



Technische aspecten van geothermie projecten

Tweede rapportage van het
Expertisecentrum financiering duurzame
energieprojecten

mei 2015



Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond en doel van de Green Deal	4
1.2	Inhoud en doelgroep van de rapportage	4
2	Over geothermie	5
3	Algemene informatie over de realisatie van een geothermieproject	6
4	Gedetailleerde informatie over technische risico's van geothermie	7
4.1	Verkennen en verkleinen van korte termijn risico's zoals geologisch risico, injectie risico's, olie en gas bijvangst	7
4.2	Verkennen en verkleinen van lange termijn risico's van injectie en productie zoals bv corrosie, neerslag en verstopping	7
5	Lopend onderzoek	10
5.1	Kennisagenda aardwarmte	10
5.2	Andere al lopende onderzoeken	10
6	Aanvullende informatie te vinden op internet	11
7	Colofon	11

Annex 1: Corrosie en Neerslag

Annex 2: Putstimulatie

Annex 3: Overzichtskaart met aardwarmte vergunningen en met producerende, borende en beschikte aardwarmte projecten

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel van de Green Deal

Om een aantal specifieke knelpunten aan te pakken voor de financiering van duurzame energieprojecten, hebben de groenbanken en groenfondsden (hierna: de Groenbanken) een Green Deal gesloten met de overheid. Eén van deze knelpunten is onbekendheid over de techniek en het (daardoor) slecht in kunnen schatten van de risico's bij nieuwe technologieën. Een technologie waarvoor dit speelt is geothermie.

De Green Deal richt zich op bundeling van technische en financiële kennis: de Groenbanken hebben behoefte aan technische informatie over geselecteerde technologieën die in een ontwikkelfase verkeren. Hierover kan door RVO aan de Groenbanken voorlichting worden gegeven. De Groenbanken zullen op hun beurt kennis delen over de financierbaarheid van dergelijke projecten. De technische rapportages kunnen dan worden voorzien van een financieringsparagraaf. Deze rapportages worden door het expertisecentrum publiek toegankelijk gemaakt zodat, onder andere, initiatiefnemers van projecten en financiers hierover kunnen beschikken.'

Onbekendheid met de technische aspecten bij banken zorgt voor enige terughoudendheid om dergelijke projecten te financieren. Tegelijkertijd zijn initiatiefnemers van projecten zich niet goed bewust aan welke eisen een geothermie project moet voldoen om gefinancierd te kunnen worden.

Doel van deze rapportage is om deze lacunes specifiek voor geothermie op te vullen. Dit is de rapportage over de technische aspecten. In een aparte rapportage zijn de aspecten die relevant zijn voor de financiering en de financierbaarheid opgenomen.

1.2 Inhoud en doelgroep van de rapportage

Omdat er reeds veel informatie publiek beschikbaar is over de technische aspecten van geothermie is er voor gekozen met name naar de bestaande documenten te verwijzen. Deze rapportage bevat dan ook een pagina met veel links naar bestaande rapporten en documenten over de technische aspecten van geothermie. Voor zover relevant zijn aanvullende analyses opgesteld.

Deze rapportage is bedoeld voor initiatiefnemers van projecten en voor potentiële financiers. Partijen die zich oriënteren op geothermie vinden in deze rapportage echter ook meer globale en algemene informatie, naast de zeer gedetailleerde informatie die bedoeld is voor partijen met zeer specifieke technische vragen.

2 Over geothermie

Geothermie (of aardwarmte) is de energie in de vorm van warmte die in de bodem zit opgeslagen. De website van het Platform Geothermie (www.geothermie.nl) is een zeer geschikt startpunt om meer informatie over de verschillende vormen van aardwarmte te vinden, maar ook over de toepassingsmogelijkheden en het overheidsbeleid.

Sinds een aantal jaren zijn er enkele projecten in Nederland operationeel. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld Frankrijk waar er al sinds 1960 ervaring is met de techniek. Tot nu toe wordt geothermie in Nederland vrijwel uitsluitend toegepast in de glastuinbouw. Er wordt onderzocht hoe geothermie toepasbaar is in andere sectoren. Het [versnellingsplan aardwarmte glastuinbouw 2014-2017](#) opgesteld vanuit het programma Kas als Energiebron (van LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van EZ), waarbij vertegenwoordigers uit de keten zijn geconsulteerd, benoemt de prioriteiten voor de ontwikkeling van aardwarmte in Nederland.

