

Geothermie in Nederland: wat betekent dat voor het grondwater?

De ondergrond is belangrijk voor mens en maatschappij. We leven, recreëren en verbouwen ons voedsel op de bovenste meters, de bodem. Daaronder bevindt zich tot op ongeveer 500 meter diepte de ‘ondiepe’ ondergrond, een bron van onder andere drinkwater. Bij geothermie wordt aardwarmte gewonnen op meer dan 500 meter diepte. Vanuit technisch oogpunt is het mogelijk dat op dezelfde geografische locatie de ondergrond gelijktijdig meerdere functies kan vervullen, zoals geothermie en drinkwaterwinning.

Dit informatieblad maakt inzichtelijk welke risico's geothermie mogelijk met zich meebrengt voor het grondwater. Bij geothermie wordt warm water opgepompt uit aardlagen die zich meer dan 500 meter onder het aardoppervlak bevinden. Na de onttrekking van warmte uit dat water wordt het weer terug in dezelfde aardlaag gepompt (zie Figuur 1). In binnen- en buitenland is met dergelijke aardwarmtewinning al veel ervaring opgedaan.

Om de mogelijke risico's voor het Nederlandse grondwater bij geothermie te minimaliseren zijn procedures, voorzorgsmaatregelen en mitigerende maatregelen opgesteld die vastgelegd zijn in wet- en regelgeving en aanvullende richtlijnen. Bij aardwarmtewinning worden veel processen continu gemonitord zodat eventuele ongewenste gebeurtenissen snel opgemerkt kunnen worden en gepaste actie ondernomen kan worden. Zodoende kan worden voorkomen dat geothermisch water in aanraking komt met het zoete grondwater in de ondiepe ondergrond.

Leeswijzer

Dit informatieblad is bedoeld voor iedereen die beroepsmatig behoefte heeft aan kennis over de risico's van geothermie voor het grondwater. Het beschrijft welke ongewenste gebeurtenissen bij aardwarmtewinning het grondwater kunnen beïnvloeden, met daarbij de maatregelen en procedures om de mogelijke risico's voor grondwater te minimaliseren.

