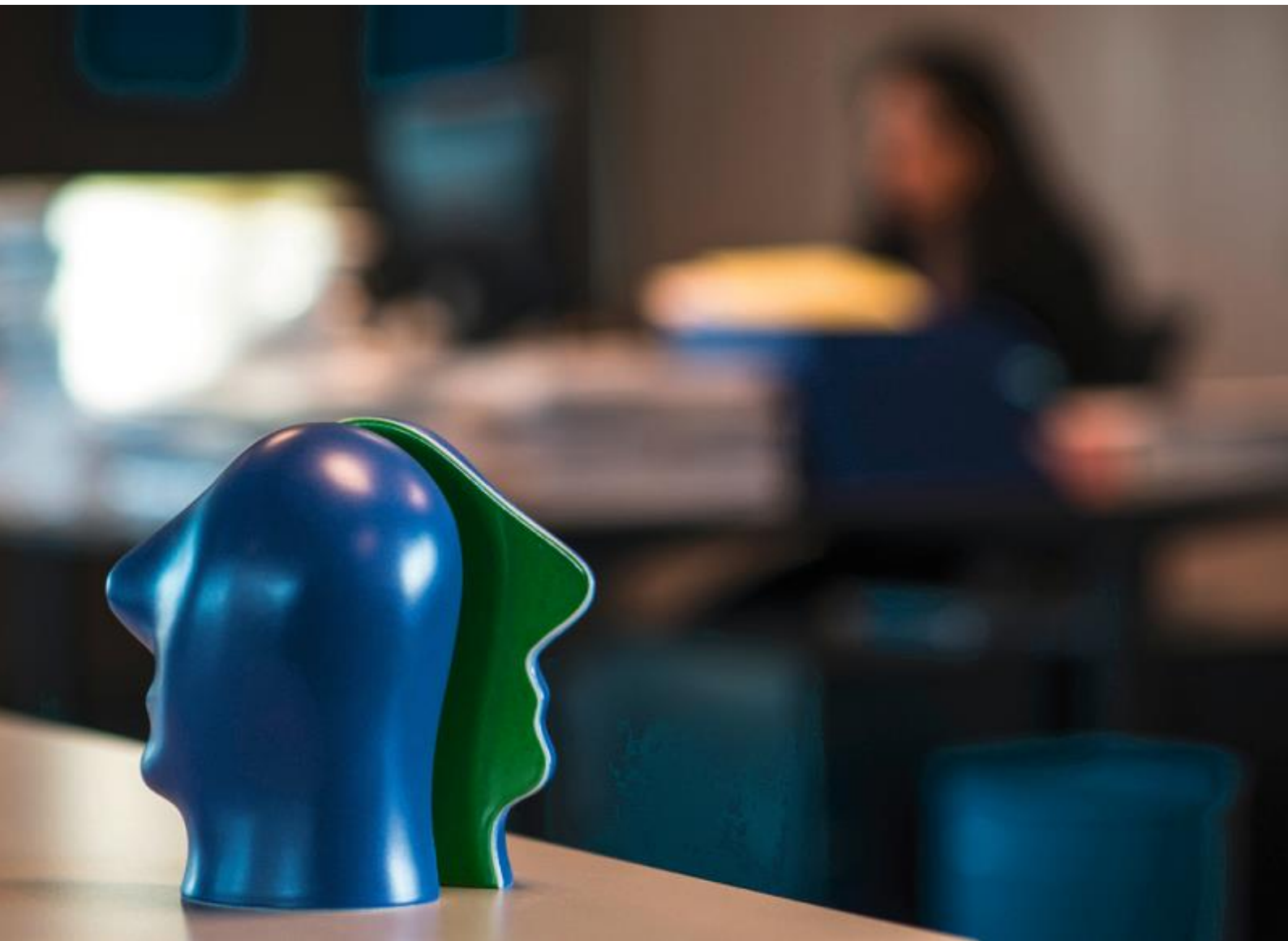




Risico-inventarisatie geothermie

Rapportage

Provincie Gelderland

23 september 2019

Project	Risico-inventarisatie geothermie
Opdrachtgever	Provincie Gelderland
Document	Rapportage
Status	Definitief 04
Datum	23 september 2019
Referentie	113604/19-015.284
Projectcode	113604
Projectleider	mevrouw W.S. de Raadt MSc
Projectdirecteur	mevrouw ir. E. Buter
Auteur(s)	mevrouw T.E. Bosch MSc, mevrouw E.L. Boter MSc
Gecontroleerd door	mevrouw Y.W.L. A'Campo MSc
Goedgekeurd door	mevrouw W.S. de Raadt MSc
Paraaf	
Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Deventer Koningin Julianaplein 10, 12e etage Postbus 85948 2508 CP Den Haag +31 (0)70 370 07 00 www.witteveenbos.com KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INTRODUCTIE	7
1.1	Aanleiding en doel: 2 opgaven in Gelderland	7
1.2	Scope	8
1.3	Inhoud rapportage en leeswijzer	8
2	INTRODUCTIE TOT GEOTHERMIE	9
2.1	Wat is geothermie?	9
2.2	Wet- en regelgeving	10
2.3	Fasen van een geothermieproject	10
2.3.1	Verkennen	10
2.3.2	Opsporen - boren en testen	12
2.3.3	Opsporen - stimuleren (geen standaardprocedure)	13
2.3.4	Winnen	13
2.3.5	Opruimen	14
2.3.6	Referenties	14
3	OVERZICHT RISICO'S VAN GEOTHERMIE	15
3.1	Warmte-uitstraling naar de put omgeving	16
3.1.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	16
3.1.2	Effecten	16
3.1.3	Maatregelen	17
3.1.4	Onzekerheden	17
3.1.5	Referenties	18
3.2	Lekkage van formatiewater, inhibitoren en stimulatievloeistof naar grondwater	18
3.2.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	19
3.2.2	Effecten	19
3.2.3	Maatregelen	20
3.2.4	Onzekerheden	20
3.2.5	Referenties	21
3.3	Lekkage en/of morsen van stoffen aan oppervlak	21
3.3.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	22
3.3.2	Effecten	22
3.3.3	Maatregelen	23
3.3.4	Onzekerheden	23
3.3.5	Referenties	23

3.4	Lekkage afscheidende kleilagen van watervoerend pakket	23
3.4.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	24
3.4.2	Effecten	24
3.4.3	Maatregelen	24
3.4.4	Onzekerheden	25
3.4.5	Referenties	25
3.5	Injectie inhibitoren in reservoir	25
3.5.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	25
3.5.2	Effecten	26
3.5.3	Maatregelen	26
3.5.4	Onzekerheden	26
3.5.5	Referenties	26
3.6	Geïnduceerde seismiteit	26
3.6.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	27
3.6.2	Effecten	29
3.6.3	Maatregelen	29
3.6.4	Onzekerheden	30
3.6.5	Referenties	30
3.7	Blow-out	31
3.7.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	31
3.7.2	Effecten	31
3.7.3	Maatregelen	31
3.7.4	Onzekerheden	32
3.7.5	Referenties	32
3.8	Mee produceren van radioactieve elementen	32
3.8.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	32
3.8.2	Effecten	33
3.8.3	Maatregelen	33
3.8.4	Onzekerheden	33
3.8.5	Referenties	34
3.9	Geluids-, licht en gasemissie	34
3.9.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	34
3.9.2	Effecten	35
3.9.3	Maatregelen	35
3.9.4	Onzekerheden	35
3.9.5	Referenties	35
3.10	Personeel blootgesteld aan onveilige situaties	35
3.10.1	Kans van optreden en maatgevende factoren	36
3.10.2	Effecten	36
3.10.3	Maatregelen	36
3.10.4	Onzekerheden	36
3.10.5	Referenties	37
4	RISICO'S IN DE PROVINCIE GELDERLAND	38
4.1	Ondergrondse activiteit	38
4.2	Omgevingsaspecten	40

4.3	Seismiciteit	42
4.4	Risico's voor (grond)water	42
4.5	Conclusie	43
4.6	Referenties	44

	Laatste pagina	44
--	--------------------------------	----

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
--	-------------------	------------------------

-

INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding en doel: 2 opgaven in Gelderland

Om te voldoen aan de doelen uit het Klimaatakkoord van Parijs, wil de provincie Gelderland in 2050 energieneutraal zijn. Dit betekent dat er in 2030 in de hele provincie geen gas meer gebruikt wordt en in 2050 geen olie meer. De provincie wil een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van de CO₂ uitstoot en het stimuleren van duurzame vormen van energie. Eén van de manieren om aan beide doelen bij te dragen is door geothermie ofwel aardwarmte. Bij aardwarmte wordt warm water uit de diepe ondergrond opgepompt en gebruikt voor de verwarming van huizen, glastuinbouw en industrie.

Om op de middellange termijn (2040) drinkwatervoorziening veilig te stellen zoekt de provincie Gelderland Aanvullende Strategische Voorraden (ASV) grondwater. Een grote bevolkingsgroei, economische groei, klimaatverandering en het steeds intensiever gebruik van de bodem zijn redenen om grondwater te reserveren.

In de ondergrond ziet de provincie Gelderland ontwikkelkansen voor geothermie, maar er is tegelijkertijd ook sprake van uitbreiding en bescherming van de algemene strategische drinkwatervoorraden. De uitdaging ligt bij het komen tot goede afwegingen tussen het veilig en verantwoord benutten van kansen voor het winnen van aardwarmte enerzijds en het ontwikkelen van een passend beschermingsbeleid voor de gebieden die worden aangewezen voor de aanvullende strategische voorraden drinkwater anderzijds.

Het gebrek aan integrale en begrijpelijke impact- en risico informatie over geothermie bemoeilijkt het maken van een goede afweging van risico's en het benutten van kansen. Het technische karakter van beschikbare risicoanalyses maakt dat deze analyses lastig te begrijpen en moeilijk te interpreteren zijn voor beleidsmakers en bestuurlijke beslissers. Ook een integraal beeld van ondergrondse en bovengrondse risico's ontbreekt. Daarom hebben Gedeputeerde Staten aangegeven behoefte te hebben aan een begrijpelijke en integrale risicoanalyse geothermie.

Hiervoor is binnen dit project een set factsheets ontwikkeld. Op één overzichtsfactsheet wordt het principe van geothermie uitgelegd en worden vervolgens de risico's per fase van een geothermie-ontwikkeling aangegeven. In vier thematische factsheets wordt een aantal risico's verder uitgelicht. Voorliggende rapportage dient ter documentatie en ter ondersteuning van de factsheets. De factsheets geven een beknopte samenvatting van de inhoud van het rapport. In het rapport zijn risico's uitgebreider uitgelicht, en is een complete bronvermelding gegeven.

De geothermie risico factsheets zijn niet bedoeld om eigenstandig beleid op te baseren. De factsheets dienen als onderdeel voor discussie in het vraagstuk of en hoe geothermie veilig en verantwoord kan worden toegepast in relatie tot andere onder- en bovengrondse activiteiten. Zij zullen dan ook niet als een zelfstandig document gepresenteerd worden door de provincie Gelderland, maar altijd onderdeel zijn van een rapport of presentatie waarin ook mogelijkheden en kansen van geothermie toegelicht zullen worden.

1.2 Scope

Ontwikkelingen in de geothermie volgen elkaar in hoog tempo op. Dit rapport is gebaseerd op de literatuur die op het moment van schrijven (mei/juni 2019) beschikbaar is. In de rapportage is aangegeven naar welke risico's momenteel nog onderzoeken lopen en bij welke risico's behoefte is naar verder onderzoek om de huidige inzichten aan te scherpen.

De risico inventarisatie beperkt zich tot de ondergrondse en bovengrondse technische aspecten van een geothermiesysteem. De financiële, organisatorische en maatschappelijke risico's zijn niet meegenomen. Hierbij is een risico gedefinieerd als een mogelijke gebeurtenis die schade of verlies kan toebrengen. Vanwege de focus op de regionale ontwikkeling van geothermie zijn voornamelijk rapporten voortkomend uit Nederlandse onderzoeken en ervaringen gebruikt.

1.3 Inhoud rapportage en leeswijzer

Voor u ligt de rapportage van bevindingen met betrekking tot onder- en bovengrondse risico's van geothermie welke ter ondersteuning van de factsheets is opgesteld. Deze rapportage bevat informatie over de kans van optreden, maatgevende factoren, de effecten, mogelijke mitigatie- en compensatiemaatregelen en de nog bestaande onzekerheden. Eerst wordt een introductie gegeven tot geothermie in sectie 2.1, gevolgd door een overzicht van de bestaande wet- en regelgeving in sectie 2.2 en een beschrijving van de verschillende fases van een geothermie ontwikkeling in sectie 2.3. In hoofdstuk 3 worden de geïnventariseerde risico's uitgelegd. Tot slot worden in hoofdstuk 4 een aantal risico's in perspectief gezet tot de regionale aspecten in de provincie Gelderland.

Het concept-rapport is voorgelegd ter review aan experts van de provincie Overijssel, waterschap Vallei en Veluwe, Vitens, DAGO, Platform Geothermie, EBN en TNO. Bij het opstellen van de definitieve versie is zoveel mogelijk tegemoet gekomen aan de diverse eisen en wensen van de experts.

INTRODUCTIE TOT GEOTHERMIE

2.1 Wat is geothermie?

Geothermie of aardwarmte is water in de diepe ondergrond dat op natuurlijke wijze is opgewarmd. Dit warme water kunnen wij bovengronds gebruiken als duurzame warmtebron om tuinbouwkassen, gebouwen, woningen en industrie van warmte te voorzien. Aardwarmte kan op verschillende dieptes gewonnen worden. Conventionele geothermie wordt gewonnen vanaf 500 m diepte. Tot een diepte van 500 m spreken we van bodemenergie, en dieper dan 4.000 m spreken we van ultradiepe geothermie (UDG). In Nederland neemt de temperatuur gemiddeld met 30 °C per kilometer diepte toe, wat betekent dat conventionele geothermie temperaturen kan leveren van 15-120 °C en ultradiepe geothermie temperaturen vanaf ongeveer 120 °C [ref. 1, 2]. In Nederland zijn tot op heden alleen conventionele geothermieprojecten ontwikkeld.

Een standaard geothermiesysteem bestaat uit twee putten (een doublet): een productie- en injectieput. Deze putten bevinden zich aan het oppervlak enkele meters naast elkaar, maar worden schuin geboord waardoor er op diepte een grote afstand (gemiddeld 1,5 tot 2 km) is tussen de putten. Door de productieput wordt het warme water uit de ondergrond omhoog gepompt. Bovengronds stroomt het warme water langs een warmtewisselaar, hier wordt de warmte overgedragen aan het water van het verwarmingssysteem of distributienetwerk van bijvoorbeeld een tuinbouwkas of woonwijk. Het water uit de ondergrond stroomt dus niet door het distributienetwerk. Na de warmteoverdracht wordt het afgekoelde water weer teruggepompt in de ondergrond door de injectieput. Door de grote afstand tussen de productie- en injectieput wordt voorkomen dat het afgekoelde geïnjecteerde water door de productieput omhoog gepompt wordt en er een rendementsverlies plaatsvindt. [ref. 1, 3].

Het doorlaatbare gesteente waaruit aardwarmte wordt geproduceerd heet een reservoir. Voor de productie van geothermie zijn een aantal eigenschappen van het reservoir essentieel. Zo is er niet alleen een hoge temperatuur van het geothermische water nodig, het reservoir moet ook voldoende volume warm water kunnen produceren. Het is daarom van belang dat het geothermisch reservoir voldoende dikte en voldoende doorlaatbaarheid (permeabiliteit) heeft. Als dit niet het geval is, is het een optie om het reservoir te stimuleren. Er bestaan verschillende technieken om de doorlaatbaarheid van het reservoir te vergroten, in sectie 2.3.3 worden deze optionele technieken nader toegelicht. Tot op heden is er nog geen stimulatie toegepast bij Nederlandse geothermieprojecten. Voor ultradiepe geothermie (aardwarmte uit reservoirs dieper dan 4 km) zal dit in de toekomst eventueel nodig zijn, omdat de doorlaatbaarheid van het gesteente op deze dieptes niet altijd voldoende is om aardwarmte te produceren.

Informatie over de eigenschappen van gesteentereservoirs in Nederland is beschikbaar vanwege de vele olie- en gasboringen die in het verleden zijn gedaan. We weten dan ook het meeste van de ondergrond in gebieden waar exploratie naar olie of gas is geweest. De meeste olie en gasboringen reiken over het algemeen echter tot ongeveer 2-3 km diepte, wat betekent dat er niet veel informatie is over de ondergrond voor dieptes onder de 4 km. Verder ontbreekt kennis van de diepe ondergrond in de gebieden waar geen olie- en gaswinning heeft plaatsgevonden. EBN en TNO voeren sinds 2019 de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) [ref. 4] uit, dit is een nationaal onderzoek waarin de structuur van de ondergrond in gebieden waar nog informatie ontbreekt in kaart wordt gebracht. Al deze informatie wordt openbaar gemaakt en kan gebruikt worden om te bepalen of de ondergrond geschikt is voor geothermie winning.

2.2 Wet- en regelgeving

In de Mijnbouwwet zijn alle regels die betrekking hebben op het verantwoord en doelmatig opsporen, winnen en opslaan van delfstoffen, waaronder aardwarmte, vastgelegd. De hoofdelementen van de Mijnbouwwet zijn uitwerkt in het mijnbouwbesluit en de mijnbouwregelingen. Het Mijnbouwbesluit stelt regels vast voor het verkenningsonderzoek, het gebruik van mijnbouwwerken, pijpleidingen en kabels, en voor het winnen en opslaan van stoffen. De Mijnbouwregeling beschrijft hoe vergunningen moeten worden aangevraagd en hoe verkenningsonderzoek plaats moet vinden. Bovendien staan er de regels in voor herkenningstekens, geluids- en lichtbakens, communicatiemiddelen, meteorologische apparatuur, putten en boorgaten, lozingen en gegevensbeheer [ref. 2].

Echter, toezicht, handhaving en beleid in de huidige Mijnbouwwet sluit niet goed aan op de geothermische praktijk, omdat de wetgeving ontworpen is voor olie en gas; een technologie met andere karakteristieken. Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, de bevoegde instantie voor toepassing van de Wet, bereidt op dit moment een wetswijziging van de Mijnbouwwet en bijbehorende regelgeving voor waarin de vergunningverlening wordt aangepast aan de specifieke situatie bij geothermie [ref. 2].

Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is de rijksinspectiedienst die zorgt voor de naleving van wettelijke regels met betrekking tot opsporen, winnen, opslaan en transporteren van delfstoffen. SodM valt onder de verantwoordelijkheid van de minister van Economische Zaken en heeft een rol als adviseur en als toezichthouder. In het in juli 2017 uitgebrachte rapport 'Staat van Sector Geothermie' [ref. 5] constateert SodM diverse verbeterpunten rondom veiligheid, deskundigheid en financiële draagkracht in de geothermiesector. De geothermie branche is zichzelf intensief aan het professionaliseren door kennisuitwisseling en het ontwikkelen van standaarden [ref. 2]. Door DAGO - de branchevereniging van de geothermie sector - wordt gewerkt aan een (nieuwe) Leidraad Putontwerp, waarin functionele ontwerpspecificaties worden vastgelegd voor nieuwe geothermie putten. Daarbij wordt rekening gehouden met de ervaringen tot nu toe en wordt de volledige levenscyclus van de put van aanleg tot abandonnering meegenomen. De Leidraad Putontwerp Geothermie, waarin de uitgangspunten voor het benodigde put specifieke beschermingsniveau en bijbehorende mitigerende maatregelen beschreven zijn, zal als industriestandaard gehanteerd worden bij de aanvraag van nieuwe geothermieprojecten en het bijbehorende vergunningen traject. Bij het tot stand komen van deze Leidraad Putontwerp worden betrokken partijen (stakeholders) geïdentificeerd en actief betrokken.

Niet mijnbouw specifieke zaken vallen onder andere bestaande wetgeving zoals het omgevingsrecht en de wet milieubeheer. Andere wet- en regelgeving die van toepassing kan zijn bij geothermie betreft de Ontgrondingenwet, de Wet inzake de luchtverontreiniging en de Wet geluidhinder.

In de factsheets en rapportage zijn per fase de relevante vergunningen benoemd. Nagaan of de huidige wet- en regelgeving de risico's voldoende afdekt, is omvangrijk en valt buiten de scope van dit project.

2.3 Fasen van een geothermieproject

Een geothermieproject bestaat uit verschillende fasen: verkennen, opsporen (inclusief boren, testen en optioneel stimuleren), winnen en opruimen. Hieronder wordt een systeembeschrijving gegeven van alle fasen. Hier wordt alleen het proces beschreven, de mogelijke risico's die hierbij komen kijken worden beschreven in hoofdstuk 3.

2.3.1 Verkennen

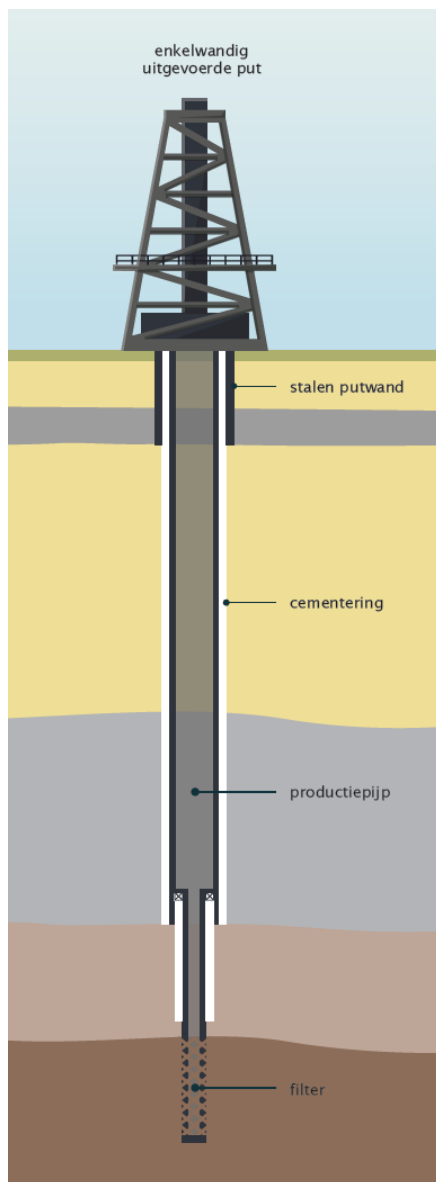
Tijdens de verkenningfase wordt er onderzoek gedaan naar het warmteaanbod van de ondergrond (temperatuur, doorlaatbaarheid en het daaruit volgend vermogen) in een specifiek gebied, en de warmtevraag en infrastructuur bovengronds. Minimaal 4 weken voor de start van een verkenningsonderzoek moet het aardwarmtebedrijf (de initiatiefnemer van het project) informatie geven aan het Staatstoezicht op

de Mijnen (SodM) over welke onderzoeken zullen plaatsvinden en wanneer deze zullen plaatsvinden. SodM is toezichthouder en zorgt voor de naleving van de regels tijdens alle stappen van een geothermieproject [ref. 2].

Geothermie wordt nabij de afnemer gewonnen, omdat er bij het transport warmte verloren gaat. Een eerste haalbaarheidsstudie geeft inzicht in de beschikbare warmte, de gewenste diepte van de put, de kosten van de operatie, de uiteindelijke temperatuur voor de bovengrondse warmtevraag en de bijkomende risico's. Vervolgens wordt er een gedetailleerd geologisch onderzoek opgezet om meer inzicht te krijgen in de onzekerheden in de ondergrond. Dit wordt gedaan door interpretatie van informatie uit putten in de omgeving en seismische data. Seismische data geven een beeld van de diepte en structuur van de aardlagen en locatie van aardbreuken. In Nederland is er al veel seismische data beschikbaar uit eerder onderzoek naar olie of gas. Er kan ook besloten worden om nieuwe seismische data te genereren door middel van seismisch onderzoek. Seismisch onderzoek gebeurt door een methode waarbij trillinggolven de aarde in worden gestuurd en worden weerkaatst door de ondergrondse aardlagen. De weerkaatste signalen worden opgevangen door geofoons. De resulterende seismische data geeft informatie over de diepte en de structuur van de aardlagen. De trillinggolven kunnen op twee manieren geproduceerd worden. Ten eerste kan dit door middel van een vibroseis truck, een vrachtwagen die gedurende een aantal seconden trillingen de grond instuurt. De tweede manier is met behulp van springstof, dat op 10-15 m diepte ontploft en zo trillingen produceert. Wanneer een aardwarmtebedrijf dit seismisch onderzoek op land wil uitvoeren moet er toestemming verkregen worden van de betreffende gemeente en moet een omgevingsvergunning verkregen worden indien dit nodig is. Aanvullend moet in sommige gevallen een ontheffing van de provincie verkregen worden.

Tijdens het seismisch onderzoek kan lichte overlast ondervonden worden door omwonenden. De trillingen aan het oppervlak zijn voelbaar maar zeer beperkt (vergelijkbaar met een vrachtwagen die langs rijdt). Voor onderzoek in natuurgebieden wordt een natuurtoets uitgevoerd en kunnen, indien mogelijk, er mitigerende en compenserende maatregelen genomen om kwetsbare soorten te beschermen. Zo nodig wordt er een ontheffing aangevraagd. De mogelijke risico's van de verkenningfase worden niet behandeld in deze rapportage en de factsheets omdat dit buiten de scope (ondergrondse en bovengrondse aspecten van een geothermie installatie) valt.

2.3.2 Opsporen - boren en testen



Als er binnen het onderzochte gebied een geschikte locatie is gevonden voor aardwarmtewinning, moet een uitgebreid administratief proces doorlopen worden om een put te mogen boren. Hier zijn er onder andere een opsporingsvergunning en omgevingsvergunning voor nodig. Deze vergunningen vraagt het aardwarmtebedrijf aan bij de minister van Economische Zaken en Klimaat en wordt op grond van de Mijnbouwwet verleent. De betreffende provincie geeft advies aan de minister waarbij betreffende gemeente(n) en het waterschap worden betrokken. Als de opsporingsvergunning is verleent moet de operator (de partij die de feitelijke werkzaamheden verricht of daartoe opdrachten verleent) bij SodM een werkplan indienen. Het werkplan geeft een overzicht van de belangrijkste activiteiten die de komende 5 jaar worden voorzien voor het vergunningsgebied [ref. 2].

De boorfase begint met het opbouwen van het boorterrein, dat zo'n 1 tot 1,5 hectare groot is, nabij de locatie van de bovengrondse warmtevraag. Aan de basis wordt een vloeistofdichte vloer aangebracht, zodat eventueel gemorste vloeistoffen niet de grond in kunnen stromen. Met beton wordt een geschikte ondergrond gemaakt om de boortoren op te plaatsen, en het bovenste deel van de put komt in een stevige basis te staan, de zogenaamde putkelder. Vervolgens kan de boortoren worden opgebouwd. Een eerste metalen buis (de conductor) wordt de ondergrond in gedreven/geheid of gespoeld. Aan het oppervlak bevindt deze zich in een cementen bak, waar de boorinstallatie op wordt gezet. De uiteindelijke boortoren wordt zo'n 30 tot 50 m hoog [ref. 2].

Als de boorinstallatie is opgebouwd, kan er worden begonnen met boren. Het boren vindt plaats in verschillende secties. Een eerste boorpijp met onderaan een boorkop wordt de grond in geboord totdat deze helemaal in de grond zit. Vervolgens wordt een nieuw segment aan de boorpijp gezet met een kleinere diameter boorkop en wordt ook deze weer de grond in geboord.

Dit proces wordt herhaald tot de gewenste uiteindelijke diepte van het reservoir bereikt is. Na het boren van elke sectie wordt deze verstevigd door het plaatsen van een stalen casing waarna de ruimte tussen de casing en het gesteente opgevuld wordt met cement. Tijdens het boren wordt er gebruik gemaakt van boorvloeistof, die de boorkop afkoelt. Ook zorgt de boorvloeistof voor het transport van weggeboord gesteente (cuttings) en voor de juiste druk in het boorgat, zodat deze niet instort. Tijdens de boring vinden continu metingen plaats in het boorgat en worden de cuttings die omhoog worden gehaald bestudeerd om te controleren of het boorproces verloopt zoals verwacht en om eventuele risico's te signaleren [ref. 2]. De afbeelding links geeft een schematische weergave van geothermie put.

Als de boring klaar is, wordt het reservoir getest om te kijken of er inderdaad aardwarmtewinning mogelijk is. Tijdens een productietest wordt er gekeken welk volume water uit de put kan worden gepompt en hoe gemakkelijk dit gaat. Als het reservoir over de juiste eigenschappen beschikt, wordt er een injectieput gebouwd volgens hetzelfde principe als de productieput. Tijdens een injectietest wordt er dan gekeken hoe gemakkelijk het water terug het reservoir in stroomt via de injectieput. Als blijkt dat de eigenschappen van het reservoir niet geschikt zijn om aardwarmte te winnen en er geen aanpassingen mogelijk zijn, wordt het project gestopt [ref. 2].

De boorvloeistof die wordt gebruikt tijdens het boren wordt op de boorlocatie opgeslagen en verwerkt, voordat het naar een afvalverwerker gaat. Tijdens de testfase wordt het eerste water uit het geothermisch reservoir nog niet gebruikt voor verwarming. Dit water moet worden opgeslagen in een bassin en, als het later niet wordt terug gebracht, worden afgevoerd.

2.3.3 Opsporen - stimuleren (geen standaardprocedure)

Stimulatie van het geothermie reservoir is geen standaardprocedure maar kan als optie overwogen worden als de productie van warm water tegenvalt door een te lage doorlaatbaarheid van het reservoir. Bij stimulatie wordt de doorlaatbaarheid van een gesteente vergroot en productie verbeterd. Met behulp van deze techniek kan bij geothermie het water makkelijker door het reservoir stromen en kunnen de productie- en injectiehoeveelheden vergroot worden. Bij geothermie in Nederland is stimulatie tot op heden niet toegepast vanwege voldoende natuurlijke doorlaatbaarheid (permeabiliteit) van reservoirs. Ook brengt stimulatie vanwege hoge kosten een lastige businesscase met zich mee. Toekomstige projecten in Nederland voor geothermie zijn gericht op reservoirs die van nature permeabel genoeg zijn en waar stimulatie niet nodig is. Echter, in de regel neemt de reservoirkwaliteit met diepte af door afnemende permeabiliteit. Wanneer in de toekomst warmere en dus diepere reservoirs aangeboord worden voor ultradiepe geothermie is stimuleren mogelijk noodzakelijk om de reservoir permeabiliteit te verhogen.

Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) houdt toezicht op de toepassing van stimulatie. Als een onderneming wil gaan stimuleren, zal SodM de plannen toetsen of het veilig kan worden uitgevoerd en kunnen inspecties uitgevoerd worden tijdens de werkzaamheden [ref. 6]. Er zijn verschillende technieken die kunnen worden toegepast. Welke techniek zal worden gebruikt wordt voornamelijk bepaald door de eigenschappen van het reservoir (zoals diepte/druk, fysische en chemische eigenschappen van het gesteente). Een veel gebruikte techniek is hydraulisch stimuleren. Hierbij wordt een vloeistof onder hoge druk via de put het reservoir ingepompt, waarbij haarscheurtjes in het gesteente ontstaan of bestaande scheurtjes opengaan. Zogeheten proppants (zand of keramische korrels) kunnen aan de vloeistof worden toegevoegd om de scheurtjes open te houden. Alternatief kan chemische stimulatie worden toegepast, waarbij zoutzuur kan worden gebruikt als vloeistof om een deel van het gesteente op te lossen als het geothermisch reservoir uit bijvoorbeeld kalksteen bestaat. Naderhand wordt de gebruikte vloeistof teruggepompt en naar een verwerkingsbedrijf getransporteerd [ref. 1]. Vloeistoffen die bij stimulatie worden gebruikt moeten voldoen aan EU standaarden [ref. 2]. De putten worden opnieuw getest om te bepalen of aardwarmtewinning mogelijk is. Overige stimulatie technieken zijn thermische stimulatie en radial jetting, deze technieken worden echter weinig toegepast en daarom niet behandeld in deze rapportage of de factsheets.

2.3.4 Winnen

Als de boring compleet is en het reservoir de juiste eigenschappen blijkt te hebben voor aardwarmtewinning, zijn er onder andere een winningsvergunning, omgevingsvergunning en goedgekeurd winningsplan nodig om te beginnen met de winning. Een winningsvergunning moet aangevraagd worden bij de minister en bevat onder andere een meer jaren winningsplan. De minister vraagt aan verschillende partijen (bijvoorbeeld SodM en de provincie) advies over de aanvraag en het te nemen besluit. Het geothermieproject verloopt volgens het winningsplan en welke door de minister getoetst is aan de Mijnbouwwet. Bij de aanvraag van de omgevingsvergunning wordt gekeken naar onder andere bouwvereisten, milieueffecten en ruimtelijke inpassing van de activiteit. De provincie en betrokken gemeente(n) hebben hierbij een algemeen adviesrecht [ref. 2].

Tijdens productie wordt er warm water omhoog gepompt (vaak met behulp van een 'electric submersible pump', ESP), wat langs een warmtewisselaar stroomt en zijn warmte afgeeft aan het verwarmingswater dat naar tuinbouwkassen, gebouwen en/of industrie gaat [ref. 2]. Vervolgens wordt het afgekoelde water terug het reservoir ingepompt door de injectieput. De samenstelling van het geothermische water is erg afhankelijk van de locatie door de ondergrondse samenstelling van het gesteente. Het geproduceerde

geothermische water wordt gekarakteriseerd door de hoge temperatuur (gemiddeld zo'n 60-100°C) en kan uiteenlopende concentraties van zouten, opgeloste gassen (zoals CO₂ en methaan), zware metalen en in sommige gevallen licht-radioactieve elementen bevatten. Ook is in de Nederlandse ondergrond op veel locaties gas aanwezig. Tijdens de productie kunnen er kleine hoeveelheden gas worden geproduceerd, die zijn opgelost in het formatiewater. Dit wordt bijvangst genoemd. Het formatiewater wat opgelost gas bevat kan worden teruggepompt of het gas kan worden afgevangen, waarna het wordt verbrand in een gasketel. Hiermee kan het geproduceerde water extra verwarmd worden. In geval van hogere hoeveelheden gas kan dit ook voor een deel de elektriciteitsopwekking voorzien. De hierbij vrijgekomen CO₂ wordt bijvoorbeeld in tuinbouwkassen gebruikt worden voor de versnelde groei van planten.

Een productievergunning voor een geothermieproject wordt meestal afgegeven voor ongeveer 30 jaar. De exacte levensduur van een doublet hangt onder andere af van de ondergrondeigenschappen, de economische ondergrens van de productietemperatuur en de opgelegde operationele condities. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat na meerdere tientallen jaren een afname in prestatie plaatsvindt door een temperatuurafname van het geproduceerde water door instroom van afgekoeld injectiewater. Indien met productie wordt gestopt, zal de geothermielocatie worden opgeruimd.

2.3.5 Opruimen

Als een boorlocatie voor een geothermieproject niet meer gebruikt wordt, moet deze op verantwoorde wijze worden afgesloten en opgeruimd. Hiervoor zijn onder andere een sluitingsplan en werkprogramma sluiting nodig. Uiterlijk een jaar na het staken van de winning dient de operator een sluitingsplan in bij de minister. Na goedkeuring van SodM (Staatstoezicht op de Mijnen) zal het afsluiten van de put plaatsvinden. De wijze van het afsluiten, verwijderen en achteraf testen van de boorgaten is wettelijk geregeld en staat gedetailleerd omschreven in de Mijnbouwwet. Indien een omgevingsvergunning nodig is voor het ontmantelen van de bouwwerken zal deze moeten worden aangevraagd. Hiervoor is de minister ook bevoegd gezag, de gemeente en provincie hebben hierbij een adviesrol [ref. 2].

Bij de afsluiting van de put worden er cementpluggen in de put geplaatst, die een drukdichte barrière vormen. Voor volledige afdichting wordt er aanvullend cement in de put aangebracht. Een aantal meter onder de grond wordt de put afgesloten en afgezaagd. Vervolgens worden de bovengrondse installaties en vloestofdichte vloer verwijderd en worden eventuele bodemverontreinigingen opgeruimd. Het opruimen van een winningslocatie duurt meestal enkele weken en is afgerond zodra de locatie in de oorspronkelijke staat is teruggebracht [ref. 2]. Na de afsluiting van een put wordt nog enige tijd geobserveerd of er beweging van de bodem of lekkages vanuit de put plaatsvinden. Tot 30 jaar na de beëindiging van de winning worden metingen verricht.

2.3.6 Referenties

- 1 Platform Geothermie.
- 2 Hoewerktaardwarmte.nl.
- 3 NLOG.
- 4 EBN.nl/scan.
- 5 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.
- 6 SodM.nl/onderwerpen/fracking.

OVERZICHT RISICO'S VAN GEOTHERMIE

Het resultaat van de inventarisatie van benoemde risico's in de literatuur is een lijst van tien risico's van geothermie, zie tabel 3.1. Deze risico's worden in secties 3.1 tot en met 3.10 besproken.

Tabel 3.1 Overzicht inventarisatie van geothermie risico's. relevant tijdens welke fase en besproken in welke sectie.

