ondergrond onvolledig (de zgn. witte vlekken, zie 2.2.4), voor het bepalen van de potentie van aardwarmte op lokaal niveau is een additionele potentieel studie daarom aan te bevelen.

6. Geraadpleegde bronnen

Geraadpleegde publicaties

- BVG Associates, 2017. Offshore wind anticipated innovations impact.
- CE Delft, 2014. Kansen voor warmte.
- CE Delft, IF Technology en Berenschot, 2018. Opschaling aardwarmte in warmtenetten.
- Centraal Bureau voor de Statistiek, 2019. Geografische data, bestand bodemgebruik.
- Ecorys, 2019. De financiële gevolgen van de warmtetransitie.
- Kamerbrief, 2020. Voortgang Geothermie.
- Klimaatakkoord, 2019. www.klimaatakkoord.nl
- Planbureau voor de Leefomgeving, 2019. Startanalyse voor aardgasvrije buurten (0.8 versie).
- Panterra, 2020. De mogelijkheden en potentie om aardwarmte op te schalen vanuit een ondergrond perspectief.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2019. www.warmteatlas.nl
- Stichting Platform Geothermie, 2020. Factsheet 'Hoe duurzaam is Geothermie?'
- Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN, 2018. Masterplan Aardwarmte in Nederland 2018.
- TKI Urban Energy (2020), [Warmtenetten ontrafeld](http://Warmtenetten.ontrafeld)
- TNO, 2010. De geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland.
- TNO, 2019. Review of worldwide geothermal projects: mechanisms and occurrence of induced seismicity.
- TNO en EBN, 2018. Play-based portfoliobendadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie.