3 Algemene informatie over de realisatie van een geothermieproject

Een gedetailleerde introductie op de realisatie van een geothermie project is te vinden in het [Stappenplan Winning Aardwarmte](#) voor Glastuinbouw, opgesteld door het Programma Kas als Energiebron in 2013. Hierin wordt de techniek uitgelegd en is informatie opgenomen over geologisch onderzoek, haalbaarheidsstudie, ontwerpaanbestedingstraject, veiligheidscoördinator, boommanagement, garanties en valkuilen. Daarnaast worden de indicatieve kosten van een project berekend.

Informatie over wet, en regelgeving en vergunningen staat helder weergegeven op het [Nederlandse olie en gas portaal](#) en op de site van [Staatstoezicht op de mijnen \(SoDM\)](#).

In opdracht van het programma Kas als Energiebron is het [Handboek Geothermisch Operator](#) geschreven, waarin met name de eisen aan een veiligheid- en gezondheidsplan met voorbeelden staan benoemd. Daarnaast ook aandacht voor de projectfasering.

In de [Thema-update Geothermie](#), een onderdeel van de Rabobank reeks Cijfers en Trends uit 2014 wordt geothermie beschreven vanuit het perspectief van een bank, inclusief een aantal aandachtspunten voor de financiering.

4 Gedetailleerde informatie over technische risico's van geothermie

Hoewel er in Nederland pas enkele geothermie projecten operationeel zijn, is er veel technische informatie beschikbaar, onder andere door ervaring in de olie- en gasindustrie. Hieronder wordt ingegaan op een aantal technische en geologische aspecten van aardwarmte die een financieel risico kunnen veroorzaken dat nog niet kan worden afgedekt door een verzekering.

4.1 Verkennen en verkleinen van korte termijn risico's zoals geologisch risico, injectie risico's, olie en gas bijvangst

Nederland heeft in vergelijking met andere landen door zijn actieve olie en gas sector enorm veel kennis over de ondergrond. Informatie over boorgegevens, logs, seismische surveys, productie gegevens, vergunningen, rapporten, kaarten zijn allemaal openbaar beschikbaar via het [Nederlandse olie en gas portaal](#).

Speciaal voor geothermie is door TNO [Thermogis](#) online ontwikkeld dat ruimtelijke informatie geeft over geologische temperaturen, diepte, dikte en doorlatendheden van geschikte lagen. Hiermee kan een eerste verkenning worden gedaan.

Pas na het uitvoeren van een gedetailleerd geologisch assessment kan bij [RVO.nl](#) een garantie worden aangevraagd voor misboren middels de [garantie regeling aardwarmte](#), vanaf 2014 onderdeel van de regeling nationale EZ-subsidies (RNES). Deze geologische assessment wordt gecontroleerd door TNO-AGE.

Daarnaast geeft de [warmteatlas](#) ruimtelijke informatie over de ligging van warmteafnemers en warmtepotentieel in Nederland, zodat ook ruimtelijk de koppeling gemaakt kan worden tussen warmte vraag en aardwarmte potentieel.

4.2 Verkennen en verkleinen van lange termijn risico's van injectie en productie zoals bv corrosie, neerslag en verstopping

Corrosie en Neerslag

Het inventariseren, beheersen en monitoren van risico's op de lange termijn zijn belangrijk. Voor zowel veiligheidsissues als voor de economische haalbaarheid is de productiekwaliteit van het dublet zeer belangrijk. Corrosie, neerslag en verstoppingen zijn problemen die kunnen ontstaan, en waar men voor moet waken. Neerslag komt meestal voor op plaatsen waar (i) door druk verandering de Ph van het water plots verhoogd als gevolg van ontgassing van H₂S en CO₂ of (ii)

daar waar de temperatuur van het water veranderd, zoals in injectieputten. Bij Ph verhoging van het geothermische water, kan calcië en metaal neerslag ontstaan.

In Nederland is nog niet veel ervaring met lange termijn risico's van aardwarmte doublets. Wel is veel informatie en ervaring over de te nemen maatregelen over corrosie, neerslag en verstopping bekend in andere landen en in de Nederlandse olie en gas sector. Deze ervaringen kan gevonden worden in bestaande publicaties (zie Annex 1¹)

Kort samengevat kunnen we uit bovenstaande rapporten het volgende concluderen:

- Nationaal bestaat er in de olie en gas sector jarenlang ervaring met waterinjectie. Er twee type waterinjectie putten:
- warm water of stoom injectie ter bevordering van de olie productie; en
- waterinjectie van overtollig (rest) geothermisch water dat mee opgepompt wordt.
- Meer details over bestaande waterinjectie boringen staan op het [Nederlandse olie en gas portaal](#).