	Risico	Fase	Sectie
milieu	warmte-uitstraling naar de put omgeving	winnen	3.1
	lekkage van formatiewater, inhibitoren en stimulatievloeistof naar grondwater	winnen, opsporen (stimuleren), opruimen, winnen	3.2
	lekkage en/of morsen van stoffen aan oppervlak	opsporen - boren en testen, opsporen (stimuleren), winnen, opruimen	3.3
	lekkage afscheidende kleilagen van watervoerend pakket	opsporen - boren en testen	3.4
	injectie inhibitoren in reservoir	winnen	3.5
leefomgeving	geïnduceerde seismiciteit	opsporen - boren en testen, opsporen (stimuleren), winnen	3.6
	blow-out	opsporen - boren en testen	3.7
	mee produceren van radioactieve elementen	winnen	3.8
	geluids-, licht en gasemissie	opsporen - boren en testen, opsporen (stimuleren), opruimen	3.9
arbeidsomstandigheden	personeel blootgesteld aan onveilige situaties	opsporen - boren en testen, opsporen (stimuleren), winnen, opruimen	3.10

Na een korte introductie over het risico zal er verder worden ingegaan op de kans van optreden en maatgevende factoren, mogelijke effecten die een risico met zich mee kan brengen, maatregelen en nog bestaande onzekerheden.

In sectie 3.1 tot en met sectie 3.5 worden de risico's met betrekking op milieu besproken. De risico's van geothermie die invloed hebben op het milieu worden op dit moment onderzocht binnen het GEOENVI project. Dit is een onderzoek gefinancierd door het Horizon 2020 programma van de Europese Unie, en wordt gecoördineerd door de European Geothermal Energy Council (EGEC). In het onderzoek wordt er gekeken naar mogelijke risico's en effecten gedurende de verschillende fasen van een geothermieproject. De eerste resultaten worden verwacht in 2021. In sectie 3.6 tot en met sectie 3.9 worden de risico's met betrekking op leefomgeving besproken. In sectie 3.10 worden de risico's met betrekking op arbeidsomstandigheden besproken.

De volgende thema's worden uitgelicht in vier factsheets vanwege hun relevantie voor provincies en gemeenten:

- seismiciteit;
- putlekkage en morsen aan oppervlak;
- omgevingseffecten en arbeidsveiligheid;
- warmte-uitstraling.

3.1 Warmte-uitstraling naar de put omgeving

Een geothermiesysteem transporteert water dat een hogere temperatuur heeft dan de ondiepe grondlagen. De temperatuur van de putwand zal oplopen en zal door middel van geleiding de warmte afstaan aan de put omgeving [ref. 7]. Warmte-uitstraling nabij diepte putten is niet uniek voor geothermie maar kan ook voorkomen bij (schalie)gas- of oliewinning [ref. 8]. Het zal voornamelijk plaatsvinden rondom de productieput waar het warme water vanuit diepte wordt onttrokken en omhoog wordt gepompt. De temperatuur van het water dat via de injectieput in het reservoir wordt geïnjecteerd is door warmte extractie aan het oppervlak verlaagd, waardoor uitstraling rondom de injectieput minder zal zijn [ref. 9].

Er is tot op heden weinig bekend over warmte-uitstraling bij geothermie putten. Door ontbrekende onderzoeken naar warmte-uitstraling bij geothermie worden de kans van optreden en mogelijke effecten in dit hoofdstuk enkel aan de hand van een beperkt aantal uitgevoerde modelstudies, welke niet zijn gevalideerd met metingen in de praktijk, toegelicht.

3.1.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Warmte-uitstraling vanuit de geothermie put naar de omringende aquifers is aannemelijk. Echter is de mate waarin opwarming bij geothermieputten plaatsvindt onbekend en is dit alleen bestudeerd aan de hand van modelleringen.

De mate van warmte-uitstraling naar de putomgeving is afhankelijk van veel factoren. De snelheid waarmee warmtegeleiding plaatsvindt is afhankelijk van de thermische eigenschappen en de dikte van het materiaal van de putwand. Verder neemt de warmte-uitstraling toe met de tijd. De temperatuur van het productiewater (gerelateerd aan winningsdiepte), de aard van de van aanwezige stoffen in de bodem, de bodemopbouw en de snelheid waarmee het water naar het oppervlak worden getransporteerd bepalen voornamelijk de hoeveelheid warmte die aan de omgeving wordt afgestaan [ref. 10].

De opwarming van het grondwater rondom een geothermie put hangt sterk af van specifieke hydrologische en chemische omstandigheden. De mate waarin opwarming de aquifer indringt is afhankelijk van de eigenschappen van de watervoerende laag, welke lokaal verschillen. Met toenemende afstand van de put neemt de temperatuursverhoging af. Verder zal de aanwezigheid van een achtergrondstroming de temperatuurverhoging door warmte-uitstraling verminderen [ref. 7]. Indien door opwarming dichtheidsverschillen in het grondwater plaatsvinden is de lokale grondwaterstroming een maatgevende factor voor het opdrijven van zout of brak water. Modelstudies laten zien dat de aanwezigheid van een achtergrondstroming verticale menging van zoet en zout (of brak) grondwater sterk kan verminderen.

3.1.2 Effecten

Tot welke temperatuur de bodem en het grondwater nabij geothermie putten worden opgewarmd is nog niet in de praktijk onderzocht en hangt onder andere af van de factoren zoals in 3.1.1 zijn aangegeven. Op basis van modelberekeningen is een grove inschatting gemaakt van de mogelijke warmte-uitstraling bij geothermieputten [ref. 7]. In deze modelstudie laat een referentiescenario met een buitenste putwand van 80 °C en omringend grondwater van 15 °C zien dat warmte-uitstraling zorgt voor langzame opwarming langs de put. Dichtbij de put benadert het grondwater de temperatuur van het verpompte formatiewater.

Afhankelijk van het systeem ligt deze temperatuur bij conventionele geothermie meestal tussen de 70 en 90 °C. Verder van de put neemt de temperatuur snel af, tot onder de 50 °C Celsius binnen enkele meters. De opwarming dringt verder de aquifer in met tijd, waar na 30 jaar temperaturen kunnen oplopen tot boven de 20 °C op 50 m afstand van de put. De nauwkeurigheid van deze modelberekeningen is echter onbekend.

Er zijn nog geen effecten van warmte-uitstraling bij geothermie aangetoond en dus zijn de effecten onbekend. Uit ervaring van andere sectoren is bekend dat opwarming van grondwater vanaf een bepaalde grenswaarde effect heeft op de chemische en microbiologische samenstelling. Zo blijkt bijvoorbeeld uit onderzoek naar de effecten van koude-warmte opslag (WKO) en Hoge Temperatuuropslag (HTO) dat opwarming tot 30 °C de temperatuur een marginale invloed heeft op de samenstelling van het grondwater. Temperaturen boven deze grenswaarden kunnen bij WKO en HTO wel leiden tot verandering van de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater. Echter is het nog niet duidelijk wat de mogelijke gevolgen van deze veranderingen zullen zijn voor het bodem- en watersysteem. In artikel 6.11b van het Waterbesluit is daarom opgenomen dat de temperatuur van het injectiewater bij open WKO (Warmte Koude Opslag) niet hoger mag zijn dan 25 °C. Bij geothermie wordt de temperatuur van het grondwater in de directe omgeving van de putwand wel hoger dan 25 °C [ref. 9], dit gebeurt echter op kleinere schaal. Een belangrijk verschil is dat bij geothermie enkel sprake is van warmte-uitstraling van de put naar de grondwaterlaag in tegenstelling tot open WKO- en HTO-systemen waar warmer water in de grondwaterlaag wordt geïnjecteerd. Bij geothermie wordt verwacht dat mogelijke waterkwaliteitseffecten het grootst zullen zijn dichtbij de put, aangezien hier de sterkste temperatuursverhoging plaatsvindt [ref. 7].

De bestaande modelstudies laten ook zien dat een temperatuursverhoging van het grondwater direct rondom de put kan leiden tot een grondwaterstroming door dichtheidsverschillen. Hierdoor kan grondwater uit verschillende watervoerende pakketten mengen, wat invloed kan hebben op bijvoorbeeld het zoutgehalte of de verplaatsing van verontreinigingen. Echter zijn heersende omstandigheden, zoals de aanwezigheid van een achtergrondstroming, hierbij maatgevend.

3.1.3 Maatregelen

Warmte-uitstraling vanuit de geothermie put is tot nu toe niet te voorkomen. Het toepassen van andere staalsoorten of andere putmaterialen die minder goed warmte geleiden heeft tijdens de lange duur van een geothermieproject waarschijnlijk weinig effect [ref. 7]. Grondwatermonitoring nabij putten kan inzicht geven in het kwantificeren van de opwarming en het detecteren van eventuele effecten. Daarnaast kan het uitvoeren van gedetailleerde modelberekeningen bijdragen aan verdere kennisontwikkeling. Goede kennis van de ondergrond en grondwaterstroming zijn een belangrijke voorwaarde om inzicht te krijgen in mogelijke grondwatereffecten. Zo kan modellering van lokale grondwaterstroming in de ondiepe ondergrond zorgen voor het verbeteren van de voorspelling van mogelijke effecten en op deze manier bijdragen aan doelmatige mitigatie.

3.1.4 Onzekerheden

Er is tot op heden slechts beperkt modelonderzoek gedaan naar warmte-uitstraling bij geothermieputten. De nauwkeurigheid van uitgevoerde modelstudies naar de mogelijke gevolgen is onbekend vanwege de vele lokale variaties in de bodem en ontbrekend inzicht in de relevante processen. Door het ontbreken van validatie staat de uitkomst van deze modellen ter discussie. Er is daardoor geen duidelijkheid over de condities waarin opwarming tot grondwater kwaliteitsveranderingen kan leiden en de mate van deze veranderingen. Ook zijn temperatuurmetingen van het grondwater in de nabijheid van geothermieputten niet beschikbaar.

Gedetailleerde modelstudies, metingen en veldvalidatie missen om de opwarming en de eventueel optredende kwaliteitseffecten te kwantificeren. Door het uitvoeren van veldonderzoek nabij geothermieputten kunnen betrouwbare inzichten opgedaan worden over de mate en effecten van warmte-uitstraling. Onderzoek wijst uit dat reguliere grondwatermonitoring efficiënt en effectief kan, waarbij de

kosten sterk afhankelijk zijn van bijvoorbeeld het dieptebereik, frequentie van monitoring en de te meten factoren. Ook wordt op dit moment door KWR en Witteveen+Bos onderzoek gedaan naar het gebruik van glasvezel technologie voor temperatuur metingen. Hiermee kan in een blinde peilbuis temperatuur gemeten worden met hoge ruimtelijke en temporale frequentie.

Mogelijke waterkwaliteitseffecten die kunnen optreden bij opwarming zijn in onderzoeken voor open WKO-systemen bestudeerd, bijvoorbeeld voor het vrijkomen en mobiliseren van arseen. Op dit moment wordt er onderzoek gedaan naar de effecten van warmte-uitstraling bij HTO binnen HEATSTORE, een Europees onderzoeksproject gefinancierd door GEOTHERMICA. Hier wordt er gekeken naar opwarming bij de warmte opslag pilot Koppert-Cress en de effecten op het milieu, de grondwaterkwaliteit en de microbiologie. De resultaten van dit onderzoek zullen naar verwachting in 2021 bekend worden gemaakt en kunnen bijdragen aan betere inzichten met betrekking opwarming. Echter zijn de resultaten van deze onderzoeken niet direct vertaalbaar naar geothermie. Bij warmte-uitstraling van een geothermiebron is sprake van warmte-uitstraling, met als gevolg opwarming op een kleinere schaal, maar wel naar hogere temperaturen.

3.1.5 Referenties

- 7 BTO Rapport Risico's van Geothermie voor Grondwater, KWR 2016.
- 8 Aanvullend onderzoek naar mogelijke risico's en gevolgen van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland, Witteveen+Bos & Arcadis & Fugro 2013.
- 9 BTO Rapport Grondwatermonitoring bij Geothermieputten, KWR 2017.
- 10 Grondwater, drinkwater en mijnbouw: Achtergronddocument ten behoeve van de Structuurvisie Ondergrond, KWR 2016.
- 11 Impacts of shallow geothermal energy on groundwater quality M. Bonte 2015, Iwa Publishing.

3.2 Lekkage van formatiewater, inhibitoren en stimulatievloeistof naar grondwater

Tijdens geothermiewinning wordt grote hoeveelheden (100-400 m³/uur) formatiewater gedurende een levensduur van circa 30 jaar rondgepompt. Dit formatiewater is zeer warm (60-100 °C bij conventionele geothermie en temperaturen hoger dan 100 °C voor ultradiepe geothermie) en zout (meerdere malen zouter dan zeewater). De verdere samenstelling van het formatie water is afhankelijk van de locatie door de ondergrondse samenstelling van het gesteente. Zo kan het formatiewater uiteenlopende concentraties van opgeloste gassen (zoals CO₂ en methaan), zware metalen en in sommige gevallen kleine concentraties van licht-radioactieve elementen die van nature voorkomen in de ondergrond (ook wel NORM genoemd) bevatten. De eigenschappen van het productiewater (CO₂, stroomsnelheid, temperatuur, zouten) hebben een corroderende werking op de putwand, waardoor deze kan worden aangetast en er mogelijk lekkages kunnen ontstaan. Hierdoor kan op termijn lekkage van formatiewater naar omringende grondlagen en grondwater plaatsvinden. Verder kunnen tijdens geothermiewinning additieven, ook wel inhibitoren, aan het formatiewater worden toegevoegd. Deze stoffen zorgen voor een beschermende werking voor de putwand tegen corrosie door een laagje aan te brengen op het buismateriaal, maar kunnen bij lekkage mogelijk een aanvullend risico vormen [ref. 12].

Putlekkage kan ook plaatsvinden na het verlaten van de geothermie put als productie is gestopt. Tijdens het afsluiten van de put wordt op verschillende dieptes cement in de productieput geïnjecteerd. Na het verlaten van de put vindt geen monitoring meer plaats en is er geen zicht meer op de ontwikkeling van de putconditie. Hierdoor vormt de integriteit van verlaten putten een mogelijk risico indien afsluiting niet op de juiste wijze heeft plaatsgevonden, door corrosie en aantasting van cementering [ref. 15].

Indien een put wordt gestimuleerd bestaat het risico dat tijdens stimulatie de stimulatievloeistof naar het grondwater lekt als de put is of wordt aangetast. De hoge druk waaronder de stimulatievloeistof het reservoir in wordt gepompt kan leiden tot schade aan de put met lekkage van stimulatievloeistof als gevolg.

3.2.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Putlekkage bij geothermie is nog niet gedetecteerd. Wanddiktemetingen van geothermieputten uitgevoerd in 2016 lieten zien dat de wanddikte van een tweetal productieputten door corrosie en erosie onverwacht snel was afgenomen, waardoor reparatie uitgevoerd moest worden. Dergelijke gebreken blijken voornamelijk aanwezig bij eerste generatie geothermieputten, door verkeerde materiaalkeuze en gebrek aan maatregelen zoals het toepassen van corrosie inhibitoren [ref. 19, 20]. De geothermiesector is inmiddels proactiever in corrosie preventie en detectie.

De kans op lekkage van de productieput en injectieput tijdens productie zijn verschillend. De kans op corrosie is groter in de productieput vanwege de omstandigheden (voornamelijk de hogere temperatuur) die hier heersen. Desondanks zorgt afpompings voor een lagere druk in de put ten opzichte van de putomgeving, waardoor de kans op lekkage van de put naar de omgeving kleiner is. De omstandigheden in de injectieput leiden tot een minder hoge kans op corrosie, maar het onder druk injecteren van het formatiewater zorgt voor een groter drukverschil met de omgeving en zodoende voor een negatieve impact na het mogelijk optreden van lekkages [ref. 16].

De kans op lekkage van stimulatievloeistof bij putlekkage is klein. In Nederland zijn in totaal 252 olie- of gasputten gestimuleerd. Uit inventarisatie van SodM volgt dat bij al deze stimulatie operaties (zowel hydraulische als chemische stimulatie) voor zover bekend geen nadelige consequenties voor mens en milieu hebben voorgedaan [ref. 17].

De omstandigheden die invloed hebben op het optreden van corrosie zijn grotendeels reservoir- en diepte afhankelijk, met als belangrijkste factoren de water- en gassamenstelling (CO_2 , O_2 en H_2S concentraties), temperatuur en de druk [ref. 18]. In de reservoirs die momenteel gebruikt worden voor geothermie in Nederland is CO_2 het belangrijkste corrosieve element, vanwege de variabele maar relatief hoge aanwezige CO_2 concentraties in het formatiewater. Zuurstof en waterstofsulfide zijn in principe afwezig [ref. 21, 22]. Verder zijn, voor zowel voor een producerende als een verlaten put, de conditie van de putwand en het gebruikte casing materiaal van invloed voor het optreden van lekkage. Zo kunnen onzorgvuldige werkzaamheden tijdens putconstructie, de verkeerde materiaalkeuze en het onzorgvuldig opruimen van de put na productiestop de conditie van de putwand beïnvloeden [ref. 14]. In tegenstelling tot olie- en gasputten zijn bij geothermieputten voornamelijk constructies toegepast die uit een enkele putwand bestaan. Het ontbreken van meerwandige constructies verhoogt de kans op (onopgemerkte) lekkage naar grondwater door het ontbreken van extra barrières. Gebrek aan monitoring en reguliere controles kan leiden tot relatief grote lekverliezen door het te laat opmerken van lekkages.

3.2.2 Effecten

De verspreiding en effecten van lekkage van formatiewater naar de omgeving zijn onbekend en zijn enkel bestudeerd aan de hand van enkele modelstudies. Deze zijn zeer afhankelijk van lokale omstandigheden. Ook de impact van putlekkage kan verschillen. Kleine lekkages hebben over het algemeen een relatief kleine impact, maar bij onopgemerkte lekkage van de injectieput kunnen door een groot drukverschil grotere verliezen plaatsvinden.

Bij putlekkage vormt de afwijkende samenstelling van het formatiewater een potentieel risico voor de grondwaterkwaliteit van ondiepe watervoerende lagen. Niet alleen de zoutconcentratie, maar ook concentraties van andere elementen (zoals lood, ijzer en ammonium) zijn relatief hoog ten opzichte van concentraties in ondiep grondwater en concentraties opgenomen in de Drinkwaternorm. Verder zijn er aannemelijke effecten van inhibitoren op de biologische groei [ref. 12]. Indien stimulatievloeistof naar grondwater lekt kan dit nadelige gevolgen hebben voor het grondwater.