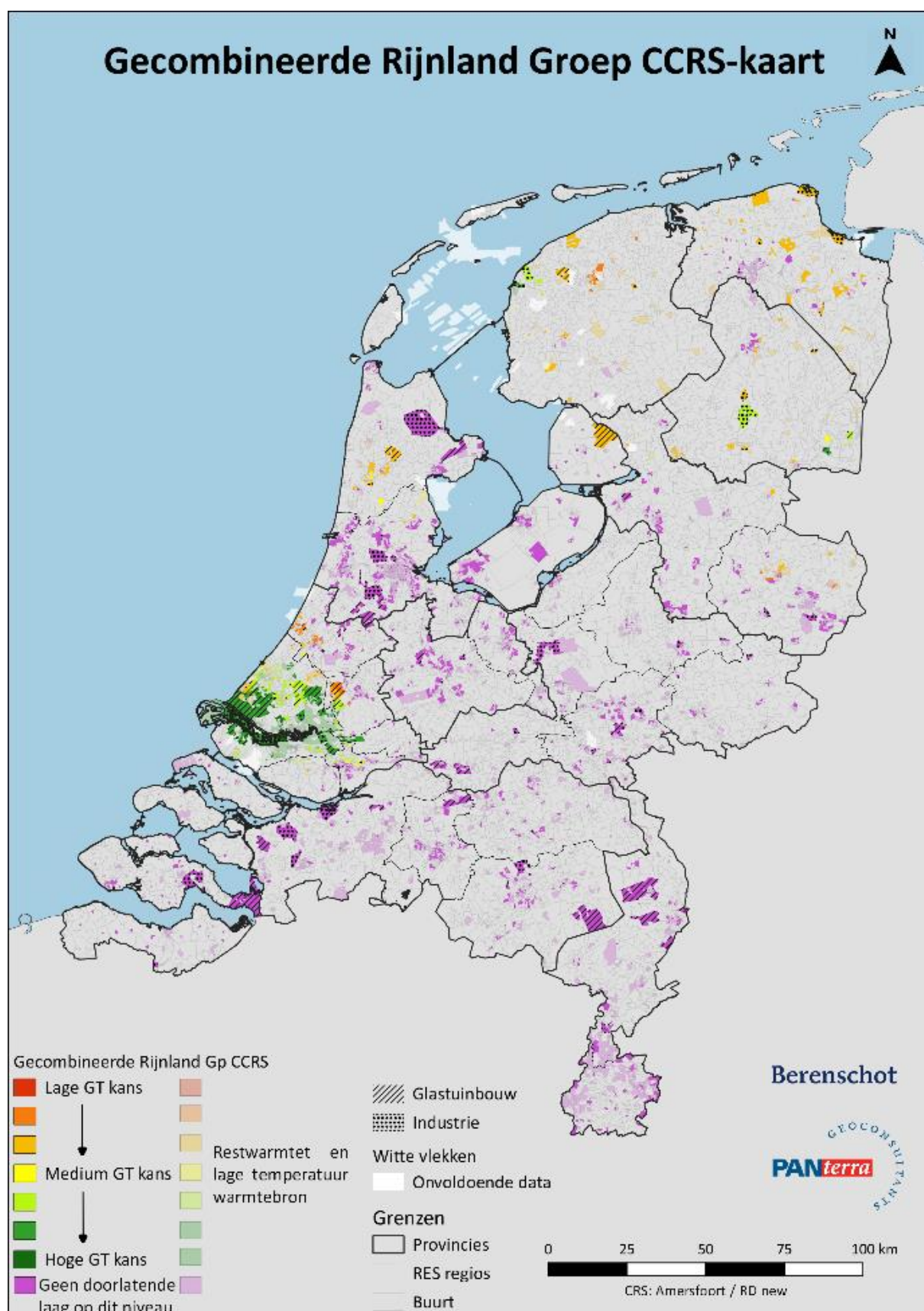
Geraadpleegde websites

- www.expertisecentrumwarmte.nl
- www.hoewerктаardwarmte.nl
- www.geothermie.nl
- www.scanaardwarmte.nl
- www.thermogis.nl
- www.themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2019/index.php