[SODM](#) (Staatstoezicht op de mijnen) kent momenteel weinig problemen met injectie putten binnen de Nederlandse olie en gas sector. Wel geven ze aan dat de putten in de olie en gassector meestal duurder corrosie bestendiger 16% Cr-staal gebruikt wordt en dubbele casings worden gebruikt.

Ervaringen uit het buitenland met goedkoper staal laten diverse risico's zien.

Een studie uit 2006 over [Well integrity Survey Norway](#), waarin 406 putten onderzocht zijn laat zien dat 16% van de putten enige vorm van tekortkomingen in hun well integriteit vertoonden en 7% volledig moesten sluiten. Het grootste deel van de putten hadden een leeftijd tussen de 0-14 jaar met een paar tot 30 jaar. In Noorwegen gebruikt men over het algemeen "zachter" staal dan in Nederland (dixed SoDM). Zoals hierboven beschreven gebruikt de olie en gas sector In Nederland duurder corrosie bestendiger 16% Cr-staal gebruikt en zijn de omstandigheden wat anders waardoor de putten dit probleem niet of veel minder vertonen (SoDM).

Uit ervaringen en een studie gedaan in het Parijse bekken (gestart 1971) blijken in de begin periode verschillende corrosie en neerslag problemen te zijn geweest. Zie "Geothermal district heating in the Paris Basin. Milestones. Status. Futureprospects 2000". Het geothermische water in het Parijse bekken komt uit de "Dogger" formatie, is 60-80°C en bevat veel corrosief CO₂ en H₂S gas en met een PH van 6. De geothermische putten waren en zijn van "zachtere" staal (k55). In 1995 bleek uit een onderzoek dat de recover/redrill kosten over een periode van 15 jaar hoger waren dan verwacht. Kosten van maatregelen die genomen werden konden globaal worden ingedeeld in de volgende klassen.

Corrosion rate	Kosten in euro per boring/jaar
<150 µm/y	75.000,- tot 125.000,-
>150 µm/y	175.000,- tot 275.000,-
> 300 µm/y	Rendabeler de put te vervangen

¹ Een beknopt overzicht van de oorzaak en de te nemen maatregelen uit onderstaande rapporten staat kort beschreven in Annex 1 op pagina 6/9.



5 Lopend onderzoek

5.1 Kennisagenda aardwarmte

Het ministerie van Economische Zaken en Kas als Energiebron (LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van EZ) financieren onderzoek naar de ontwikkeling van aardwarmte. Kennisontwikkeling is één van de topprioriteiten voor de versnelling van aardwarmtetoepassing in Nederland ([versnellingsplan aardwarmte juli 2014](#)). De huidige versnipperde en ad hoc kennisaansturing willen de financiers vervangen door een afgestemde, landelijke vraag gestuurde kennisagenda. Ook is het de uitdaging van probleemgestuurd onderzoek de omslag te maken naar proactief onderzoek, waarmee problemen zo goed mogelijk voorkomen worden en kansen gegrepen. Daarnaast is afstemming en coördinatie belangrijk van de verschillende onderzoeken die in Nederland/ voor Nederlandse bedrijven op geothermiegebied plaatsvinden. De vraag gestuurde 'Kennisagenda' geeft aan op welke terreinen volgens de doelgroep (de operators en aankomend operators, in afstemming met de financiers) kennisvergroting en – verspreiding nodig is. Een en ander bezien vanuit de visie en geformuleerde doelen. Relevant hierbij is tevens de termijn waarop dit te realiseren is. De genoemde kennisvermeerdering en -verspreiding vindt plaats door onderzoeken te initiëren en aan te sturen én door te trachten onderzoeken die op andere wijze zijn of worden opgestart/gefinancierd in lijn te krijgen met de Kennisagenda. Op deze wijze wordt inhoud gegeven aan het betreffende onderdeel van het Versnellingsplan Aardwarmte. Begin 2015 zijn de eerste versie van de kennisagenda en de daarop gebaseerde kennisvragen aan de partijen gezonden.