3.2.3 Maatregelen

Het meest kritische gedeelte voor het voorkomen van schade in een geothermie put is de eerste 250 m, aangezien tot ongeveer deze diepte zich de grondwaterlagen bevinden [ref. 13]. Het gebruik van corrosiebestendiger materiaal en het doelmatig gebruik van corrosie-inhibitoren zorgt voor een verminderde kans op lekkage. Het toedienen van corrosie-inhibitoren in geothermiesystemen in Nederland blijkt effectief in het verminderen van de corrosiesnelheid en scaling (neerslag). Inhibitoren zorgen voor een beschermende werking voor de putwand tegen corrosie door een laagje aan te brengen op het buismateriaal, waardoor het afgeschermd wordt van het corrosieve water. De werking van inhibitoren staat in meer detail omschreven in 3.5. Ook kunnen andere, duurdere, materialen overwogen worden zoals andere staalsoorten en composiet, wat bestaat uit glasvezel en hars [ref. 16].

De kans op putlekkage kan verder verkleind worden door meerwandige putconstructies te gebruiken over de gehele diepte waarin grondwaterlagen zich bevinden. Dit vergroot de putintegriteit doordat er extra barrières voor eventuele lekkage ontstaan [ref. 15]. Verder biedt dit de mogelijkheid om drukmonitoring uit te voeren in de ruimte tussen de casings om lekkage te signaleren [ref. 23]. Momenteel wordt er in de regelgeving en de geothermie markt gestuurd naar meerwandige constructies en worden veel nieuwe projecten inmiddels meerwandig uitgevoerd. Signalering van corrosie door middel van wanddiktemetingen bij geothermieputten kan zorgen voor vroegtijdige signalering van integriteitsverlies. Wanddiktemetingen zijn verplicht om één keer in de 5 jaar uit te voeren en worden over het algemeen frequenter gedaan. Verder zorgt de zorgvuldige wijze van afsluiten van een verlaten geothermie put en rigide regelgeving voor een zeer laag risico voor grondwater boven de geohydrologische basis.

Grondwatermonitoring bij geothermieputten in Nederland is nog niet vormgegeven maar kan haalbaar en effectief [ref. 13]. Momenteel wordt de praktische haalbaarheid, de doelmatigheid en effectiviteit van grondwatermonitoring bij geothermieputten onderzocht binnen de Kennisagenda Aardwarmte. Als verontreiniging van het grondwater plaatsvindt, dan kan schermbeleming en afdichten van de injectieput verdere verspreiding van de verontreiniging voorkomen.

Om lekkage tijdens stimulatie te voorkomen wordt tijdens de voorbereiding door middel van berekeningen vastgesteld of de buis waardoor de stimulatievloeistof wordt gepompt, de casing en het omringende cement voldoende sterk zijn om verwachte drukken en temperaturen tijdens de stimulatie te weerstaan. Om de veiligheid te garanderen is de ontwerpnorm is dat de sterkte 30 % boven faalsterkte moet liggen. Op basis van deze berekeningen worden maximaal toelaatbare drukken en temperaturen vastgesteld. Tijdens de stimulatie worden op de pompen elektronische en mechanische veiligheidsinstellingen ingesteld om te voorkomen dat de maximaal toegestane waarden worden overschreden. Zowel voor als na uitvoering van de stimulatie worden er diverse controles (drukmetingen, cement inspectie) uitgevoerd om de integriteit van de put te controleren.

3.2.4 Onzekerheden

Enkele generieke modelsimulaties zijn uitgevoerd waarmee een schatting van de omvang en vorm van het beïnvloedingsgebied bij opgetreden lekkage is gedaan en ondergrondse zoet/zout interacties zijn onderzocht. Echter, veldstudies ontbreken en een eenduidige bepaling van de verspreiding, menging en het effect van het gelekte formatiewater ontbreekt vanwege vele beïnvloedingsfactoren. Ook het precieze effect van inhibitoren op de ecologie van het grondwater is onbekend [ref. 12].

Om eventuele lekkages waar te nemen is effectieve en doelmatige grondwatermonitoring belangrijk. Echter, om te komen tot een goed monitoringsontwerp is aanvullend inzicht in de verspreiding van formatiewater in de grondwaterlaag nodig. Om hier duidelijkere uitspraken over te doen is een grondwatermonitoring pilot bij een geothermiebron nodig op een locatie waar goed inzicht is in de grondwaterstroming. De implementatie van monitoring in de praktijk, bijbehorende kosten en de voordelen worden nog verder uitgewerkt [ref. 24]. Het risico op verontreiniging van drinkwatervoorraden bij lekkage wordt verder

geminimaliseerd door het instellen van boringvrije zones rondom waterwinningen voor grondwaterbescherming.

Verder ontbreekt een duidelijke norm vanuit de toezichthouder met betrekking tot het materiaal voor geothermieputten. Door het gebrek aan duidelijke richtlijnen is de staalkeuze vaak een afweging tussen investeringskosten [ref. 16]. Aanbevelingen en innovaties met betrekking tot corrosie, putontwerp, monitoring en materiaalkeuze zijn beschikbaar en onderzoeken naar de inzet van alternatieve materialen als casing (onder andere composiet) zijn gedaan [ref. 21, 22, 24, 25]. Deze onderwerpen krijgen steeds meer aandacht in de geothermie sector. Ook ontbreekt inzicht in de putintegriteit van verlaten geothermieputten [ref. 15].

3.2.5 Referenties

- 12 Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie, Witteveen+Bos 2019.
- 13 BTO Rapport Grondwatermonitoring bij Geothermieputten, KWR 2017.
- 14 Grondwater, drinkwater en mijnbouw: Achtergronddocument ten behoeve van de Structuurvisie Ondergrond, KWR 2016.
- 15 Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen, RIVM 2019.
- 16 BTO Rapport Risico's van Geothermie voor Grondwater, KWR 2016.
- 17 Inventarisatie aantoonbare effecten voor mens en milieu als gevolg van historische conventionele frackoperaties, TNO 2018.
- 18 Corrosion in Dutch geothermal systems, TNO 2016.
- 19 Jaarverslag 2016 SodM.
- 20 Jaarverslag 2017 SodM.
- 21 Geothermal well integrity study, Wood Group WG Intetech & WEP & BakerRisk 2018.
- 22 Corrosion Review and Materials Selection for Geothermal Wells, Wood Group 2017.
- 23 De integriteit van onshore putten in Nederland, 2019, SodM.
- 24 Grondwatermonitoring bij Geothermiesystemen, Witteveen+Bos & KWR.
- 25 Optimal choice of Well Materials, Spidron 2016.

3.3 Lekkage en/of morsen van stoffen aan oppervlak

Tijdens een geothermieproject worden een groot aantal aan verschillende (vloeï)stoffen gebruikt die op een boorlocatie worden opgeslagen en getransporteerd worden. De belangrijkste stoffen zijn boorvloeistof, testwater, eventuele stimulatievloeistof en additieven (inhibitoren).

Boorvloeistof

Tijdens het boren van een geothermie put wordt gebruik gemaakt van een boorvloeistof op basis van water of op basis van olie of een aromaat arme synthetische vloeistof. Een boorvloeistof heeft meerdere belangrijke functies, zoals de afvoer van boorgruis bij de boorkop en naar maaiveld, het koelen en smeren van de boorkop en het geven van tegendruk tegen in de doorboorde formaties heersende drukken. Verder zorgt de samenstelling van de boorvloeistof voor een afdichtende laag op de boorgatwand [ref. 26].

Testwater

Tijdens de opstartfase van een doublet komen grote hoeveelheden formatiewater vrij bij het ontwikkelen en testen van de productieput (3.000-5.000 m³ per put). Dit formatiewater kan nog niet benut worden voor warmtewinning, omdat er nog geen installaties zijn gebouwd voor de onttrekking van warmte uit het water, en wordt testwater genoemd. Het testwater moet worden opgevangen, verwerkt en eventueel afgevoerd. Door lange aanvraagprocedures voor bijvoorbeeld lozing kan het voorkomen dat grote hoeveelheden testwater tijdelijk opgeslagen moeten worden.

Stimulatievloeistof

Stimulatie is geen standaardprocedure maar kan als optie overwogen worden als de productie van warm water tegenvalt. Er zijn verschillende manieren om een reservoir te stimuleren, waarbij de meest voorkomende manier hydraulisch stimuleren is. Tijdens hydraulisch stimuleren wordt een vloeistof bestaande uit water (>98-99,5 %), eventueel 'proppants' (zand of keramische korrels om de gecreëerde scheurtjes open te houden) en verdere hulpstoffen zoals corrosieremmers en stoffen om aanslag te voorkomen gebruikt. Het recept voor stimulatievloeistof varieert per project.

Inhibitoren

Ten slotte kunnen tijdens productie additieven, zogenaamde inhibitoren, toegevoegd worden aan het formatiewater om corrosie tegen te gaan of neerslag te voorkomen. Inhibitor is een mix van verschillende bestanddelen (verder toegelicht in 3.5) waarvan de samenstelling kan verschillen per toepassing.

Al bovenstaande genoemde vloeistoffen worden bijvoorbeeld behandeld, opgeslagen op de boorlocatie en worden van en naar de boorlocatie getransporteerd. Dit gebruik van vloeistoffen zorgt voor een risico op morsen en op lekkage vanuit maaiveld.

3.3.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

De kans van optreden voor het lekken van vloeistoffen aan het maaiveld is over het algemeen zeer beperkt door genomen maatregelen in de sector. Er is één incident in de geothermiesector bekend uit 2010 van het weglekken van boorvloeistof aan maaiveld [ref. 27]. Ook heeft opslag van testwater heeft de afgelopen jaren voor enige incidenten gezorgd, nog zonder lekkage tot gevolg, waarbij SodM handhavend heeft moeten optreden. Er zijn projecten waarbij testwater na opslag snel en adequaat is afgevoerd, maar er zijn ook projecten waarbij het niet tijdig aanwezig zijn van een lozingsvergunning heeft geleid tot langdurig opslag van testwater op locatie. Intussen worden aan dit opslag extra eisen gesteld [ref. 29, 30]. Beschikbare gegevens over andere mijnbouwincidenten vanaf 1994 geven geen aanwijzingen voor verontreiniging van ondiep grondwater of bodem door stimulatievloeistof [ref. 31].

Vermorsingen aan het maaiveld kunnen voornamelijk ontstaan door schade aan opslagtanks of door overstort bij een tekort aan opslagcapaciteit, en tijdens transport. Verder kan onzorgvuldige opslag met onvoldoende beheersmaatregelen van vloeistoffen aan het maaiveld een uitloogrisico vormen. Dit kan voornamelijk veroorzaakt worden door technisch of menselijk falen. Of een incident risico's oplevert voor het grondwater is afhankelijk van de vloeistof samenstelling (type verontreiniging), van de grootte en van de duur van de lekkage [ref. 32]. De mate van verontreiniging door boorvloeistof hangt af van het type gebruikte vloeistof, waarbij op basis van water, lucht of aromaat-arme synthetische olie minder schadelijk is dan boorvloeistof op basis van olie [ref. 26]. Verontreiniging door lekkage van testwater is voornamelijk afhankelijk van het verschil in samenstelling met het ondiepe grondwater door bijvoorbeeld hoge concentraties zout of (kleine) hoeveelheden zware metalen. Ook de concentraties en schadelijkheid van stimulatievloeistof hulpstoffen of corrosie-inhibitoren bepalen de mate van verontreiniging.

3.3.2 Effecten

Lekkage aan het maaiveld van (vloeistof)stoffen die gebruikt worden tijdens een geothermieproject kan leiden tot verontreiniging van bodem en ondiep grondwater wanneer vloeistoffen vervuilende bestanddelen, zoals chemicaliën en olie, bevatten die mogelijk schadelijke gevolgen kunnen hebben voor het milieu [ref. 27]. Hulpstoffen voor stimulatievloeistof worden in hoge concentraties aangevoerd en op locatie met water en eventueel proppant gemengd tot het eindproduct. Sommigen van deze hulpstoffen kunnen, in hoge concentraties, schadelijk zijn [ref. 28]. Verder vormt de lekkage van testwater met een andere samenstelling dan het ondiepe grondwater een risico.

3.3.3 Maatregelen

SodM is toezichthouder voor veilige en goede opslag en lozing bij geothermieprojecten. Het risico op morsen aan maaiveld wordt in Nederland goed voorkomen door het standaard aanleggen van bodembeschermende voorzieningen, zoals vloeistofdichte vloeren en milieugoten. Opslag van boorvloeistof vindt plaats in afgesloten tanks die de kans op lekkages en morsen sterk verkleinen. Op de boorlocatie wordt opgeboord materiaal gescheiden van de boorvloeistof en in gesloten containers afgevoerd naar een gespecialiseerde afvalverwerker. Bij transport van boorvloeistof wordt gebruik gemaakt van gecompartmenteerde tankwagens en is er wetgeving met betrekking tot wegtransport. Om beter inzicht te krijgen in de effectiviteit van de bodembeschermende voorzieningen kan aanvullend grondwatermonitoring plaatsvinden.

Naast maatregelen om lekkage en morsen te voorkomen kan er overwogen worden om vloeistoffen met minder schadelijke componenten te gebruiken. Zo kan in plaats van een boorvloeistof op basis van olie, gebruik gemaakt worden van niet-verontreinigende boorvloeistof op basis van water of aromaat-arme synthetische olie welke minder schadelijk is voor milieu. Echter is dit niet altijd mogelijk, vanwege de benodigde eigenschappen van de verschillende componenten en additieven bij het boren.

3.3.4 Onzekerheden

Sinds een aantal jaar worden er extra eisen gesteld aan bijvoorbeeld de opslag van testwater en is er meer ervaring in de sector waardoor betere keuzes gemaakt kunnen worden met betrekking tot het omgaan met vloeistoffen. Aanvullend worden onderzoeken uitgevoerd naar het verantwoord gebruik van mijnbouwhulpstoffen in de geothermie [ref. 34]. Ook zijn er alternatieven onderzocht voor de verwerking van testwater, zoals verdamping en herinfiltreren in de eigen injectieput [ref. 35]. Onder welke voorwaarden alternatieve technieken kunnen worden toegepast is niet duidelijk. Verder onderzoek naar de verwerking van testwater en oplossingen om hier mee om te gaan is lopend [ref. 36]. Ook de impact van een lekkage op het grondwater (zoals het effect van inhibitoren op de ecologie van het grondwater) en de wijze waarop formatiewater zich na lekkage verplaatst en vermengt met het grondwater zijn onbekend [ref. 30, 33].

3.3.5 Referenties

- 26 Quickscan risico's verschillende boor- en winningstechnieken, KWR 2012.
- 27 BTO Rapport Risico's van Geothermie voor Grondwater, KWR 2016.
- 28 Aanvullend onderzoek naar mogelijke risico's en gevolgen van de opsporing en winning van schalie en steenkoolgas in Nederland, Witteveen+Bos & Arcadis & Fugro 2013.
- 29 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.
- 30 Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen, RIVM 2019.
- 31 Inventarisatie aantoonbare effecten voor mens en milieu als gevolg van historische conventionele frackoperaties, TNO 2018.
- 32 Verkenning effecten en risico's van geothermie in Hanzeland-Zwolle voor de drinkwatervoorziening, provincie Overijssel 2016.
- 33 Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie, Witteveen+Bos 2019.
- 34 Verantwoord gebruik van mijnbouwhulpstoffen, Jongerius consult (nog lopend).
- 35 Verwerking van testwater bij Geothermie-projecten, IF Technology bv 2016.
- 36 Reductie kosten en impact van testwater bij aardwarmte boringen, Royal HaskoningDHV (nog lopend).

3.4 Lekkage afscheidende kleilagen van watervoerend pakket

Tijdens het boren van een geothermie put worden, net als bij het boren van drinkwater-, olie- en gasputten en WKO-systemen, verschillende (ondiepe) kleilagen doorboord. Deze kleilagen kunnen functioneren als

afsluitende en beschermende lagen voor grondwatervoorraden in watervoerende pakketten [ref. 37]. Bij onvoldoende afdichting tijdens het boren van scheidende lagen rondom de put kan lekkage van deze kleilagen plaatsvinden en kan zodoende de bescherming van grondwatervoorraden wegvallen. Door opwaartse stroming langs de buitenkant van de putwand kan zout water mengen met zoet water. Deze opwaartse stroming kan ontstaan daar waar de waterdruk meer toeneemt met de diepte dan de normale hydrostatische druk, zoals bijvoorbeeld in de zone onder een grondwateronttrekking [ref. 38].

3.4.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Er bestaat consensus over het feit dat de kans op lekkage van afscheidende kleilagen klein is bij zorgvuldige werkzaamheden en een goede afdichting van scheidende lagen. De (veiligheid)eisen waaraan een diepe boring moet voldoen zijn vastgelegd in de Mijnbouwwet en zijn hetzelfde als bij boringen naar olie en gas. Hierbij zijn de mogelijke risico's bij de boringen vergelijkbaar zoals bij conventionele olie- en gasboringen [ref. 39].

De voornaamste factor die invloed heeft op het optreden van lekkage van afscheidende kleilagen is dan ook de mate van zorgvuldigheid waarmee tijdens het boren en afdichten van de kleilagen gewerkt wordt. Dit is afhankelijk van de toegepaste boormethode. Indien een conductor wordt ingeheid tot onder de kleilagen zal goede afdichting van de afscheidende lagen plaatsvinden. Als de conductor niet tot aan deze kleilagen reikt, zal cementering van de eerste geplaatste casing plaatsvinden om de put af te dichten van de omgeving en voor versteviging. Goede cementering is belangrijk voor de integriteit van diepe putten, waarbij slechte cementering kan leiden tot lekkages langs grensvlakken tussen het cement en de casing of tussen het cement en het gesteente.

Aanvullend is de identificatie van scheidende lagen een belangrijke factor voor goede afdichting, waarbij goede identificatie afhankelijk is van de gebruikte boormethode [ref. 39]. Bij het ontbreken van een goede boorbeschrijving kunnen de exacte diepte en dikte van aanwezige scheidende lagen niet worden vastgesteld, wat afdichting bemoeilijkt. Ook kan het deels invallen van de boorgatwand tijdens boren een risico vormen voor het bemoeilijk afdichten van doorboorde scheidende lagen.

3.4.2 Effecten

Lekkage van scheidende lagen voor grondwatervoorraden kan zorgen voor ongewenste effecten zoals menging van water uit verschillende watervoerende pakketten en migratie van ongewenste stoffen door drukgradiënten of dichtheidsverschillen [ref. 37]. De verspreiding van eventuele verontreinigingen en de mogelijke menging van zoet en zout water kunnen een potentieel risico vormen voor drinkwatervoorraden.