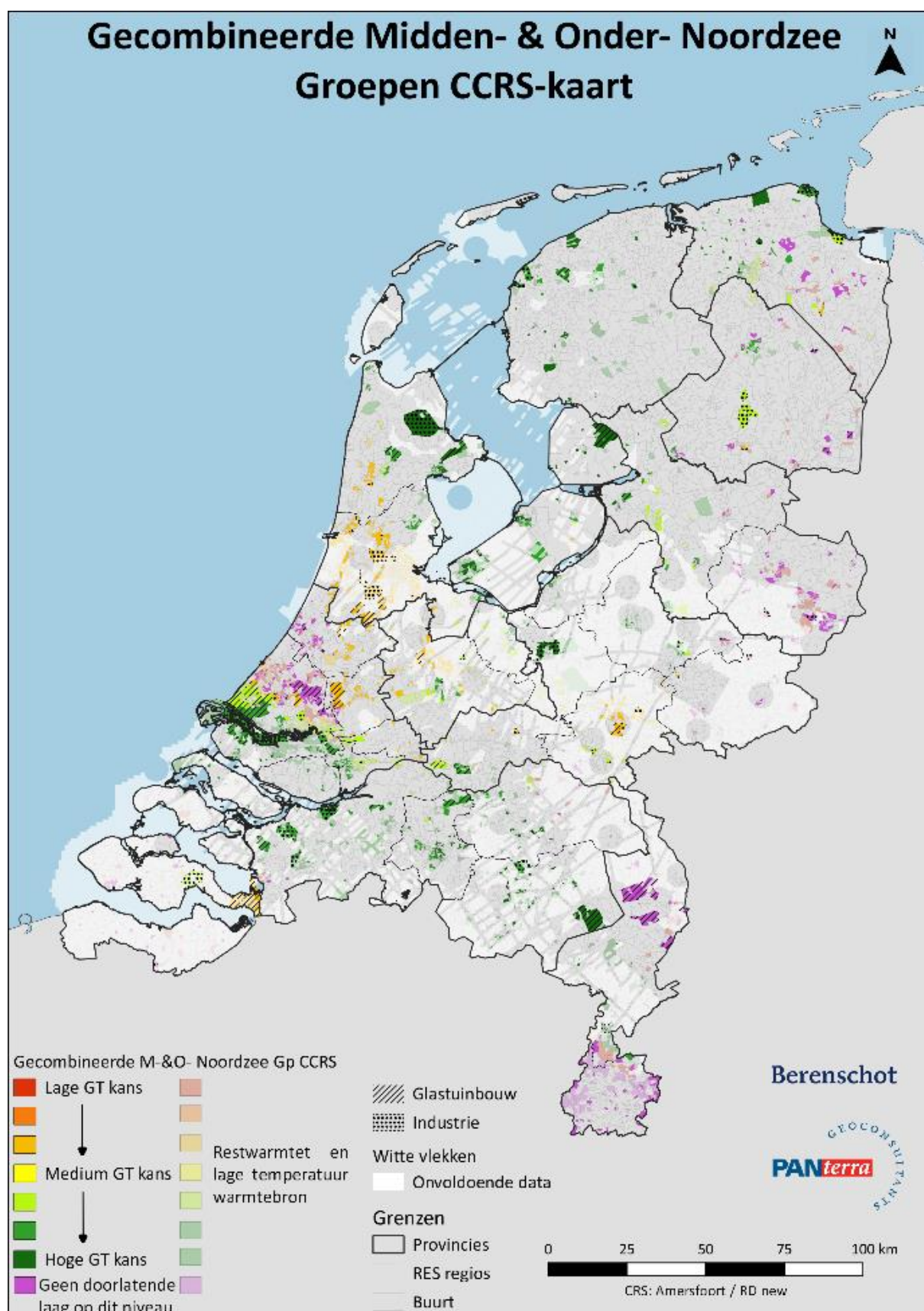
7. Bijlagen

In de bijlagen hebben we de volgende kaarten opgenomen:

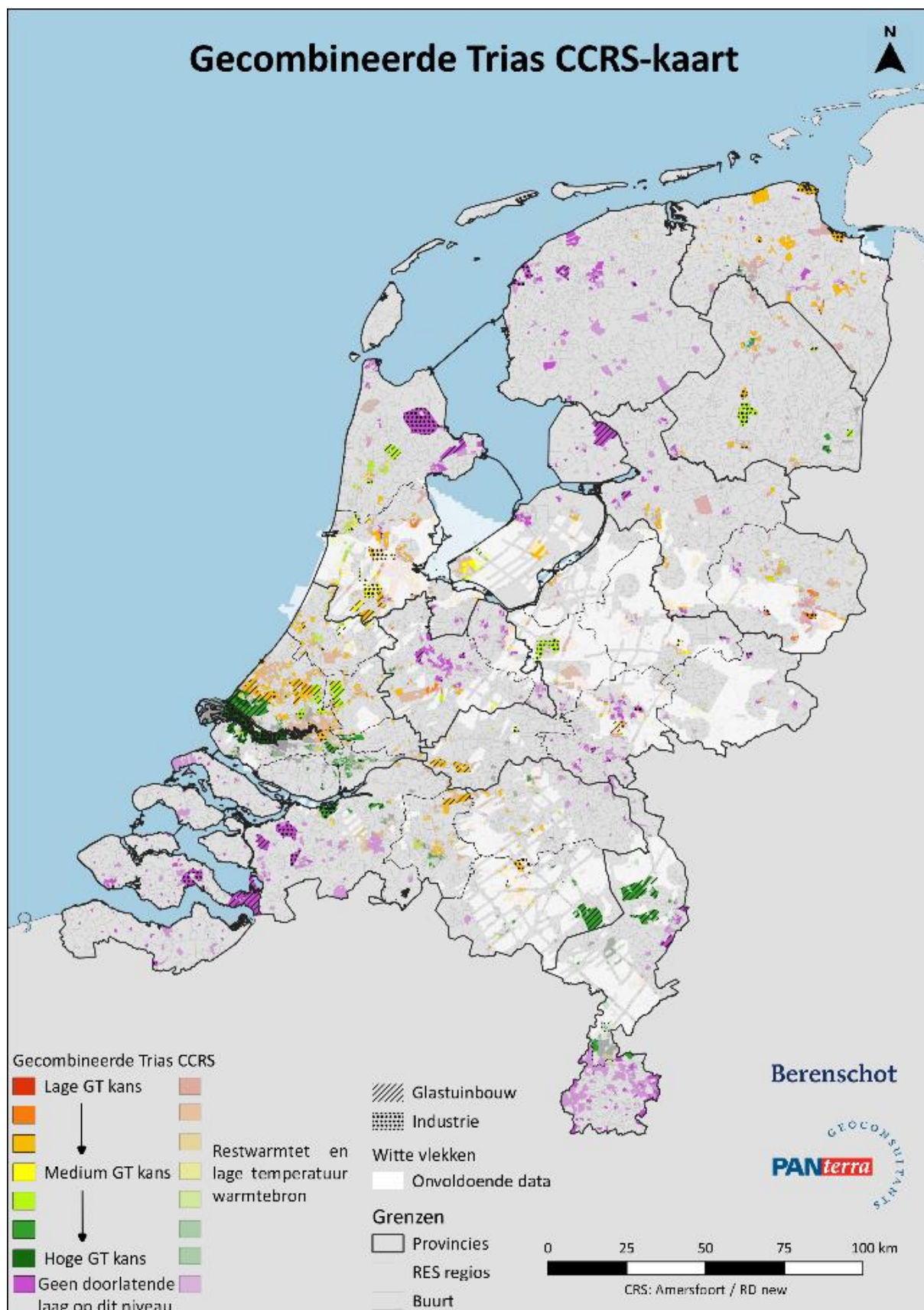
1. CCRS-kaart van het Onder-Krijt (Rijnlandgroep)
2. CCRS-kaart van het Paleogeen (Midden- en Onder-Noordzeegroepen)
3. CCRS-kaart van het Trias
4. CCRS-kaart van het Perm (Rotliegend)
5. CCRS-kaart van het Jura
6. Kaart met additionele invloedsfactoren (aanwezigheid van olie- en gasvoorkomens, Natura 2000-gebieden, waterwingebieden, breuken en boringvrije zones)
7. Overzichtskaart met buurten met bestaande warmtenetten