5.2 Andere al lopende onderzoeken

- Vanuit het programma Kas als Energiebron is gestart met het ontwikkelen van een [industriestandaard](#).
- Door het Platform Geothermie, de sector, advies bureaus en onderzoekers wordt gezamenlijk onderzoek gedaan naar de optimale materialen, temperatuur, debiet en druk omstandigheden voor een injectieput, zodat op termijn ook extra kennis ten goede komt aan de prestaties en beheer van de geothermie projecten. Dit doet men met behulp van chemische en fysische modellen en testen in de 8 draaiende doubletten. Het onderzoek wordt gefinancierd door het Ministerie van EZ.

6 Aanvullende informatie te vinden op internet

- [Guidelines for waterinjection \(OGP, 2002\)](#)
- [Met water de diepte in \(CE-rapport, 2004, opdrachtgever NAM\)](#)
- [Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning SoDM](#)
- [Handleiding injectie Nogepa](#)
- [Afspraken actieprogramma stichting geothermie](#)
- [Handboek Geothermisch Operator](#)

7 Colofon

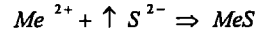
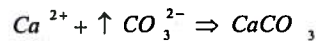
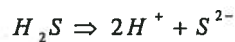
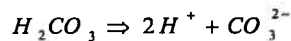
Deze publicatie is een product van het Expertisecentrum financiering duurzame energieprojecten. Hierin werken het ministerie van Economische Zaken, het ministerie van Infrastructuur en Milieu, ABN AMRO Groenbank B.V., ASN Groenprojectenfonds, ING Groenbank N.V., Rabo Groen Bank B.V. en Triodos Groenfonds N.V. samen om de totstandkoming van duurzame energieprojecten te bevorderen door het samenbrengen van technische en financiële kennis.

Bijlagen

Annex 1: Corrosie en Neerslag

Hieronder volgt een opsomming van veelvoorkomende bekende oorzaken van corrosie en scaling en maatregelen die genomen kunnen worden, zowel vooraf als bij constatering.

Neerslag komt meestal voor op plaatsen waar (i) door druk verandering de Ph van het water plots verhoogd als gevolg van ontgassing van H_2S en CO_2 of (ii) daar waar de temperatuur van het water veranderd. De volgende reacties vinden plaats bij Ph verhoging van het geothermische water, waardoor calciëet en metaal neerslag kan ontstaan.:



Me staat voor ijzer (Fe), Zink (Zn), Koper (Cu) of Lood (Pb).

Ook andere vormen van neerslag kunnen ontstaan, meer informatie over corrosie en neerslag in de Nederlandse aardwarmte doublets is te vinden in het rapport "[Report assesment of injectivity problems in geothermal heating wells](#)".

Opgelost CO2 in het geothermische water

Waard en Miller hebben reeds in 1975 de relatie tussen CO_2 en corrosie beschreven voor een 3,5% zout medium tussen de 5-60°C en in een CO_2 druk range van 0,1 tot 1 bar, namelijk de corrosie

$$\log .mm / y = 0.67 \log P_{CO_2} - 5.55 \times 10^{-3} T - \frac{2.32 \times 10^3}{T + 273} + 7.96$$

Met T, de temperatuur in °C en P_{CO_2} de CO_2 druk

Voor een CO_2 druk van 0.1 bar kan dus een corrosie van 0.2 mm/y verwacht worden.

Maatregelen:

- Coating: Hierbij is het belangrijk om zo weinig mogelijk schade aan de wand te creëren tijdens putactiviteiten, verder is het belangrijk een zo continue stroom te creëren in de put, zonder werveling en turbulenties veroorzaakt door geometrie veranderingen. Deze veroorzaken een versnelde corrosie.
- Inhibitor gebruik: Het is effectiever een inhibitor te gebruiken dan een coating

- Gebruik van (duurder) corrosie bestendig materiaal 9% chromium - 1% molybdenum en 13% chromium steel. Indien dit materiaal gebruikt wordt is de kans op corrosie gering en een inhibitor niet noodzakelijk.

Opgelost O₂ in het geothermische water

Op basis van ervaringen met het watertransport in de olie en gas sector met een paar 100 km aan leidingen, kan gesteld worden dat:

Als zuurstof volledig vermeden wordt in het water dat de corrosie rate kleiner is dan 0.1 mm/y

H₂S in het geothermische water

Als zowel H₂S als CO₂ aanwezig zijn dan kan de corrosie enorm groot worden, zowel de continue als lokale putten. Bij een ratio CO₂/ H₂S van 2 is het agressief. Geothermie projecten worden verplicht initieel gemonitord op o.a. de aanwezigheid van H₂S.