3.4.3 Maatregelen

Maatregelen om lekkage van afscheidende kleilagen te voorkomen hebben voornamelijk betrekking op het zorgvuldig uitvoeren van de boorwerkzaamheden. Door het gebruik van een boormethode waarbij een gedetailleerde boorbeschrijving gemaakt kan worden, kunnen scheidende lagen goed geïdentificeerd worden waardoor goede afdichting plaats kan vinden. Zo wordt voor bovenste, losse ondergrondlagen gebruik gemaakt van zuigboringen waarbij een tamelijke goede boorbeschrijving gemaakt kan worden. Indien voor de bovenste tientallen meters een conductor is gebruikt, zal er goede aansluiting zijn op doorboorde kleilagen. Indien er geen gebruik wordt gemaakt van een conductor wordt de kwaliteit van de afdichting van scheidende lagen begunstigd door goede cementering rondom de casing [ref. 39]. De kwaliteit en aanwezigheid van het afdichtende cement kan worden gecheckt met een cementlog. Het risico op verontreiniging van drinkwatervoorraden bij lekkage wordt verder geminimaliseerd door het instellen van boringsvrije zones rondom waterwinningen voor grondwaterbescherming.

3.4.4 Onzekerheden

Er is veel boor expertise opgedaan in de olie- en gaswinning, de drinkwatersector en tijdens de aanleg van WKO-systemen. De (veiligheids)eisen waaraan een diepe geothermieboring moet voldoen zijn in principe hetzelfde als die voor olie en gas en zijn vastgelegd in de mijnbouwregelgeving. Voor inzicht in eventuele verspreiding van ongewenste stoffen en de menging van ondergronds zoet en zout water kunnen modelsimulaties worden uitgevoerd.

3.4.5 Referenties

37 BTO Rapport Grondwatermonitoring bij Geothermieputten, KWR 2017.

38 Richtlijn aanvullende maatregelen geothermie Brabant, RHDHV 2019.

39 BTO Rapport Risico's van Geothermie voor Grondwater, KWR 2016.

3.5 Injectie inhibitoren in reservoir

Om corrosie en neerslag (scaling) van de putwand af te remmen kunnen additieven, inhibitoren genoemd, worden toegevoegd aan het formatiewater [ref. 40]. Inhibitoren gebruikt bij Nederlandse geothermieputten vallen in de categorie van synthetische gemengde inhibitoren en bestaan uit een grote hoeveelheid componenten. De inhibitor wordt zowel vlak boven de screensectie in de productieput als in de productieput vlakbij de pomp toegevoegd, in kleine concentraties tussen de 4 -15 ppm (parts per million). Het vormt een laagje op de binnenkant van de putwand waardoor het afgeschermd wordt van het corrosieve water. Deze filmvormende werking is het resultaat van twee eigenschappen waar inhibitoren componenten over beschikken: een polaire kop en een lange apolaire staart. De polaire (hydrofiele) kop hecht beter aan het buismateriaal dan het aanwezige water, waardoor het water wordt vervangen door de inhibitor. De apolaire (hydrofobe) staart wijst in tegengestelde richting en houdt het water weg van het buismateriaal.

Het toevoegen van inhibitoren aan formatiewater heeft door bescherming van de put een positief effect op het behoudt van putintegriteit. Bij de eerste geothermieprojecten in Nederland werd er niet overal inhibitor gebruikt, waardoor na een aantal jaren reparaties uitgevoerd moesten worden vanwege het optreden van corrosie. Indirect bewijs suggereert dat het continu toepassen van inhibitoren door de geothermie sector in Nederland een positief effect heeft op het behoudt van putintegriteit, door de remming van corroderende processen. Het bovengrondse geothermiesysteem bevat filters voor en na de warmtewisselaars, onder andere voor het afvangen van inhibitor. Desondanks wordt er inhibitor gedetecteerd bij de warmtewisselaars, wat laat zien dat niet alle inhibitor wordt afgevangen door de filters. Hoeveel inhibitor er bovengronds aanwezig is, bovengronds wordt afgevangen en hoeveel zich hecht aan het bovengrondse buismateriaal is niet bekend. Hierdoor is het onbekend, maar wel mogelijk, dat geproduceerde formatiewater met inhibitor via de injectieput terug wordt geïnjecteerd het reservoir in [ref. 41].

3.5.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Een inschatting van de kans op de injectie van formatiewater met concentraties inhibitor in het reservoir is onzeker. Dit is vanwege ontbrekende kennis over de aanwezigheid en de mogelijke concentraties inhibitor in de injectieput. Er bestaat discussie over de kans op injectie van inhibitoren in het reservoir. Ook maatgevende factoren voor inhibitor injectie zijn niet eenduidig vast te stellen.

De initiële toegevoegde concentratie van de inhibitor en de mate van filtratie in het bovengrondse systeem zullen van invloed zijn op de aanwezigheid en concentratie inhibitor in de injectieput en het reservoir. Verder zullen de inhibitor componenten, de samenstelling van het formatiewater en reservoir en de geothermische condities van invloed zijn op de afbraak van inhibitor componenten.

3.5.2 Effecten

Indien injectie van formatiewater met concentraties inhibitor plaatsvindt, leidt dit tot een verspreiding van concentraties inhibitor in het geothermiereservoir. Door ontbrekende kennis en vele onzekerheden kan er geen conclusie worden getrokken over de mogelijke milieu effecten. De meerderheid van de inhibitor bestanddelen zijn biologisch afbreekbaar voor >70 % in 28 dagen onder zuurstofrijke condities, een aantal bestanddelen zijn slecht afbreekbaar. Of deze afbreekbaarheid vergelijkbaar is in het reservoir onder zuurstofarme geothermische condities is onbekend, vanwege onvoldoende kennis over de biologie en chemische eigenschappen van het geothermiereservoir onder de aanwezige condities. Ook de eventuele schadelijkheid van inhibitor is niet eenduidig aangezien bestanddelen in variërende concentraties aanwezig zijn en de samenstelling kan verschillen. Wel laat generieke geohydrologische modellering zien dat de geïnjecteerde inhibitor in het reservoir de productieput niet bereikt en hier geen effect op heeft [ref. 41].

3.5.3 Maatregelen

Maatregelen betreffende inhibitoren injectie hebben voornamelijk betrekking op het verkrijgen van kennis over de concentraties en impact van inhibitoren. Aan de hand van verkregen informatie door onder andere monitoring kunnen inhibitor mengsel worden aangepast om schadelijkheid te verminderen, biologische afbreekbaarheid te verhogen en juiste concentraties te gebruiken voor het effectief bestrijden van corrosie. Ook worden steeds vaker afbreekbare inhibitoren toegepast.

3.5.4 Onzekerheden

Leveranciers selecteren de juiste inhibitor aan de hand van ervaring vanuit de olie en gasindustrie en laboratoriumtesten waar corrosie wordt gesimuleerd. De biologische afbreekbaarheid van bestanddelen onder zuurstofrijke condities is bekend is, of deze afbreekbaarheid vergelijkbaar is onder zuurstofarme geothermische condities is onbekend. Ontwikkeling van een milieuclassificatie voor inhibitoren specifiek voor Nederlandse geothermische condities kan hiervoor bijdragen aan ontbrekende kennis. Verder is kennisontwikkeling nodig over het vergroenen en minimaliseren van inhibitor gebruik [ref. 42]. Onderzoek uitgevoerd naar de microbiologie in geothermische putten laten zien dat enkele aanwezige bacteriën kunnen zorgen voor de afbraak van corrosie inhibitoren [ref. 43]. In welke concentraties de inhibitor aanwezig is in het gehele geothermische systeem is onbekend. Om hier meer informatie over te krijgen zullen metingen moeten worden gedaan aan de injectiekant om de inhibitor concentratie te bepalen. Aanvullend is het van belang om beter begrip te hebben van de impact van inhibitor injectie in het geothermie reservoir, door kennis over de biologie op grote diepte en geochemische processen die plaatsvinden in diverse geologische formaties [ref. 41].

3.5.5 Referenties

- 40 Corrosion in Dutch geothermal systems, TNO 2016.
- 41 Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie, Witteveen+Bos 2019.
- 42 Innovatie Roadmap Geothermie Nederland, Royal HaskoningDHV 2018.
- 43 Microbiology in geothermal operations, Microbial Analysis BV 2019.

3.6 Geïnduceerde seismiciteit

Wanneer er door menselijke activiteit in de ondergrond aardbevingen worden veroorzaakt spreken wij van geïnduceerde seismiciteit. Aardbevingen opgetreden bij buitenlandse aardwarmteprojecten, in onder andere Pohang (Zuid-Korea), Basel (Zwitserland) en Lardarello (Italië) laten zien dat geothermie aardbevingen kan veroorzaken [ref. 45]. In Nederland wordt geïnduceerde seismiciteit vooral geassocieerd met de gaswinning

in Groningen. Hier wordt het reservoirgesteente samengedrukt vanwege de grote hoeveelheid gas die uit het gesteente wordt onttrokken. Dit leidt tot een toename in spanningen op bestaande breuken, waarbij een overschrijding van de maximale spanning die een breuk aan kan leiden tot een verschuiving. Deze verschuiving kan vervolgens leiden tot een voelbare aardbevingen. Bij geothermieprojecten worden er, in tegenstelling tot bij gaswinning, netto geen stoffen uit de ondergrond onttrokken, omdat het water weer terug het reservoir in wordt gebracht. Het mechanisme dat kan leiden tot een beving is daardoor anders dan bij gaswinning. Bij geothermie ontstaat het risico op een aardbeving door het onttrekken en injecteren van vloeistoffen in de ondergrond. De vloeistoffen zijn bijvoorbeeld het afgekoelde productiewater dat wordt teruggepompt via de injectieput of, indien stimulatie wordt toegepast, de vloeistof die wordt gebruikt bij stimulatie van het reservoir.

In het zuidoosten van Nederland komt natuurlijke seismiteit voor. Dit zijn aardbevingen veroorzaakt door natuurlijke processen.

3.6.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Om de mogelijke seismische risico's van geothermie te inventariseren heeft TNO in opdracht van EBN een inventarisatiestudie uitgevoerd waarbij wereldwijd meer dan veertig geothermieprojecten met én zonder bevingen zijn bestudeerd. Hiermee is een classificatie gemaakt van verschillende type geothermiewinningen. De studie beschrijft wat de implicaties zijn voor aardwarmteprojecten in Nederland. In Nederland produceren geothermieprojecten momenteel alleen uit goed doorlaatbare lagen tussen de 1 en 3 km diep. De inventarisatiestudie laat zien dat voor deze conventionele Nederlandse projecten die produceren uit deze goed doorlaatbare lagen en op afstand van actieve breukzones het seismisch risico naar verwachting laag is. In Noord-Duitsland en Denemarken bestaan zeer vergelijkbare projecten. Hier vindt al enkele decennia aardwarmtewinning plaats en tot op heden zijn hier geen aardbevingen waargenomen. Voor ultradiepe geothermie is in de studie van TNO het Molasse bekken in Zuid-Duitsland geïdentificeerd als vergelijkbaar gebied. In dit gebied wordt warmte geproduceerd uit kalksteen met breuken op grote dieptes. Dit komt overeen met de beoogde gesteentelagen voor ultradiepe geothermie in Nederland. In de omgeving van München is bij drie van de 27 kalksteenprojecten seismiteit waargenomen [ref. 45].

De kans van optreden van geïnduceerde seismiteit wordt bepaald door vele factoren. Belangrijk zijn de lokale omstandigheden in de ondergrond en de kans op seismiteit verschilt dan ook per locatie. De kans op bevingen is hoger in diepere lagen die door breuken verbonden zijn met gesteente op nog grotere diepte, het zogenaamde 'basement'. Ultradiepe geothermieprojecten produceren warmte uit lagen dieper dan 4000 meter en het risico op geïnduceerde seismiteit is daarom hoger dan bij conventionele projecten. De kans op bevingen is ook hoger nabij van nature actieve breuken. Natuurlijke seismiteit komt in het zuidoosten van Nederland voor, dit is gerelateerd aan de breuken van de Roervallei Graben, zie afbeelding 3.1. De kans op bevingen is tevens verhoogd nabij andere mijnbouwactiviteiten die tot geïnduceerde seismiteit kunnen leiden. Hier kan de interactie tussen de mijnbouwactiviteiten tot een beving leiden [ref. 44, 45]. Geïnduceerde seismiteit komt in noordoost Nederland voor en is gerelateerd aan de gasproductie (afbeelding 3.1).

Alle huidige geothermiesystemen in Nederland bevinden zich in gebieden waar geen actieve breuken zijn, op twee projecten in Noord-Limburg na. In 10 jaar geothermie in Nederland is er in 2018 voor het eerst een project stilgelegd door het Staatstoezicht op de Mijnen na optreden van een lichte beving in de omgeving. Een paar dagen later vonden er nog enkele bevingen plaats waarvan één met magnitude 1.7 op de schaal van Richter [ref. 53]. Dit betrof het project Californië Lipzig Gielen in Noord-Limburg, een gebied met van nature actieve breuken. Het is nog onduidelijk of de oorzaak van de beving natuurlijke seismiteit is, of gerelateerd is aan de geothermiewinning.

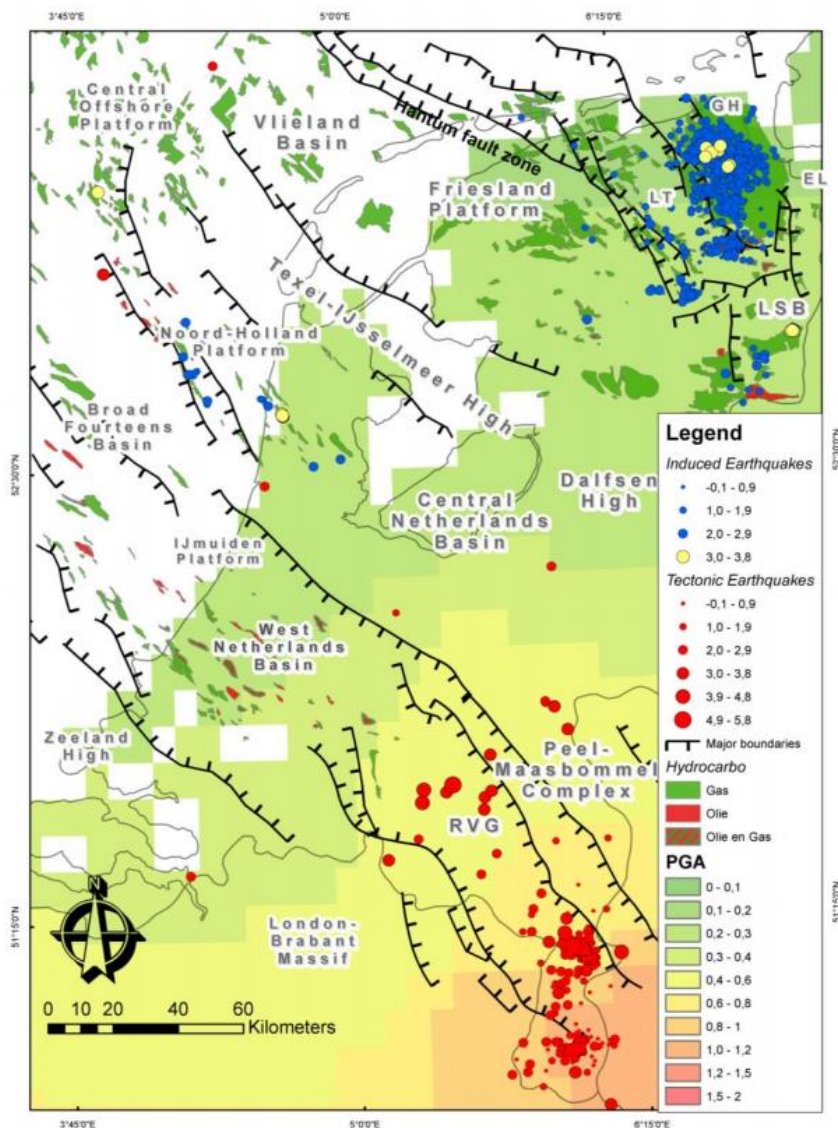
Naast de eigenschappen van de ondergrond hebben ook operationele factoren en ondergrondse effecten van een geothermieproject invloed op de kans van geïnduceerde seismiteit. Voorbeelden van ondergrondse effecten zijn drukverhoging door vloeistofinjectie, afkoeling van het gesteente en volumeverandering van vloeistof in de poriën van het gesteente. Het beperken van afkoeling van het

gesteente en het beperken van injectiedruk verlaagt het risico op aardbevingen. In vergelijking met veel internationale projecten hebben Nederlandse systemen een relatief lage injectiedruk, beperkte gesteenteafkoeling en is het volumeverschil nihil [ref. 45].

Indien hydraulische stimulatie wordt toegepast zijn de risico's op geïnduceerde seismiciteit hoger dan bij conventionele geothermie in Nederland, omdat er dan door vloeistof onder hoge druk te injecteren scheurtjes worden gecreëerd [ref. 49]. TNO heeft onderzocht wat de kans van optreden van geïnduceerde seismiciteit is tijdens hydraulische stimulatie aan de hand van een correlatie tussen een beving (locatie en tijd) en de daaraan voorafgaande stimulatieactiviteiten ten behoeve van olie- en gaswinning. Hieruit blijkt dat er bij slechts vijf van de 114 bestudeerde putten een geïnduceerde aardbeving optrad binnen 100 dagen na de stimulatie, waarvan drie binnen een maand. Echter, gezien de lokale geologie is het aannemelijk dat depletie als gevolg van gaswinning de oorzaak is geweest van deze aardbevingen en niet de stimulatieactiviteiten [ref. 49].

Ook als de geothermiewinning is gestopt, kan seismiciteit nog plaatsvinden [ref. 48, 51]. De ondergrond kan nog vertraagd reageren op eerdere drukveranderingen en het stoppen van productie brengt ook een drukverandering teweeg.

Abbeelding 3.1 Overzicht van de belangrijkste natuurlijke en geïnduceerde seismiciteit in Nederland. Rode cirkels zijn natuurlijke aardbevingen en de blauwe cirkels zijn geïnduceerde aardbevingen. De grootte van de cirkel reflecteert de magnitude van de aardbeving. De zwarte lijnen zijn belangrijke breuken in de ondergrond [ref. 45].



3.6.2 Effecten

De effecten van geïnduceerde seismiciteit zijn vrij eenduidig. Allereerst kunnen lichte bevingen plaatsvinden die wel gemeten worden maar niet gevoeld. Verder kan een voelbare aardbeving plaatsvinden zonder schade of een aardbeving die in zekere mate schade aanricht aan gebouwen en infrastructuur. Naast schade zijn er bij het plaatsvinden van aardbevingen ook grote consequenties voor het imago en maatschappelijk draagvlak voor geothermie. Maatgevende factoren voor de effecten van een aardbeving zijn de kracht en diepte van de aardbeving, afstand tot de beving en de eigenschappen van bovenliggende gesteente- en bodemlagen.