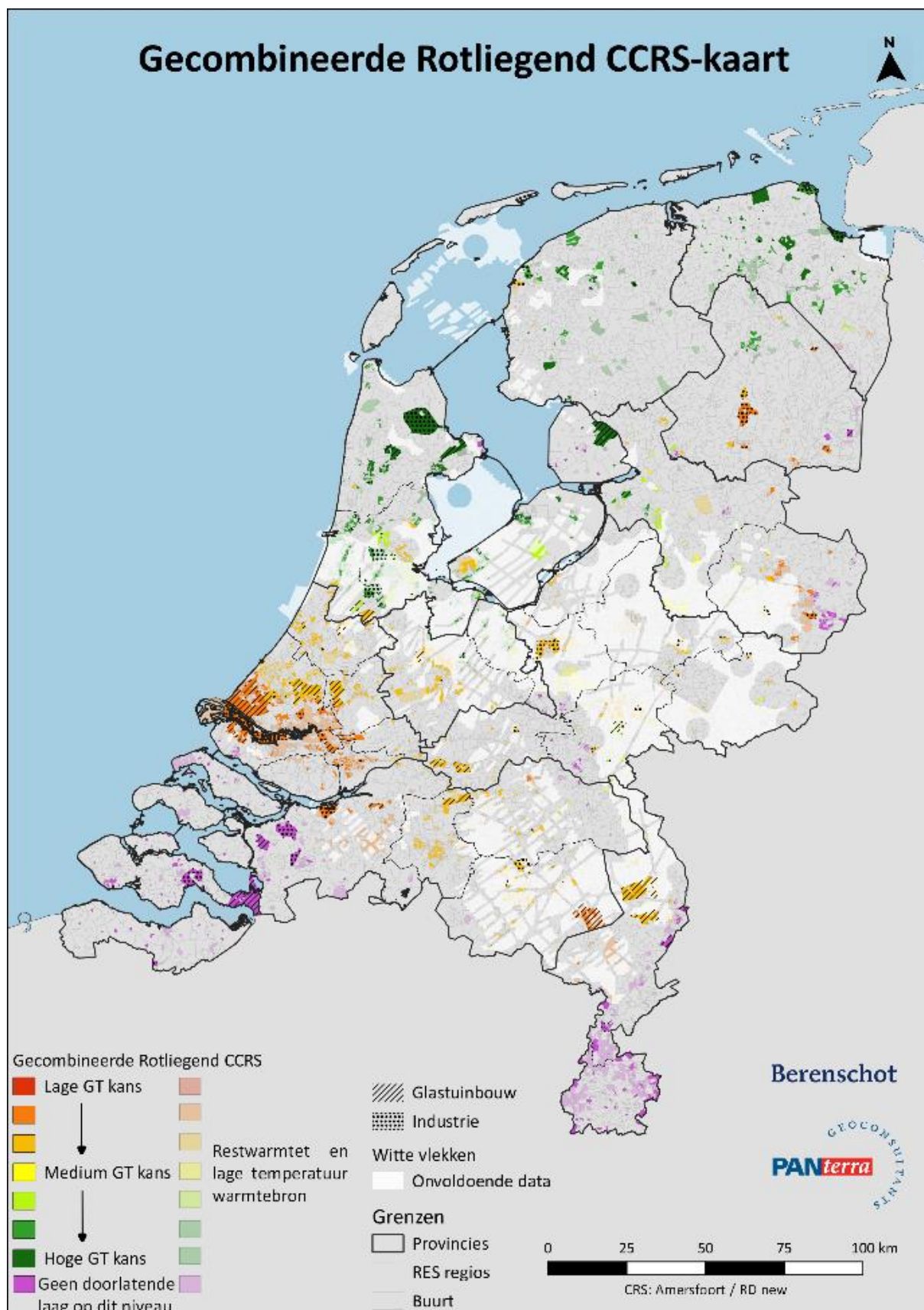
Figuur 14: CCRS-kaart van het Onder-Krijt