In de huidige projecten is geen H₂S teruggevonden. Toch is er wel degelijk een kans op de aanwezigheid van H₂S in het grondwater in Nederland. Ook "zure" gasvelden bevatten H₂S. Dus nieuwe aardwarmte projecten moeten hier rekening mee houden.

Maatregelen:

Deze zijn minder gemakkelijk te nemen dan bij CO₂ aanwezigheid in het geothermische water

- Inhibiter gebruik: wat corrosie tegengaat
 - a. Servo 337 (bij CO₂ alleen)
 - b. Servo 352 is noodzakelijk (bij CO₂ + H₂S)
- Gebruik van (duurder) corrosie bestendig materiaal:
 - a. 9% Cr 1%Mo
 - b. 13% Cr
 - c. austenitic/ferritic steels werkstoff nr. 1.4462 AF
 - d. 22 Mannesmann;
 - e. SAF 2205
 - f. Sandvik
 - g. 65 VS 22 Vallourec

Overige info

- EU DG 1983 [report Low enthalpy geothermal process materials selection, corrosion prevention and scaling problems](#)
- NAM report NAM T.M. 3471 - [choice of materials for corrosive conditions in oil and gas production, in particular for the prevention of H₂S stress corrosion \(sour corrosion\)](#) by K. Groenewoud (Annex I)
- [Waterinjectie Twente](#)
- Iceland geosurvey (high enthalpy): [Geothermal utilisation scaling and corrosion](#); 95% van het IJslands warmte en electriciteits verbruik komt uit geothermische bronnen.

Annex 2: Putstimulatie

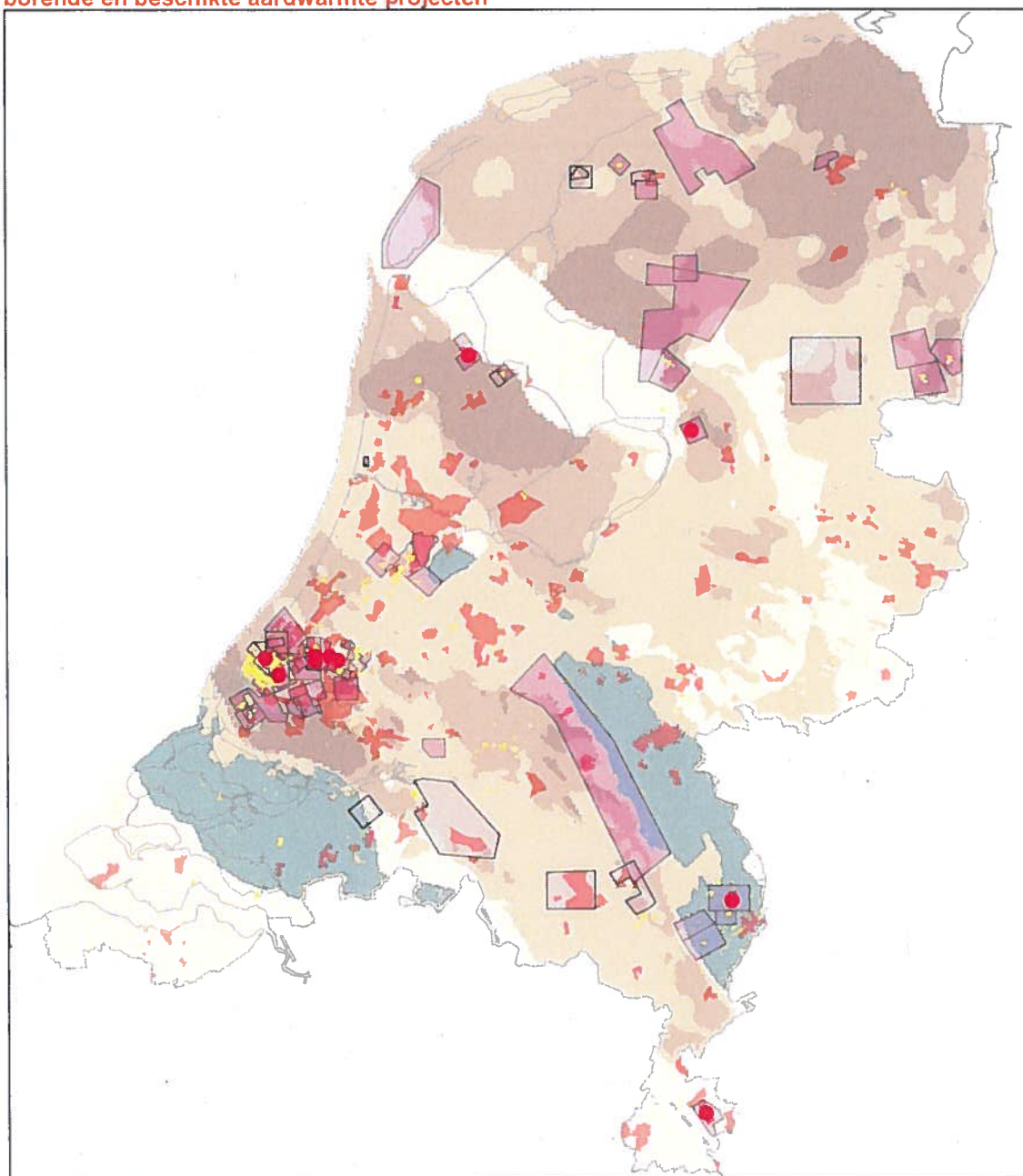
Het kan na enige tijd nodig zijn om te injecteren onder stimulerende condities om het totale wateraanbod te kunnen verwerken. Op dat moment zal de tubing head druk hoger zijn.