3.6.3 Maatregelen

De meeste gebieden in Nederland hebben in principe een laag seismisch risico. Per project dient een grondige risicoanalyse uitgevoerd te worden voordat er aan de ontwikkeling van een project begonnen

wordt. Deze risicoanalyse berekent op lokaal niveau aan de hand van de geologische situatie en operationele factoren (zoals injectiedruk en uitkoeling) de kans op het veroorzaken van een aardbeving.

Door middel van een quickscan wordt een inschatting gemaakt van het risico op geïnduceerde seismiciteit op lokaal niveau [ref. 44, 45, 48]. Als hieruit blijkt dat er een aanwezig risico is, moet een locatie specifieke seismische gevarenanalyse (Seismic Hazard and Risk Assessment) worden uitgevoerd, waaruit blijkt wat de waarschijnlijkheid is dat een aardbeving van een bepaalde magnitude optreedt. Verder moet, wanneer de waarschijnlijkheid op een aardbeving groot wordt geacht, een seismisch monitoringssysteem worden geïnstalleerd. Indien het risico op seismiciteit onacceptabel wordt geacht kan de toezichthouder besluiten geen vergunning te verlenen voor geothermie.

Een andere belangrijke maatregel kan het gebruik van een 'Traffic Light System' (TLS) zijn. Een TLS is een methode die veel gebruikt wordt in de olie- en gasindustrie voor het beperken van de seismische risico's. Hierin staat vastgelegd welke maatregelen genomen moeten worden bij het plaatsvinden van een bepaald niveau van seismiciteit, en welke communicatie moet plaatsvinden. Het is echter onbekend of een TLS ook volledig bruikbaar zal zijn bij geothermieprojecten in Nederland. Goed vastgestelde grenswaarden voor het functioneren van het TLS missen vanwege het zeer beperkte aantal opgetreden bevingen bij geothermieprojecten. Een ander belangrijk onderdeel van deze methode is het gebruik van een lokaal seismisch meetnetwerk. Indien er een verhoogde kans is op het voorkomen van bevingen is het van groot belang om seismiciteit te monitoren, zodat er snel gehandeld kan worden als er trillingen van grotere magnitudes plaatsvinden [ref. 44, 48]. Overkoepelende landelijke en regionale monitoring wordt uitgevoerd door KNMI.

In het geval van hydraulische stimulatie is het belangrijk om het geïnduceerde netwerk van scheurtjes kleiner te maken dan de afstand tussen de put en eventuele aanwezige breuken. Als er trillingen worden waargenomen, wordt stimulatie stilgelegd en de ingepompte vloeistof teruggewonnen [ref. 46]. Dit neemt echter niet direct het risico op aardbevingen weg, omdat er nog drukveranderingen plaatsvinden na het stoppen van de stimulatie. Ook hierom is het belangrijk om gebruik te maken van een Traffic Light System (eventueel met lagere drempelwaarden).

3.6.4 Onzekerheden

De reikwijdte en mate van gespannenheid van de enkele gebieden met actieve breukzones in Nederland zijn dit moment nog niet goed duidelijk en zullen daarom beter in kaart gebracht moeten worden [ref. 45]. Het voorspellen en kwantificeren van geïnduceerde aardbevingen is een complexe wetenschap. Geavanceerde modellen dragen bij aan een betere inschatting van het risico. Momenteel is er nog geen model dat met voldoende zekerheid geïnduceerde seismiciteit kan voorspellen. Meer inzicht moet verkregen worden over het ontstaan en mitigeren van geïnduceerde seismiciteit, met name met betrekking tot de effecten van waterinjectie op seismiciteit. Het voorkomen en vermijden van geïnduceerde seismiciteit door geothermiewinning is een belangrijke onderzoek behoefte [ref. 52]. Momenteel wordt er gewerkt aan een verfijning van de risico analyse in samenwerking met uitvoerders [ref. 45]. Staatstoezicht op de Mijnen laat onderzoek doen naar de risico's bij Ultra Diepe Geothermie en gestimuleerde geothermiesystemen waaronder seismiciteit.

3.6.5 Referenties

- 44 Voorstel voor een seismische gevaren- en risicoanalyse voor geothermische projecten in Nederland, Q-Con & IF Technology 2016.
- 45 Review of worldwide geothermal projects: mechanisms and occurrence of induced seismicity, TNO 2019.
- 46 Resultaten inventarisatie fracking, SodM 2016.
- 47 Platform Geothermie.
- 48 Defining the framework for seismic hazard assessment in geothermal projects, Q-Con & IF Technology 2016.

- 49 Inventarisatie aantoonbare effecten voor mens en milieu als gevolg van historische conventionele frackoperaties, TNO 2018.
- 50 Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems, Majer et al. 2007.
- 51 Analysis of induced seismicity in geothermal reservoirs - an overview, Zang et al. 2014.
- 52 Innovatie Roadmap Geothermie Nederland, Royal HaskoningDHV 2018.
- 53 Technisch rapport Analyse onderbouwing CLG Aardwarmtewinning en seismiteit, Staatstoezicht op de Mijnen, Juni 2019.

3.7 Blow-out

Tijdens het boren van een geothermie put kan gas, olie of water dat onder een hoge druk staat worden aangeboord. Indien de boorvloeistof onvoldoende tegendruk biedt zal het gas, olie of water zich naar boven willen verplaatsen en kan in uitzonderlijke gevallen een ongecontroleerde uitstroom aan het maaiveld plaatsvinden. Dit heet een blow-out. Een blow-out is een bekend risico uit de olie- en gaswinning.

3.7.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

De kans op een blow-out is zeer klein. Vooralsnog heeft er in Nederland één blow-out plaatsgevonden, tijdens het boren van een gasput in 1965. Sindsdien zijn de techniek en kennis van de ondergrond sterk verbeterd en is de kans op een blow-out sterk verminderd [ref. 54]. Van de conventionele geothermie reservoirs is veel ondergrondinformatie beschikbaar door olie- en gaswinning, waardoor boren veilig kan plaatsvinden. Er bestaat consensus over het feit dat de kans op een blow-out klein is indien de juiste maatregelen worden getroffen.

De kans op een blow-out hangt voornamelijk samen met de kans op het onverwachts aantreffen van hoge drukken in de ondergrond, waarbij de kans op aanwezige overdrukken toeneemt met diepte. In Nederland komt op veel plekken olie en gas in de ondergrond voor. Doordat de reservoirs met potentie voor geothermie gedeeltelijk overeenkomen met (oude) olie- en gasreservoirs, vergroot dit de kans op aanboren van hoeveelheden olie en gas. Voornamelijk bij een gasophoping kunnen drukken verhoogd zijn, dit is in het geval van een olieaccumulatie minder het geval. Daarnaast kunnen ook bovenliggende reservoirs, die doorboord moeten worden om het geothermie reservoir te bereiken, onverwachts olie of gas onder hoge druk bevatten. Het gecontroleerd mee produceren van olie of opgelost gas tijdens geothermiewinning komt bij veel geothermieputten voor [ref. 55].

3.7.2 Effecten

De effecten van een blow-out bij geothermie zijn kleiner dan bij olie en gas. Een geothermie blow-out kan schade aan het milieu veroorzaken door een ongecontroleerde uitstroom van formatiewater. Daarnaast kan een blow-out gepaard gaan met risico op brand- en explosiegevaar en de daaraan gerelateerde arbeidsveiligheidsrisico's [ref. 54]. Indien er onverwachts olie of gas onder extreem hoge druk wordt aangeboord bestaat de kans op ongewenste en ongecontroleerde uitstroom van olie of gas naar maaiveld.

3.7.3 Maatregelen

Olie of gas in de Nederlandse ondergrond is veelvoorkomend. Door middel van een geologische analyse kan de ondergrond gedetailleerd in kaart gebracht worden. Verder is het tijdens een geothermie boring van belang om alert te blijven op het aanboren van hoge drukken en significante gaskolommen en worden hiervoor standaard maatregelen getroffen. Om een blow-out te voorkomen is een zorgvuldig putontwerp van belang. Monitoring van de boorvloeistof verliezen of terugkomst en drukken is belangrijk voor het herkennen van overdrukken. Daarnaast wordt bij het boren altijd gebruik gemaakt van een blow-out preventer (BOP), waarmee tijdens een calamiteit een put effectief kan worden afgesloten en een blow-out

kan worden voorkomen. Verder is, om de eventuele gevolgen te beperken, het zo efficiënt mogelijk vormgeven van een 'emergency response' van belang.

3.7.4 Onzekerheden

De milieu impact en de grote gevolgen in het geval van een blow-out hebben geleid tot een zeer sterke veiligheidscultuur binnen de olie- en gassector. In de olie- en gasindustrie is er veel kennis en ervaring betreft het mitigeren en anticiperen op een blow-out. Deze kennis is direct toepasbaar in de geothermiesector en ook wordt toegepast. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) laat momenteel onderzoek doen naar de eventueel verhoogde risico's van Ultra Diepe Geothermie en gestimuleerde geothermie, waaronder het risico op een blow-out.

3.7.5 Referenties

54 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.

55 Infoblad Energietransitie ten bate van veiligheidsregio's, IFV 2018.

3.8 Mee produceren van radioactieve elementen

In gesteenten in de ondergrond komen natuurlijke licht-radioactieve elementen voor, ook wel NORM genoemd (Naturally Occurring Radioactive Material). Indien deze elementen in contact komen met grondwater en daarbij oplossen kunnen ze bij geothermiewinning in geringe concentraties naar het oppervlak komen. Het grootste deel van deze radioactieve elementen wordt samen met het formatiewater weer teruggeïnjecteerd het reservoir in, waarbij door het gesloten bovengrondse systeem geen blootstelling plaatsvindt. Echter kan een deel van de elementen neerslaan op ondergrondse- en bovengrondse installaties in de vorm van scaling (neerslag). Ook kunnen tijdens de boorfase en tijdens productie natte sludges, een mengsel van vloeibare en vaste stoffen, ontstaan welke radioactieve elementen kan bevatten [ref. 56]. Indien scaling en sludges verrijkt zijn met deze licht-radioactieve elementen zijn dit radioactieve afvalstoffen.

3.8.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Bij geothermie moet rekening gehouden worden met het feit scaling en sludges verrijkt kunnen zijn met licht-radioactieve elementen. Sinds de eerste keer aantreffen van NORM in geothermie installaties in 2013 is op meerdere locaties (>7) NORM geconstateerd.

De mate en aard van NORM bij geothermie installaties is afhankelijk van de aanwezige radioactieve elementen in het formatiewater. Niet elk formatiewater bevat even veel radioactieve elementen. De aanwezigheid is afhankelijk van het type reservoirgesteente en de aanwezige elementen (inclusief concentraties en mate van oplosbaarheid). In de Slochteren formatie in noord Nederland is lood-210 de voornaamste radioactieve element [ref. 58]. Verder is radium-226 een belangrijke radioactief element bij Nederlandse olie- en gasvelden [ref. 58]. De oplosbaarheid van radioactieve elementen is afhankelijk van de grondwatereigenschappen, zoals zoutconcentratie en zuurtegraad.

Bij de vorming van scaling bij bovengrondse installaties spelen veranderingen in druk en temperatuur de belangrijkste rol. Ook is scaling afhankelijk van de fysische en chemische eigenschappen van het formatiewater en het type installatiemateriaal [ref. 59]. De hoeveelheid scaling die ontstaat is onder andere afhankelijk van de toepassing van inhibitor. Toevoeging van inhibitoren in geothermieprojecten in Nederland resulteert in verminderde scaling en zodoende in afgenomen radioactiviteit in de bovengrondse installaties [ref. 60].

3.8.2 Effecten

Radioactieve afvalstoffen ontstaan tijdens geothermiewinning kunnen zorgen voor radioactieve straling aan het oppervlak door verval. In het dagelijks leven komen mensen voortdurend in contact met zaken waarin radioactief verval plaatsvindt, zoals bouwmaterialen (bakstenen, beton) en levensmiddelen (aardappelen, graan, melk, suiker). Ook dragen de aanwezige radioactieve elementen in de ondergrond bij aan de natuurlijke aanwezige radioactieve achtergrondstraling waar mensen dagelijks aan worden blootgesteld [ref. 62]. Gezondheidsrisico's door blootstelling aan radioactieve straling bij geothermie zijn minimaal vanwege het lage stralingsniveau aan zeer kleine concentraties, korte blootstelling en maatregelen genomen in de sector.

Blootstelling van medewerkers aan straling kan voornamelijk plaatsvinden tijdens onderhoudswerkzaamheden, transport van radioactieve afvalstoffen of de ontmanteling van geothermie-installaties [ref. 57, 58]. Ook kan tijdens het testen en bij de productie mogelijk straling aangetroffen worden en is er kans op besmetting door contact met sludges en scales. De stralingsdosis van deze blootstelling is in principe zeer laag. Bij regelmatige en/of langdurige blootstelling of inwendig contact kan het mogelijke gezondheidsrisico's met zich meebrengen [ref. 57].

3.8.3 Maatregelen

Het mee produceren van radioactieve elementen bij geothermie is normale praktijk door het natuurlijke voorkomen van deze elementen in de ondergrond. Om te voorkomen dat elementen neerslaan op installaties en buismateriaal, kunnen corrosie-inhibitoren aan het formatiewater toegevoegd worden [ref. 60]. Maatregelen op geothermie locaties om mogelijke besmetting met radioactieve straling tegen te gaan zijn dan ook standaardprocedures.

Er zijn algemene richtlijnen opgesteld voor het verantwoord omgaan met straling. Indien NORM bij een geothermieproject wordt geconstateerd zijn specifieke vergunningen en procedures vereist om verantwoord te kunnen werken. Bedrijven zijn verantwoordelijk voor de monitoring om de besmettingsstatus van de bovengrondse installaties vast te stellen [ref. 61]. Aanvullend wordt blootstelling beperkt door het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen tijdens onderhoudsactiviteiten en door de aanwezigheid van veiligheids- en monitoringsprocedures [ref. 59]. Ook wordt vooraf een stralingsdeskundige ingeschakeld, welke betrokken is bij werkzaamheden met betrekking tot NORM en kunnen binnen de eigen (onderhouds-)organisatie mensen opgeleid worden [ref. 57].

Opslag van radioactieve stoffen dient te gebeuren in een afgescheiden deel, welke duidelijk gemarkeerd is en welke niet zonder medeweten van de stralingsdeskundige bereikbaar is voor anderen [ref. 61]. Bij afvoer van materialen moeten deze getest worden op de aanwezigheid van NORM voordat ze de locatie verlaten en ook bij opslag en afvoer van besmette materialen wordt de stralingsdeskundige betrokken [ref. 57]. De ANVS (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming) houdt toezicht op dit onderdeel.

3.8.4 Onzekerheden

Er is nog weinig bekend over de hoeveelheid radioactieve sludges en scale die ontstaat bij geothermie, hiervoor zijn alleen schattingen te maken. Ook over het stralingsniveau van afval is onvoldoende informatie. Om hier meer inzicht in te krijgen is nader onderzoek nodig. Voor de verwerking van sludges en scales kan goede kennisoverdracht uit de olie- en gasindustrie zorgen voor extra inzichten. Verder is er in Nederland nog geen ervaring opgedaan met de ontmanteling van geothermie installaties waarop mogelijk radioactief scale is ontstaan [ref. 56].

3.8.5 Referenties

- 56 Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen, RIVM 2019.
- 57 Handboek Geothermie, LTO Glaskracht Nederland & Stichting Platform Geothermie & Ministerie van Economische Zaken 2014.
- 58 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.
- 59 Fanc.nl (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle).
- 60 Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie, Witteveen+Bos 2019.
- 61 Richtlijn omgaan met radioactiviteit, DAGO 2017.
- 62 Radioactiviteit en diepe Geothermie, VITO 2019.

3.9 Geluids-, licht en gasemissie

Tijdens een geothermieproject worden verschillende werkzaamheden uitgevoerd waarbij overlast kan plaatsvinden. Overlast kan voornamelijk veroorzaakt worden tijdens het boren van de geothermieput. De boortoren produceert geluid door de lift (het hijswerktuig), boorstangen die tegen elkaar stoten en pompen die gebruikt worden. Ook produceren extra vrachtverkeer en overige bouwactiviteiten die plaatsvinden tijdens het boorproces geluid. Tijdens de productiefase wordt een kleine hoeveelheid geluid geproduceerd welke grotendeels afkomstig is van de installatiepompen, maar dit wordt beperkt doordat installaties in een geïsoleerd gebouw staan. Een aantal keer per maand zal een vrachtwagen technische materialen en hulpstoffen komen brengen en afvalstoffen komen ophalen. Ook wordt regelmatig (klein) onderhoud gepleegd en kunnen grotere onderhoudswerkzaamheden plaatsvinden waarbij ook weer apparatuur wordt gebruikt, zoals kleine boortorens. Werkzaamheden tijdens ontmanteling van installaties bij het afbreken van de winningslocatie en extra vrachtverkeer kunnen weer voor enkele weken verhoogde geluidsemisatie zorgen [ref. 63].

Naast geluidsemisatie kan uitstoot van fijnstof en stikstofoxiden door grote hoeveelheden vrachtverkeer zorgen voor overlast. Verder kan opgelost gas in het formatiewater vrijkomen tijdens productie en testen en zijn de boortoren en het boorterrein verlicht.

3.9.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Er bestaat consensus over het feit dat de kans op geluidsemisatie groot is, en dat de kans op licht- en gasemissies klein is. Geluids-, licht en gasemissie bij geothermie vindt altijd plaats, waarbij mogelijke overlast door deze emissies goed beheersbaar is. Het risico op geluidsoverlast voor de omgeving is het hoogst tijdens de boringen, grotere onderhoudswerkzaamheden en tijdens de ontmanteling. De hoeveelheid geproduceerd geluid hangt voornamelijk af van de duur van de boring, waarbij het boren dag en nacht voortzet. Het voorkomen van overlast door geluidsemisatie hangt af van de getroffen maatregelen en de afstand van de omwonenden tot het boorterrein. Geluidsnormen zijn opgesteld om overlast te beperken, maar het ontbreken van geluidsmetingen kan zorgen voor moeizaam handhavend optreden. Bij een recentelijk geothermieproject hebben mensen 's nachts wakker gelegen door een boring doordat er geen rekening gehouden was met transport van geluid over glastuinbouwkassen [ref. 64]. Daarentegen heeft geen overlast plaatsgevonden bij geothermie boringen midden in een woonwijk in Den Haag in 2008. Het risico op luchtverontreiniging en overlast door lichtemissie tijdens de boorfase is naar verwachting beperkt. De hoeveelheid gasemissies is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid vrachtverkeer, het type formatiewater en de hoeveelheid gasbijvangst. Aangezien mee geproduceerde gas over het algemeen opgevangen en verstoekt wordt blijft gasemissie door bijvangst zeer beperkt. Alleen wanneer dit tijdelijk niet mogelijk is of in geval van nood wordt het gas afgeflakkeld.