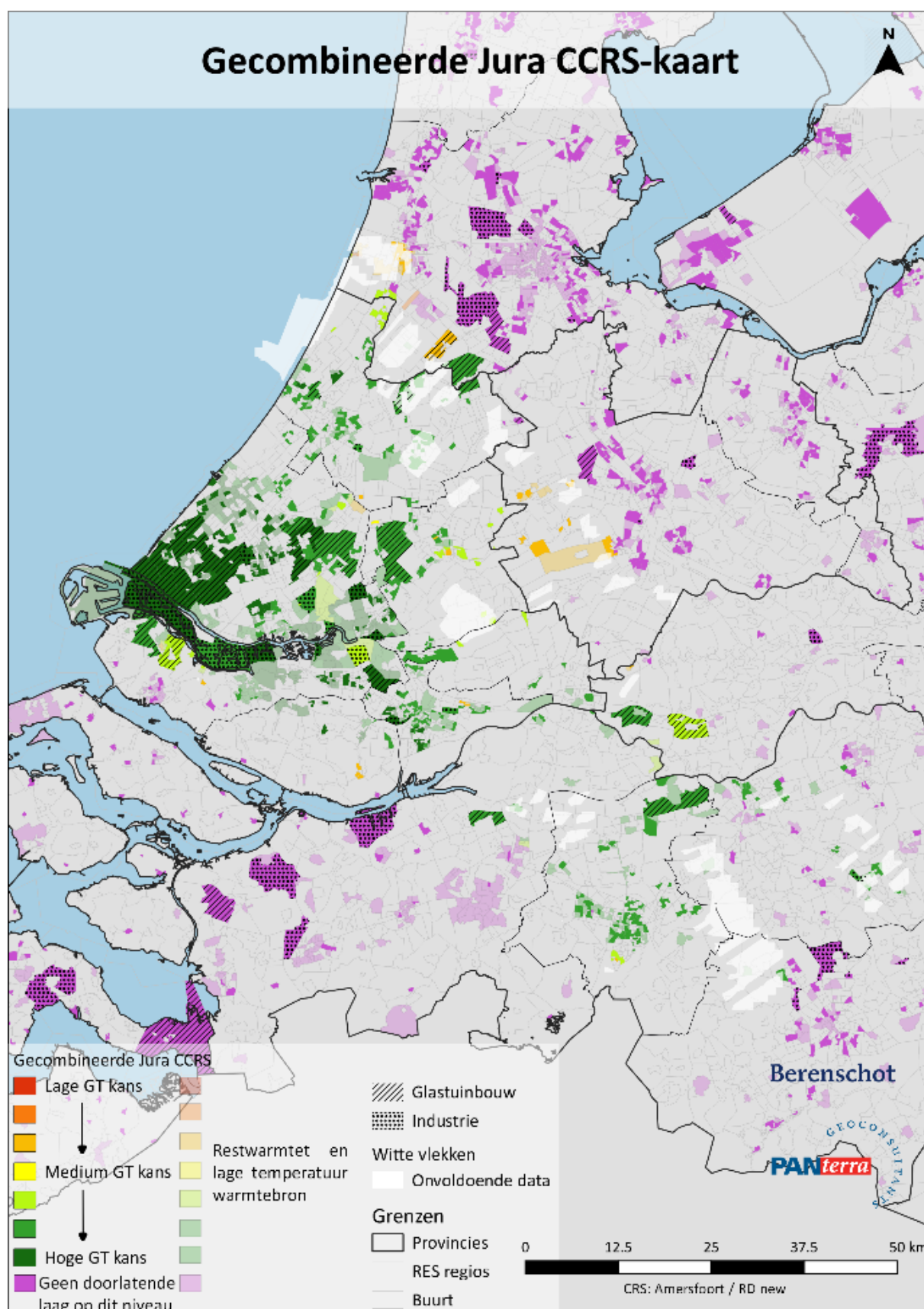
Figuur 15: CCRS-kaart van het Paleogeen



Figuur 16: CCRS-kaart van het Trias

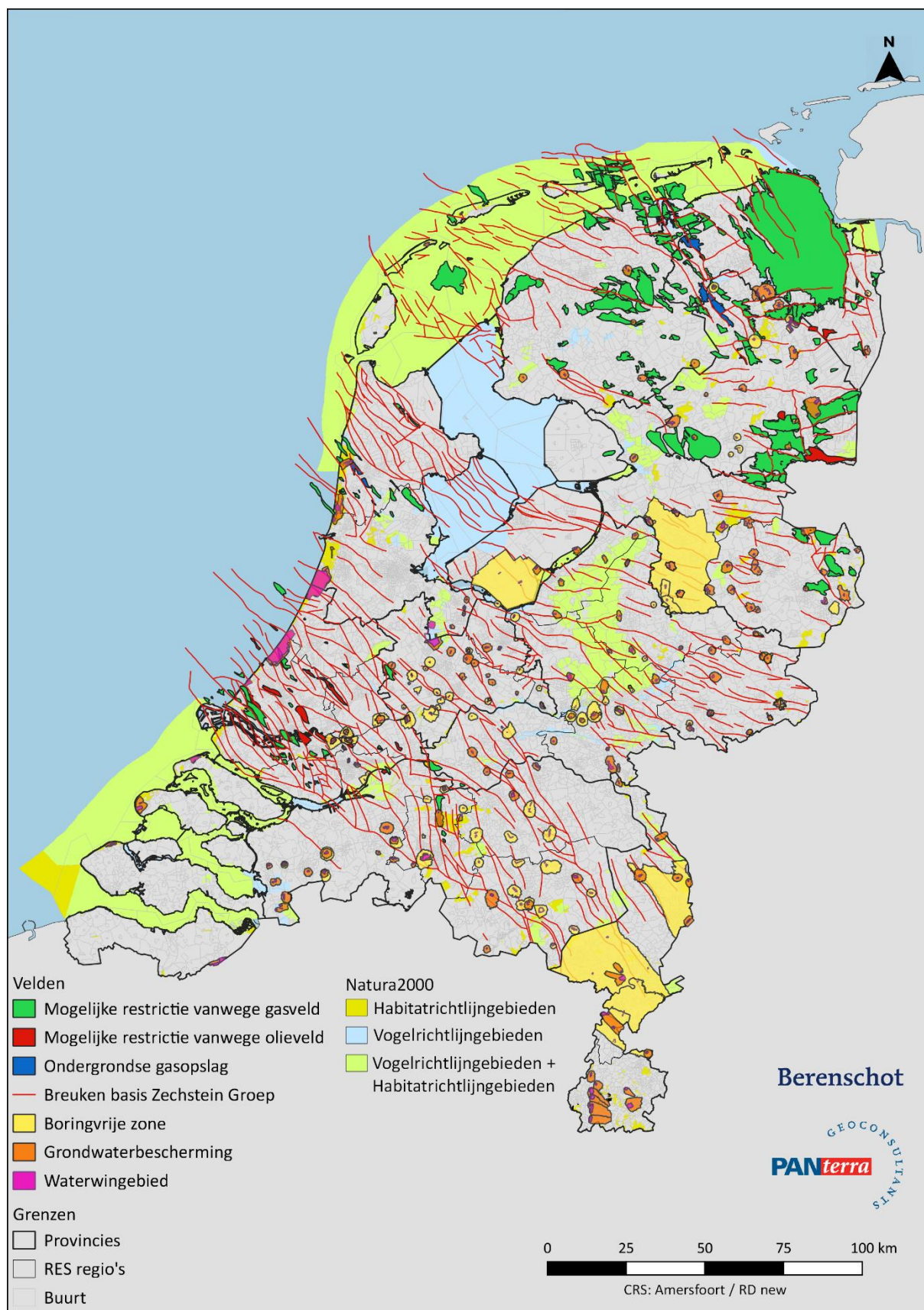


Figuur 17: CCRS-kaart van het Perm

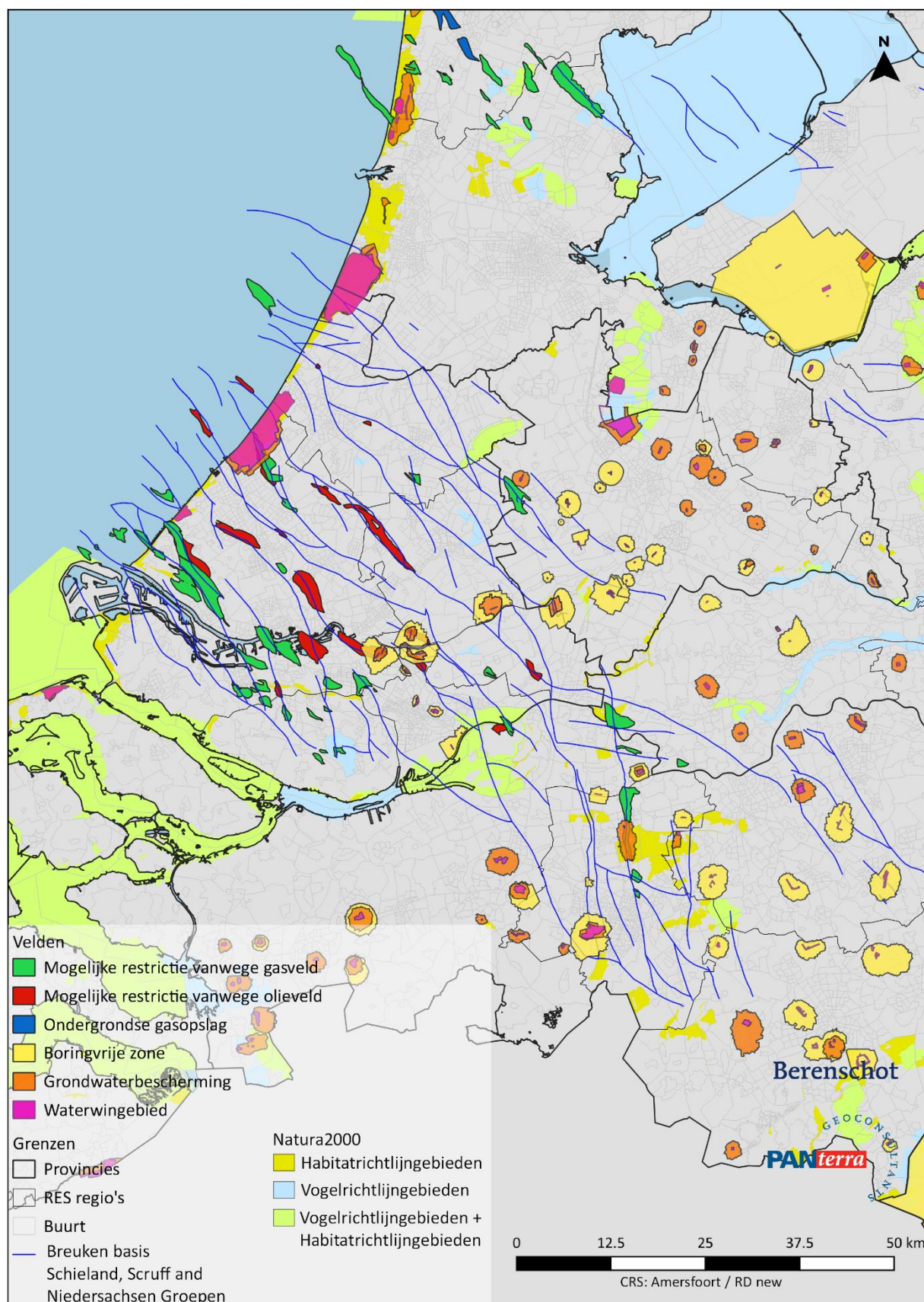


Figuur 186: CCRS-kaart van het Jura

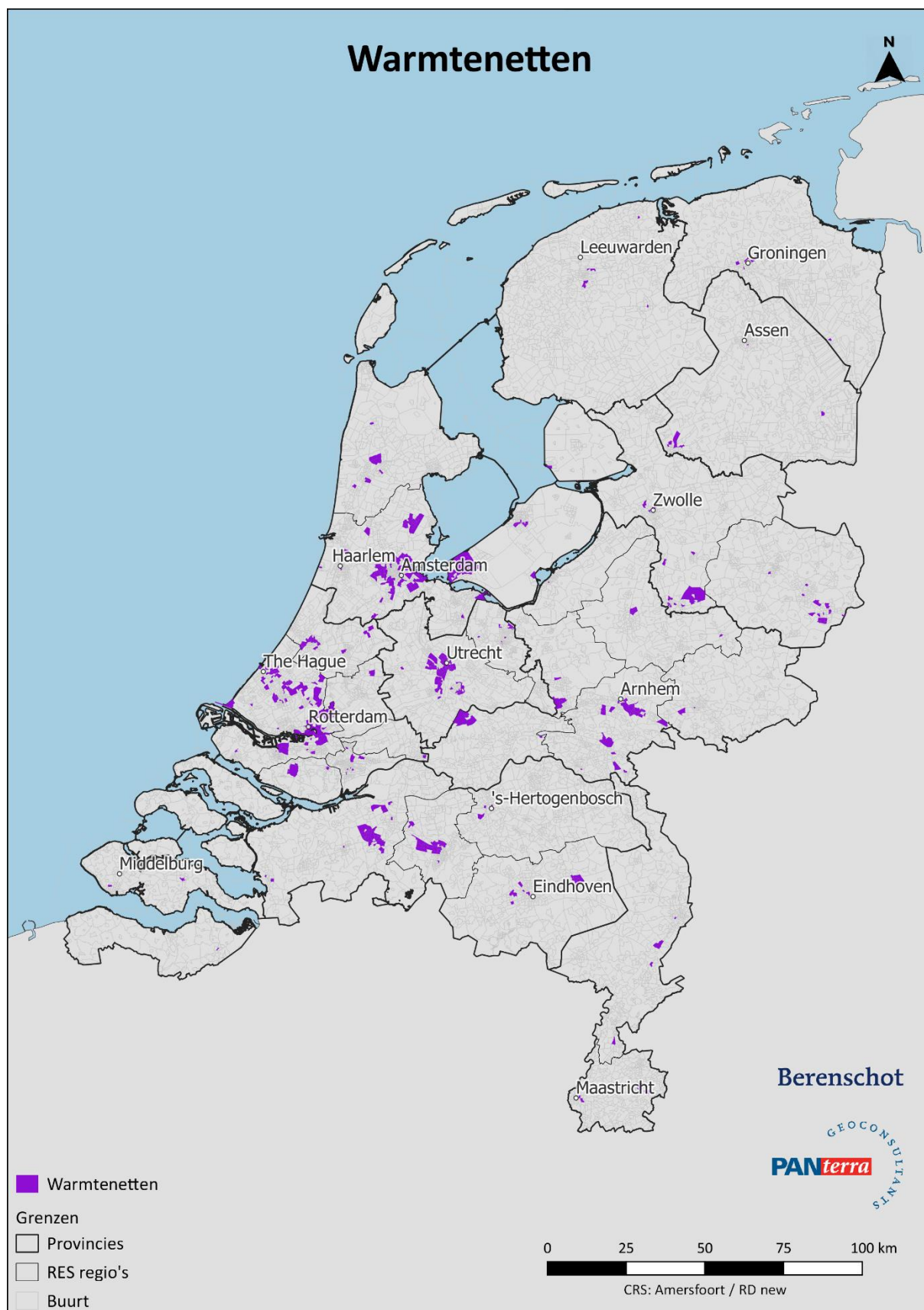
Berenschot



Figuur 19: Additionele factoren die invloed kunnen hebben op het verkrijgen van vergunningen voor de exploratie van aardwarmte



Figuur 20: Additionele factoren die invloed kunnen hebben op het verkrijgen van vergunningen voor de exploratie van aardwarmte, met een focus op het Westland (breuken Schieland-, Scruff- en Niedersachsengroep)



Figuur 21: Buurten die al deels of geheel worden verwarmd via een warmtenet (bron: <https://data.overheid.nl/dataset/48630-warmtenetten>)



Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke sector en het bedrijfsleven met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkterrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. En zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

Berenschot B.V.

Europalaan 40, 3526 KS Utrecht

Postbus 8039, 3503 RA Utrecht

030 2 916 916

www.berenschot.nl

 [berenschot](https://www.linkedin.com/company/berenschot)