Om de injectiecapaciteit op peil te houden, kan het noodzakelijk zijn om de putten te behandelen met een putstimulatievloeistof, bv een zuur, die bestaat uit HCl in combinatie met oplosmiddelen. Deze vloeistof zorgt ervoor dat olieresten en vaste deeltjes verwijderd worden. Periodieke stimulaties om de injectiviteit op peil te houden, kunnen nodig zijn. De frequentie van de putstimulatie varieert, maar kunnen van gemiddeld 1 keer per 3-5 jaar in het Parijse bekken oplopen tot gemiddeld 1,5 keer per put per jaar bij bestaande waterinjecties in Nederland. Met deze putstimulaties is ervaring in de olie en gas sector in Nederland.

Indien de omstandigheden dit toestaan, zal de injectiedruk geleidelijk worden verhoogd met als doel de instroom van het water in de put te vergemakkelijken. Deze instroom gaat sneller doordat bij de hogere waterdruk microscheurtjes ontstaan in de formatie rond de uitstroomopening van de injectieleiding waardoor het water sneller afgevoerd en opgenomen wordt. Dit wordt injectie onder 'fracturing conditions' genoemd. Natuurlijk gebeurt dit binnen de randvoorwaarde ter waarborging van de integriteit van het reservoir. Indien zout de afdekkende laag vormt, heeft dit twee eigenschappen die er voor zorgen dat de integriteit van het reservoir gegarandeerd is. De rekbaarheid (flexibiliteit) voorkomt scheurvorming in de zoutlaag. De geostatische druk (als gevolg van het ontbreken van porositeit) laat hogere leak-off druk toe naarmate de zoutlaag dikker is. Leak-off is een indicatie dat de spanning in een reservoir dusdanig hoog is, dat fractures in het reservoir kunnen groeien.

De totale druk op elke plaats in de ondergrond wordt gegeven door het gewicht van alle bovenliggende materialen (gesteente en vloeistof) en wordt "overburden"-druk ("OD") genoemd. De betrokken vloeistof kan bestaan uit water, olie of gas of een combinatie hiervan. Deze overburden-druk verloopt in de meeste sedimentaire bassins lineair met toenemende diepte en heeft gemiddeld een gradiënt van 0,25 bar/m. Op een gegeven diepte is OD gelijk aan de som van de vloeistofdruk (VD) en de gesteente- of matrix-druk (GD) die wordt uitgeoefend op de contacten tussen de individuele deeltjes van de ondergrond: $OD = VD + GD$.

Annex 3: Overzichtskaart met aardwarmte vergunningen en met producerende, borende en beschikte aardwarmte projecten



Legenda

- | | |
|---------------------------------------|---|
| ● Aardwarmte Project | Potentieel aardwarmte met reservoir; $D > 10\text{m}$; $T > 40^\circ\text{C}$; $P > 5\text{MW}$ |
| □ Aangevraagde aardwarmtevergunningen | ■ Dinantian Aanwezig, maar geen reservoirs |
| □ Aardwarmte vergunningen | ■ Kans te laag |
| ■ Glastuinbouw | ■ KANS < 30% |
| ■ Woonwijken > 20 inwoners/ha | ■ KANS 30-50% |
| | ■ KANS > 50% |

Bronnen: TNO-NLOG, CBS, RVO