3.9.2 Effecten

Geluids-, licht- en gasemissie geproduceerd bij geothermie activiteiten kan leiden tot hinder en overlast bij omwonenden, welke in sommige gevallen kan leiden tot gezondheidsklachten als vermoeidheid door bijvoorbeeld een verstoorde nachtrust.

3.9.3 Maatregelen

Om geluidsoverlast te voorkomen zijn wettelijke normen opgesteld om het geluidsniveau te beperken. Rondom de boorlocatie wordt een contour getrokken buiten welke men geen geluidsoverlast verwacht te ondervinden. Geluidsemissie wordt gemeten en indien nodig worden er maatregelen getroffen om overlast verder te beperken, zoals het plaatsen van een geluidsscherm of wand. Ook is strenge controle op aanwezige geluidsmonitoring noodzakelijk voor goede handhaving [ref. 64].

Gas aanwezig in formatiewater moet worden afgevangen, waarbij minimaal 99 % van het meegekomen gas verbrandt moet worden. Aanvullend is omgevingsmanagement bij geothermieprojecten van belang. Geluidsemissie, transport en andere werkzaamheden roepen vragen op bij omwonende. Vroegtijdige informatieverstrekking en afstemming met bijvoorbeeld bewonersorganisaties wordt dan ook aanbevolen en actief gedaan [ref. 67].

3.9.4 Onzekerheden

Er is veel kennis met betrekking tot geluids-, licht- en gasemissie beschikbaar vanuit de olie- en gasindustrie. Tevens is er ervaring vanuit de olie- en gasindustrie met het uitvoeren van boringen, onderhoudsoperaties en ontmanteling in de bebouwde omgeving. Ervaring met geothermieprojecten nabij de bebouwde omgeving is beperkt aangezien alle projecten, met uitzondering van één project, gerealiseerd zijn in glastuinbouwgebieden. Echter is het project in Den Haag in 2008 nabij bebouwing een goed voorbeeld van realisatie zonder overlast. Voor goede inpassing van geothermie in de bebouwde omgeving moet de impact op de omgeving goed begrepen worden en moeten eventuele nadelige effecten gemitigeerd worden [ref. 65]. Aanvullend onderzoek kan gedaan worden om te bepalen bij welke afstanden tot woningen en utiliteitsbouw er hinder optreedt, om minimale afstanden of aanvullende voorwaarden in regelgeving te verwerken [ref. 66].

3.9.5 Referenties

63 Hoewerkaartdarmte.nl.

64 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.

65 Innovatie Roadmap Geothermie Nederland, Royal HaskoningDHV 2018.

66 Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen, RIVM 2019.

67 Handboek Geothermie 2014, LTO Glaskracht Nederland & Stichting Platform Geothermie & Ministerie van Economische Zaken.

3.10 Personeel blootgesteld aan onveilige situaties

Verschillende werkzaamheden op de geothermie locatie brengen arbeidsveiligheidsrisico's met zich mee, welke kunnen ontstaan tijdens alle fases van een geothermieproject. Werkzaamheden op een locatie met hete oppervlakken, heet formatiewater of afvalwater en het voorkomen van hoge drukken kunnen risico's met zich meebrengen. Ook blootstelling aan radioactieve elementen die mee geproduceerd worden met het formatiewater, het gebruik van zwaar en risicovol gereedschap en vallende voorwerpen op het terrein kunnen veiligheidsrisico's met zich meebrengen [ref. 68].

3.10.1 Kans van optreden en maatgevende factoren

Arbeidsveiligheidsrisico's op een geothermie terrein verschillen niet wezenlijk van de risico's in de olie- en gassector. Maatgevende factoren voor het voorkomen van incidenten hebben voornamelijk betrekking tot de deskundigheid van personeel, het projectmanagement en het kwaliteitsbewustzijn. Indien deze aspecten op orde zijn is de kans op arbeidsveiligheidsrisico's laag. Door het niet naleven van (veiligheids)beleid kunnen incidenten ontstaan, wanneer bijvoorbeeld werknemers vermoeid raken door het niet naleven van de Arbeidstijdenwet [ref. 68]. Naar aanleiding van observaties in 2016 van een matige geothermie veiligheidscultuur op een aantal locaties heeft strenger toezicht van SodM geleid tot meer aandacht bij beleidsmakers en financiers [ref. 70].

3.10.2 Effecten

Op een geothermie locatie kunnen er kans dat medewerkers in aanraking komen met hete oppervlakken, heet water en hoge drukken. Blootstelling aan heet formatiewater is voornamelijk een risico bij de testfase van een geothermie put, waarbij grote hoeveelheden testwater naar boven komen die moeten worden opgeslagen. Hierbij kan mogelijke lekkage risico's met zich meebrengen. Tijdens de productiefase bevindt het formatiewater zich in een gesloten systeem en is contact met personeel zeer onwaarschijnlijk. Ook kan blootstelling van medewerkers aan gevaarlijke vloeistoffen plaatsvinden en kan personeel in aanraking komen met kleine concentraties licht-radioactieve elementen (NORM, zie sectie 3.8). Verder kan blootstelling aan lawaai en hoge drukken in bijvoorbeeld leidingen en pompen plaatsvinden.

3.10.3 Maatregelen

Het verbeteren van de veiligheid en kennis en beheersing van risico's vermindert de kans op incidenten. Dit kan door standaarden te ontwikkelen, deskundigen in te schakelen, kennis op te doen en het naleefgedrag van wet- en regelgeving te verbeteren [ref. 68]. Bedrijven dienen een veiligheids- en gezondheidszorgsysteem uit te voeren voor beheersing van de externe veiligheid en een zo goed mogelijk arbobeleid. Op deze manier dienen cruciale aspecten voor de veiligheid, zoals de putintegriteit, geborgd te worden [ref. 72]. Na strengere uitgevoerde inspecties van SodM in 2018 zijn verdere stappen naar professionalisering gezet. Zo heeft brancheorganisatie Dutch Association Geothermal Operator (DAGO) een model voor een veiligheids- en gezondheidszorgsysteem (VG) opgezet. Tijdens inspecties in 2018 observeerde SodM dat dit systeem inmiddels door meerdere operators is geïmplementeerd, wat leidt tot verdere professionalisering [ref. 71]. Vrijgekomen gas wordt afgevangen door middel van een ontgasser. Maatregelen met betrekking tot het mee produceren van licht-radioactieve elementen en omgaan met straling worden verder toegelicht in sectie 3.8.3.

3.10.4 Onzekerheden

Kennis van veiligheid en beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's is ruimschoots aanwezig in de olie- en gassector en de geothermiesector streeft naar het handelen op vergelijkbaar niveau. Kennis en regelgeving uit de olie- en gassector kan toegepast worden voor geothermie, maar is niet volledig overeenkomstig. Voor verhoging van de veiligheid en minimalisatie van risico's bij geothermie is de vormgeving van nieuwe wet- en regelgeving aangekondigd door een aanpassing van de Mijnbouwwet, zoals geadviseerd door SodM [ref. 68]. Verder ontbreekt kennis over de ontmanteling van geothermie installaties in Nederland, aangezien hier nog geen sprake van is. Ook is het onvoldoende bekend hoeveel radioactief scale er ontstaat en hoeveel straling hierbij vrijkomt [ref. 69].

3.10.5 Referenties

- 68 Staat van de Sector Geothermie, SodM 2017.
- 69 Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen, RIVM 2019.
- 70 Jaarverslag 2016 SodM.
- 71 Jaarverslag 2018 SodM.
- 72 De integriteit van onshore putten in Nederland, 2019, SodM.

4

RISICO'S IN DE PROVINCIE GELDERLAND

In deze rapportage zijn de in literatuur benoemde risico's van geothermie beschreven. De relevantie van deze risico's is echter afhankelijk van de lokale omstandigheden. Dit wordt hier geïllustreerd door een aantal risico's in perspectief te zetten tot de regionale aspecten in de provincie Gelderland. Hierbij is geen uitgebreid onderzoek verricht, maar is enkel een eerste mogelijke impact geschetst van risico's bij geothermie op basis van openbare gegevens. tabel 4.1 geeft weer welk risico in welke paragraaf voor de provincie Gelderland nader toegelicht wordt.

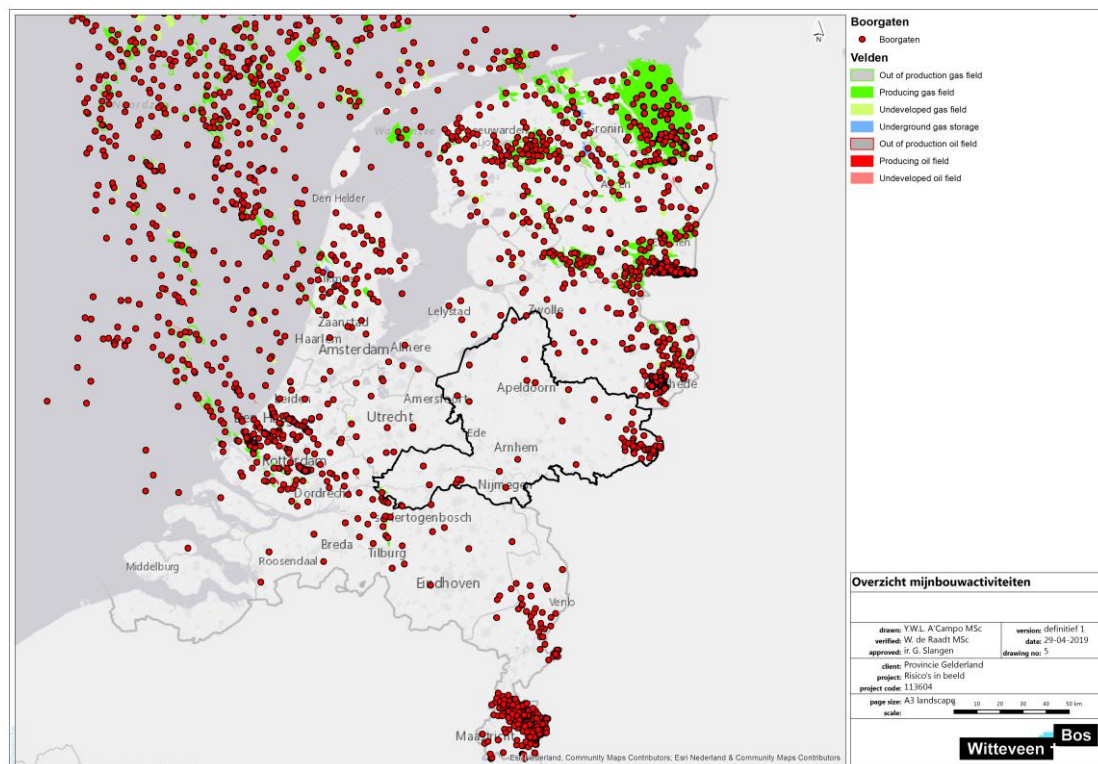
Tabel 4.1 Paragraafverwijzing voor risico's beschreven in dit rapport nader toegelicht voor provincie Gelderland

Risico	Paragraaf
warmte-uitstraling naar de putomgeving	4.4
lekkage van formatiewater, inhibitoren en stimulatievloeistof naar grondwater	4.4
lekkage en/of morsen van stoffen aan de oppervlakte	4.4, 4.1
lekkage afscheidende kleilagen van WVP	4.4
injectie inhibitoren in reservoir (corrosive-inhibitor)	niet specifiek toegelicht voor provincie Gelderland
geïnduceerde seismiteit	4.1, 4.3
blow-out	4.1
mee produceren van radioactieve elementen	niet specifiek toegelicht voor provincie Gelderland
geluids-, licht- en gasemissie	4.2
personeel blootgesteld aan onveilige situaties	4.1

4.1 Ondergrondse activiteit

In de provincie Gelderland heeft, in tegenstelling tot de rest van Nederland, weinig mijnbouwactiviteit plaatsgevonden (afbeelding 4.1). In de provincie Gelderland bevindt zich slechts één gasveld waaruit geproduceerd wordt, namelijk het Brakel gasveld in het uiterste westen van de provincie. Verder zijn er geen olie- of gasvelden in de provincie aangetoond. Er bevindt zich slechts een beperkt aantal putten of andere mijnbouwwerken die kunnen bijdragen aan risico's zoals lekkage van formatiewater langs oude putten (sectie 3.2). Doordat er weinig mijnbouw heeft plaatsgevonden is echter ook de kennis van de drukken in de ondergrond beperkt. Het risico op het aanboren van een zone met een onverwachte hogere druk, wat kan leiden tot een blow-out (sectie 3.7), is niet aantoonbaar groter of kleiner dan elders in het land, aangezien deze zones met overdruk overal voor kunnen komen. Het risico op blow-out is ook niet groter of kleiner dan elders in het land, doordat de risico-preventie wordt toegepast in het boorproces en dus afhankelijk is van de maatregelen die hierin genomen zijn. Ten behoeve van beheersing van alle geothermie risico's is het aan te bevelen om te investeren in aanvullende ondergrondgegevens.

Afbeelding 4.1 Overzicht boorgaten en olie- en gasvelden in Nederland. De weergegeven boorgaten zijn inclusief reeds beëindigde en afgesloten boringen (gegevens van nlog.nl)



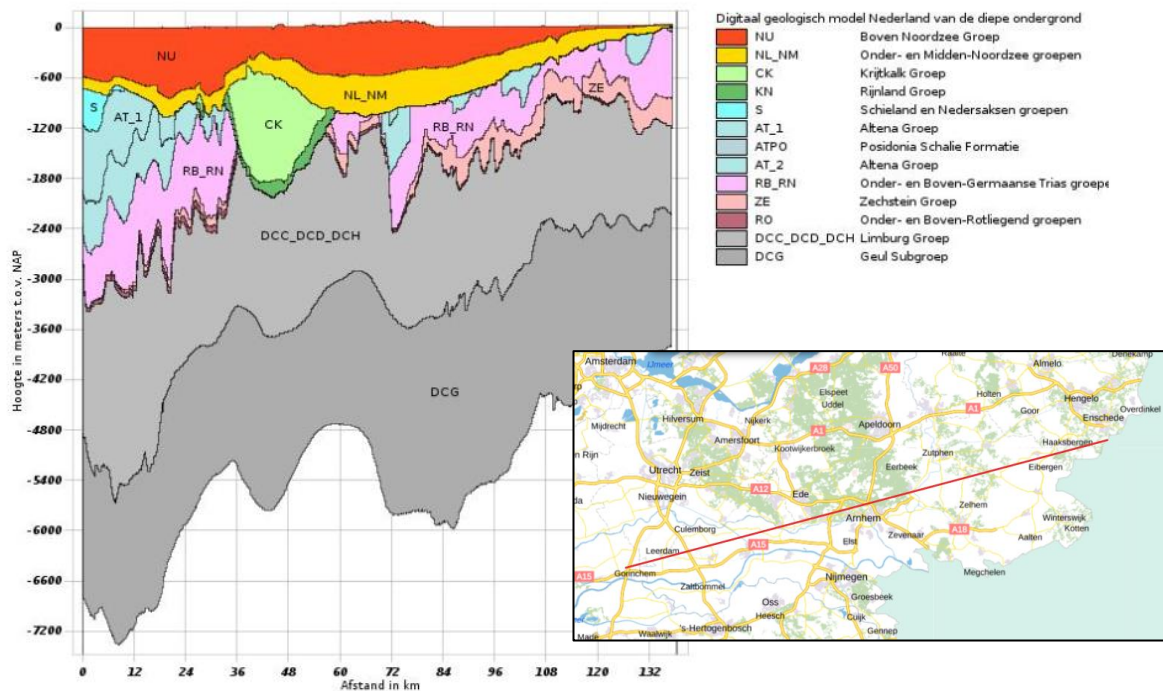
afbeelding 4.2 geeft een doorsnede weer van de geologische lagen in Gelderland. In het dieptebereik van conventionele geothermie (500-4.000) bevinden zich potentiële reservoirs in de lagen 'RB RN' Onder en Boven Germaanse Trias groep en 'RO' Rotliegend groep. De inschatting van het geothermisch potentieel van deze aardlagen is volgens ThermoGIS [ref. 1] beperkt. ThermoGIS is echter een regionaal model en de beschikbare ondergrondgegevens die dienen als basis voor dit model zijn beperkt in Gelderland. Meer ondergrondgegevens gecombineerd met locatie specifieke analyses kunnen mogelijk een hoger potentieel aantonen. Er is in de provincie Gelderland ook interesse om geothermie te winnen uit het Onder Carboon. Maar er is nog erg weinig bekend over het geothermisch potentieel van dit gesteente. Deze laag is niet weergegeven in doorsnede in afbeelding 4.2, maar ligt onder de Geul Subgroep op dieptes groter dan 4.000 m. Eventuele aardwarmtewinning uit deze gesteentelaag valt daarmee onder Ultra Diepe Geothermie. Er wordt momenteel onderzoek gedaan naar de potentie van het Onder Carboon in Renkum in kader van de Green Deal Ultra Diepe Geothermie.

Gemiddeld genomen neemt de doorlaatbaarheid van gesteenten af bij toenemende diepte. Daar is de kans groter dat stimulatietechnieken om de doorlaatbaarheid te vergroten nodig zijn bij Ultra Diepe Geothermie. Hierbij dient ermee rekening gehouden te worden dat stimulatie mogelijk het risico op geïnduceerde seismiciteit vergroot (sectie 3.6). Daarnaast zijn voor de stimulatieactiviteiten extra installaties en additieven nodig, waardoor risico's als blootstelling van personeel aan onveilige situaties (sectie 3.10) en lekkage van (stimulatie)vloeistoffen aan het oppervlak (sectie 3.3) extra aandacht verdienen. Dat er dieper geboord wordt naar geothermie betekent echter niet per definitie dat er stimulatie plaats dient te vinden om een voldoende doorlaatbaar systeem te creëren. Zo geeft een studie in het gebied Arnhem-Nijmegen aan dat er mogelijk voldoende doorlaatbare lagen tussen 4 en 6 km voorkomen [ref. 2]. Indien stimulatie nodig is, is het aan te bevelen om een afweging te maken tussen de verschillende stimulatie technieken en de bijbehorende risico's.

Tevens neemt de kans op het aanboren van een zone met onverwacht hoge druk toe bij grotere boordiepte. Hiermee moet rekening gehouden worden bij de booractiviteiten, om het risico op blow-out zo klein

mogelijk te houden. Het risico op blow-out neemt dus niet per definitie toe met grotere boordiepte, maar is zoals hierboven reeds genoemd afhankelijk van de risico-preventie in het boorproces.

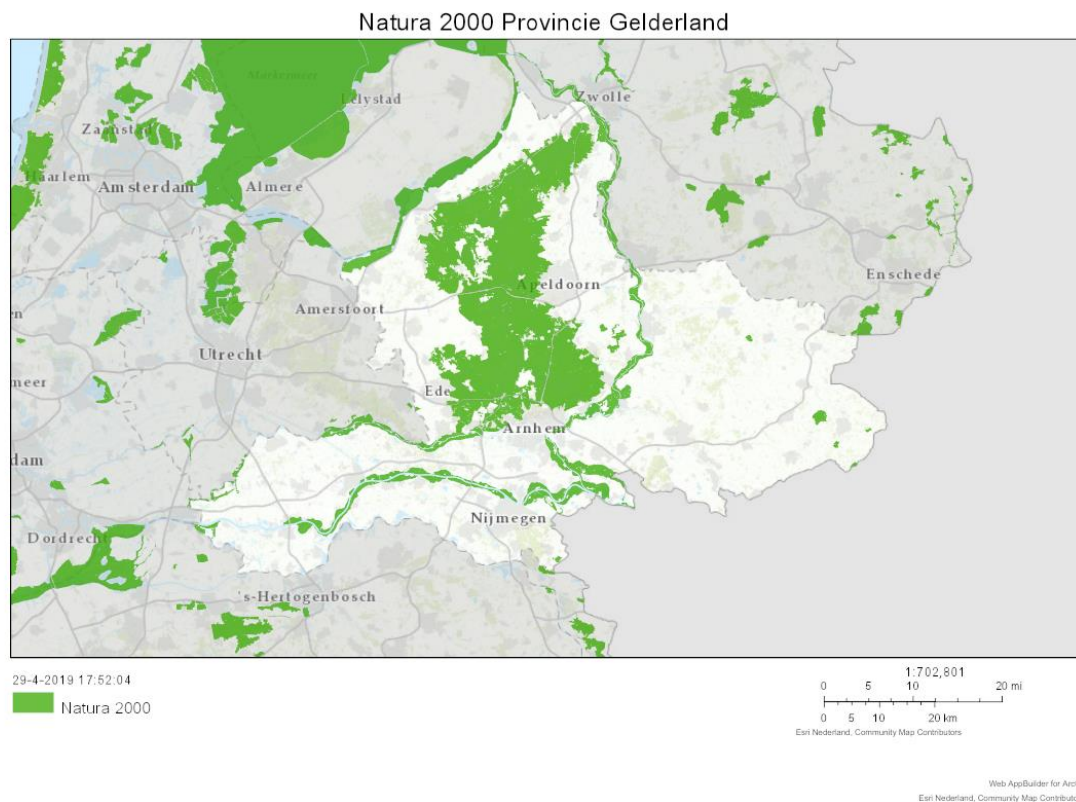
Afbeelding 4.2 Geologische doorsnede (west naar oost) van de provincie Gelderland (ThermoGIS).



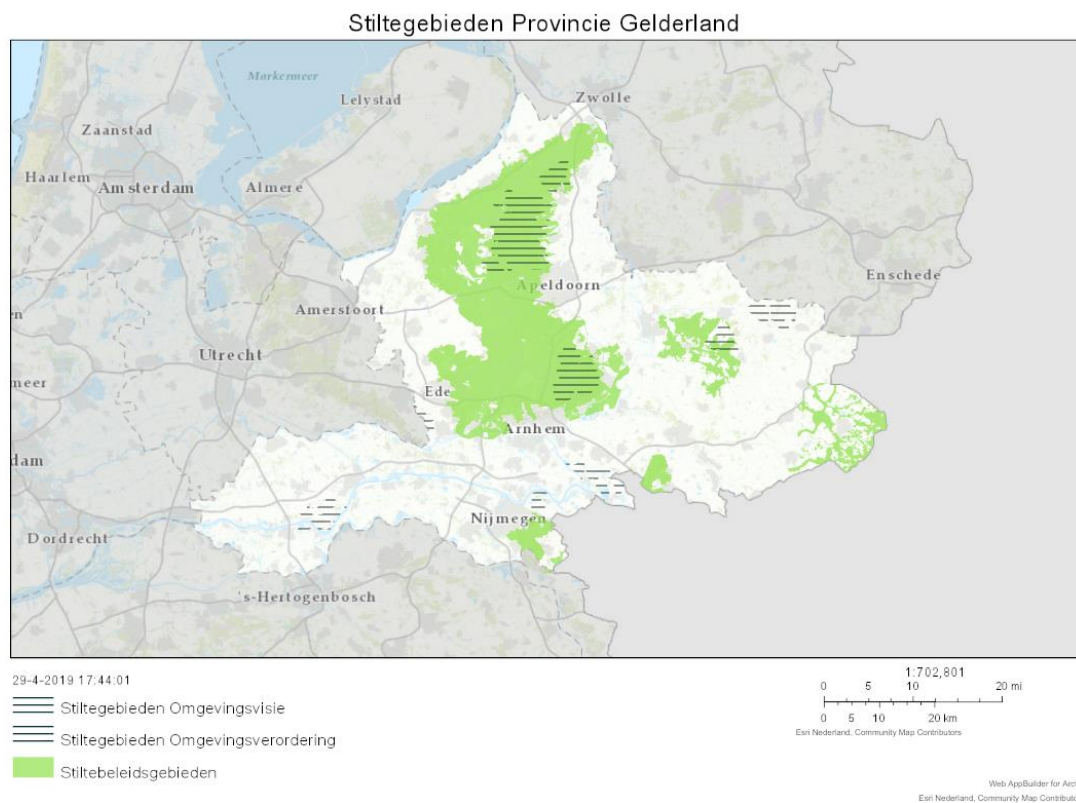
4.2 Omgevingsaspecten

De provincie Gelderland heeft een groot oppervlak beschermde natuur (afbeelding 4.3) en stiltegebieden (afbeelding 4.4), waarin geluids-, licht en gasemissie een belangrijk aandachtspunt vormen. Naast de genoemde emissies zijn er in deze gebieden meerdere omgevingsaspecten waarmee rekening gehouden dient te worden, die echter buiten de risico's zoals beschreven in dit rapport vallen. De locaties waar de ontwikkeling van geothermie interessant is, liggen meestal buiten natuur- en stiltegebieden gelegen, aangezien de warmtevraag zich in de gebouwde omgeving of industriële zones bevindt en de warmte niet over grote afstanden getransporteerd kan worden. Mogelijk is er enige beperking in de selectie van geschikte boor- en productielocaties op plekken waar de gebouwde omgeving grenst aan natuurgebied, zoals bijvoorbeeld de steden Apeldoorn, Ede en Arnhem grenzend aan de Veluwe. Verder zijn er voor de ontwikkeling van geothermieprojecten in de gebouwde omgeving in de provincie Gelderland specifiek geen afwijkende risico's ten opzichte van locaties elders in het land.

Afbeelding 4.3 Natura 2000-gebieden in de provincie Gelderland



Afbeelding 4.4 Stiltegebieden in de provincie Gelderland

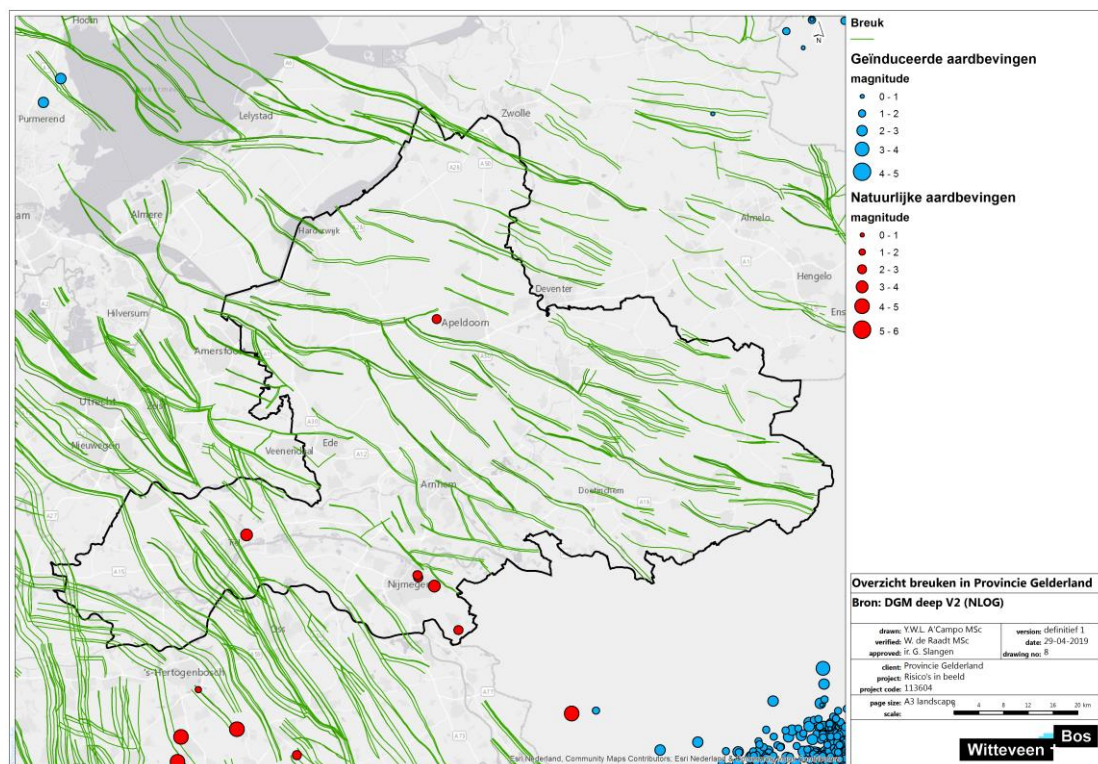


4.3 Seismiciteit

Het hier beschreven risico betreft het risico op geïnduceerde seismiciteit zoals beschreven in sectie 3.6. In het zuidwestelijke gedeelte van de provincie Gelderland bevinden zich in de diepe ondergrond actieve breuklijnen van de Roerdalslenk (afbeelding 3.1). Sinds het begin van de vorige eeuw zijn er aardbevingen geregistreerd in de omgeving Nijmegen (1972 en 1979) en Tiel (2014). In het noordoostelijke gedeelte van de provincie Gelderland bevindt zich een kleinere noordwest-zuidoost georiënteerde breukzone. Hier is één aardbeving geregistreerd in de afgelopen eeuw (Hoog Soeren, 1997). Naast de actieve breukzones bevinden zich in de ondergrond ook inactieve breuken, zoals weergegeven in afbeelding 4.5. Deze inactieve breuken bevinden zich overal in de Nederlandse ondergrond, en vormen dus geen specifieke obstructie voor ontwikkeling van geothermie in Gelderland.

Volgens de voorgestelde richtlijnen [ref. 3] geeft een quickscan van het risico op geïnduceerde seismiciteit aan of er verdere stappen genomen moeten worden. Voor een geothermieproject in de Roerdalslenk dient altijd een seismische gevarenanalyse (Seismic Hazard and Risk Assessment) uitgevoerd te worden volgens deze voorgestelde richtlijnen. Er zijn echter geen gebieden in de provincie Gelderland op voorhand uitgesloten voor geothermieprojecten.

Afbeelding 4.5 Overzicht van breukenlijnen en natuurlijke en geïnduceerde aardbevingen in de provincie Gelderland



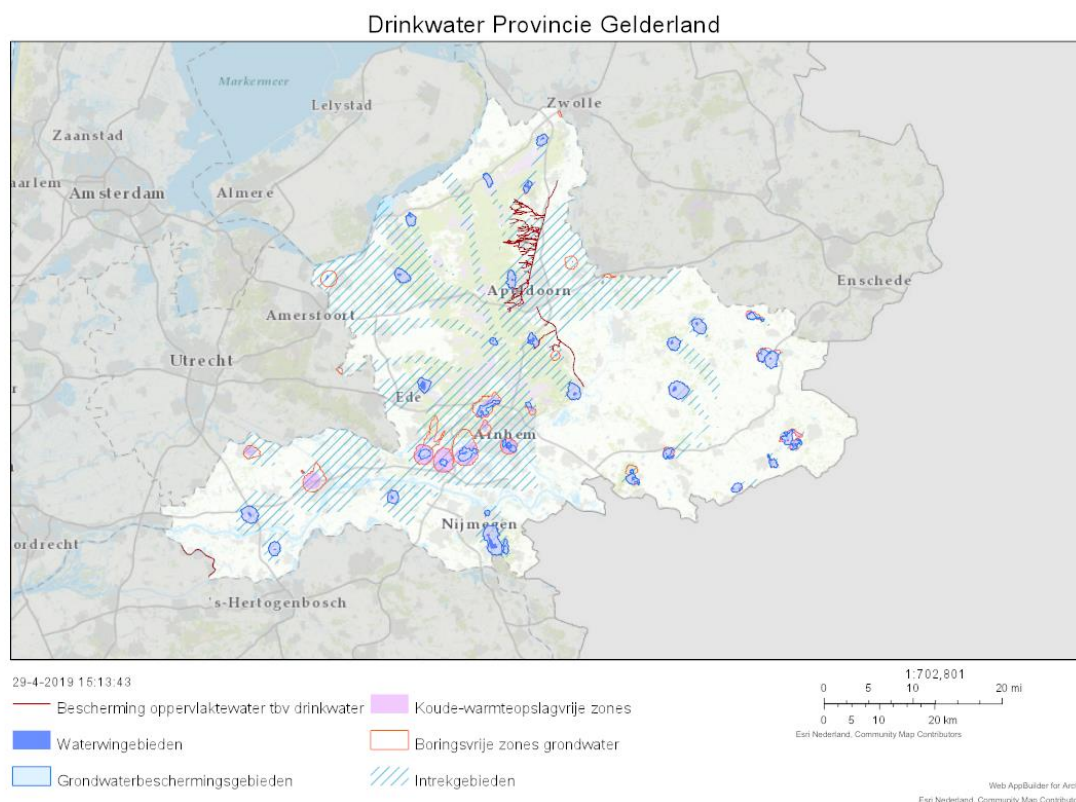
4.4 Risico's voor (grond)water

De provincie Gelderland kent een groot aantal waterwingebieden, een groot oppervlak intrekgebieden en oppervlaktewateren ten behoeve van drinkwater verspreid over de hele provincie (afbeelding 4.6). Deze gebieden worden beschermd om de kwaliteit en beschikbaarheid van voldoende drinkwater te kunnen garanderen. Met dit doel zijn grondwaterbeschermingsgebieden, boringsvrije zones en koude/warmte opslagvrije zones aangewezen (afbeelding 4.6). De risico's van geothermie met een mogelijke impact op grond- of oppervlaktewater zoals beschreven in deze rapportage zijn:

- opwarming grondwater door warmte-uitstraling (sectie 3.1);
- lekkage van formatiewater en inhibitoren naar grondwater (sectie 3.2);
- lekkage en/of morsen van stoffen aan oppervlak (sectie 3.3);
- lekkage afscheidende kleilagen van watervoerend pakket (sectie 3.4).

Deze risico's zijn verder echter niet specifiek voor de provincie Gelderland. Ook zijn deze risico's niet groter of kleiner dan elders in het land. Om risico's nabij beschermingszones voor drinkwater te verminderen zoals intrekgebieden is het aan te bevelen om naast interne putintegriteit monitoring ook externe grondwatermonitoring bij de geothermiebron in te richten. Daarnaast kunnen er aanvullende eisen worden gesteld aan de materiaalkeuze en het putontwerp en kan er middels een corrosie management plan gestuurd worden op een duurzaam putontwerp.

Afbeelding 4.6 Overzicht drinkwater in provincie Gelderland



4.5 Conclusie

Deze beschouwing van een aantal regionale aspecten geeft inzicht in de relevantie van de benoemde risico's van geothermie in de literatuur voor de provincie Gelderland:

- er heeft in de provincie Gelderland weinig mijnbouwactiviteit plaatsgevonden en er bevindt zich slechts één gasveld waaruit geproduceerd wordt. Het risico op het aanboren van een zone met een onverwachte hoge druk is echter niet aantoonbaar groter of kleiner dan elders in het land, aangezien deze zones met overdruk overal voor kunnen komen. Het risico op blow-out is ook niet groter of kleiner dan elders in het land, doordat de risico-preventie wordt toegepast in het boorproces en dus afhankelijk is van de maatregelen die hierin genomen zijn;
- gezien de huidige inzichten in de ondergrond dient er in een groot deel van de provincie Gelderland dieper (dan momenteel gangbaar bij geothermieprojecten) geboord te worden om geschikte lagen voor geothermie aan te treffen. Bij diepere formaties is de kans groter dat stimulatie nodig is om voldoende doorstroming in het reservoir te creëren. De stimulatieactiviteiten brengen extra risico's met zich mee,

doordat er extra activiteiten op de boorlocaties plaatsvinden en stimulatievloeistoffen nodig zijn. Dieper boren vergroot het risico op onverwachts aantreffen van formaties met overdruk, maar vergroot niet per definitie het risico op blow-out omdat de risico-preventie afhankelijk is van het boorproces.

- in de provincie Gelderland bevindt zich een relatief groot oppervlak aan beschermd natuurgebied. Locaties waar ontwikkeling van geothermie interessant is liggen vaak buiten deze gebieden. Mogelijk is er enige beperking in de selectie van boor- en productielocaties waar de stedelijke gebouwde omgeving grenst aan natuurgebied waar geen booractiviteiten mogen plaatsvinden;
- net als in de rest van het land bevinden zich in de Gelderse ondergrond breuken. Volgens de huidige voorgestelde richtlijnen [ref. 3] geeft een quickscan aan of er vervolgstappen zoals een Seismische Hazard Analyse nodig zijn om het seismisch risico verder te specificeren. Een klein gedeelte van de provincie Gelderland heeft overlap met de Roerdalslenk, waar volgens de voorgestelde richtlijnen altijd een Seismic Hazard and Risk Assessment uitgevoerd moet worden. Er zijn echter in relatie tot geïnduceerde seismiciteit geen gebieden in Gelderland op voorhand uitgesloten voor de ontwikkeling van geothermie;
- in de provincie Gelderland bevinden zich net als in de rest van het land beschermde (grond)watervoorraden. Deze risico's zijn echter niet specifiek voor de provincie Gelderland, en ook niet groter of kleiner dan elders in het land.

4.6 Referenties

- 1 ThermoGIS.nl.
- 2 Kansen geothermie in stadsregio Arnhem-Nijmegen, IF Technology 2015.
- 3 Voorstel voor een seismische gevaren- en risicoanalyse voor geothermische projecten in Nederland, Q-Con & IF Technology 2016.