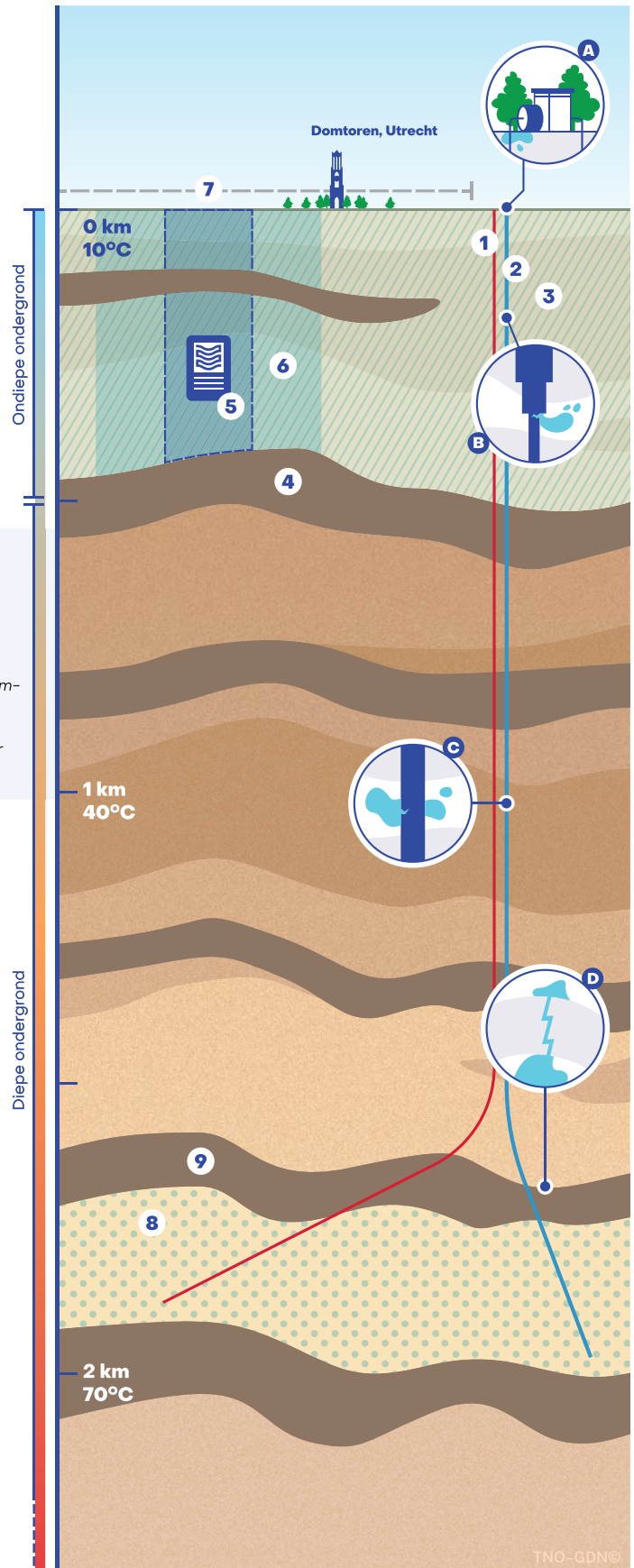
Dit informatieblad gaat van start met achtergrond-informatie: wat is geothermie en hoe wordt daarbij te werk gegaan? Deel 1 beschrijft vervolgens per diepte-interval de situatie tijdens de aardwarmtewinning, in deel 2 wordt de situatie tijdens de aanleg van het systeem beschreven. Dit omdat de aanlegfase een relatief korte periode is (enkele maanden), terwijl aardwarmtewinning tientallen jaren duurt. Tenslotte gaat deel 3 in op de risico's van geothermie bij grondwaterbeschermingsgebieden.

- 1 Productieput
- 2 Injectieput
- 3 Zoetwatervoorraad
- 4 Geohydrologische basis
- 5 Waterwingebied
- 6 Grondwaterbeschermingsgebied
- 7 Boringsvrije zone
- 8 Geothermiereservoir
- 9 Afdichtende laag

Figuur 1: Doorsnede van het bovenste deel van de aardkorst met daarin de aardlagen die doorboord worden om een geothermiesysteem te realiseren. Bij het beschrijven van de risico's van geothermie voor het grondwater worden vier dieptebereiken onderscheiden:

- A de aardwarmtewinningsinstallatie aan het oppervlak;
- B de bovenste honderden meters van de ondergrond met daarin grondwater dat zich boven de geohydrologische basis bevindt en dus actief deelneemt aan de natuurlijke waterkringloop;
- C de diepe ondergrond die zich tussen de geohydrologische basis en het geothermiereservoir bevindt;
- D de boven het geothermiereservoir gelegen afdichtende laag, met daarboven de eerstvolgende watervoerende laag.

De getoonde dieptes zijn voorbeelddieptes, dit is locatie specifiek en verschilt per aardwarmtewinning.



Contents

Achtergrondinformatie	4
-----------------------	---

Deel 1:

Welke risico's voor het grondwater kan geothermie tijdens de aardwarmtewinning met zich meebrengen?	8
---	---

A: Kan het aardoppervlak tijdens aardwarmtewinning vanuit de oppervlakte-installatie verontreinigd raken?	8
---	---

B: Kan de ondiepe ondergrond tijdens aardwarmtewinning verontreinigd raken?	10
---	----

C: Kan aardwarmtewinning diepe aardlagen verontreinigen?	13
--	----

D: Kan de omgeving van het geothermiereservoir tijdens aardwarmtewinning worden beïnvloed?	15
--	----

Deel 2:

Welke risico's voor het grondwater kan geothermie tijdens de aanlegfase met zich meebrengen?	18
--	----

Deel 3:

Geothermie en grondwaterbeschermingsgebieden	22
--	----

Tot slot	24
----------	----

Meer weten?	25
-------------	----

Achtergrondinformatie

Dit deel verstrekt achtergrondinformatie en introduceert de in dit informatieblad genoemde begrippen. Er wordt allereerst ingegaan op geothermie en hoe het zit met opbouw van de Nederlandse ondergrond. Vervolgens worden de begrippen verontreiniging en vervuiling toegelicht, evenals ongewenste gebeurtenissen, risico's en maatregelen. Tot slot wordt aandacht besteed aan regels en toezicht aangaande de mogelijke invloed van geothermie op het grondwater.

Geothermie: warmte uit de diepe ondergrond

Hoe dieper in de aarde, hoe hoger de temperatuur. Die warmte kan worden benut als duurzame energiebron. Bij geothermie wordt aardwarmte gewonnen door warm water op te pompen. Dat warme water bevindt zich in gesteentelagen op meer dan 500 meter onder het aardoppervlak. In Nederland zijn bijna alle geothermiesystemen tussen 1500 en 3000 meter diepte aangelegd.¹

De opbouw van de Nederlandse ondergrond verschilt van plek tot plek

De ondergrond bestaat uit een opeenstapeling van verschillende aardlagen die in de loop van vele miljoenen jaren zijn afgezet. Lagen waardoor water makkelijk kan stromen worden *watervoerende pakketten*, *aquifers* of *reservoirs* genoemd. Deze bestaan voornamelijk uit zand of zandsteen. Lagen waardoor water niet kan stromen bevatten klei, kleisteen, gips of steenzout en worden *afdichtende- of afsluitende lagen*, *aquitards*, *aquicludes* of *seals* genoemd.

De aardlagen in de bovenste honderden meters van de ondergrond bestaan veelal uit (een combinatie van) zand, klei, grind of veen en zijn nog niet verhard. Hoe dieper, hoe meer de lagen worden samengeperst door het gewicht van de bovenliggende lagen. Een stapel diepliggende, hard geworden aardlagen die tijdens een bepaalde periode zijn gevormd wordt een *gesteentepakket* genoemd. Dit kan bestaan uit zowel reservoirs als afdichtende lagen of uit een afwisseling daarvan. In totaal vormen reservoirs minder dan 3% van alle aardlagen; het overgrote deel van de ondergrond bestaat dus uit minder goed of niet-doorlaatbare aardlagen.²

De aardkorst bestaat uit verschillende aardplaten die van nature een aantal millimeter tot centimeter per jaar bewegen. Ondergrondlagen kunnen daardoor zijn gedeformeerd (gebroken en/of geplooid en/of schuin gesteld). Ook kunnen bepaalde lagen in de loop der geologische tijd zijn weggesleten. Daardoor zul je een bepaalde ondergrondlaag niet op iedere geografische locatie of op dezelfde diepte aantreffen.

Aardwarmtewinning, hoe werkt dat

In Nederland wordt de ondergrond per kilometer diepte ongeveer 30°C warmer.³ Uitgaande van een oppervlaktetemperatuur van 10°C betekent dit dat de temperatuur op 2 kilometer diepte circa 70°C is. De aardlaag waaruit het warme water wordt opgepompt is een poreuze en doorlatende gesteentelaag in de diepe ondergrond: het *geothermiereservoir*. Meestal is dat een zandsteenlaag. In de poriën daarvan zit warm water (*geothermisch water*). Om dit op te kunnen pompen worden minimaal twee putten geboord: een *productieput* en een *injectieput*. Deze vormen samen een *doublet*. Aan het aardoppervlak bevinden deze putten zich meestal in elkaars nabijheid, maar in de diepte ligt het uiteinde van de putten horizontaal gezien 700 tot 2000 meter uit elkaar.

Via de productieput wordt het geothermische water naar het aardoppervlak omhoog gepompt. Het opgepompte water stroomt bovengronds op de *aardwarmtewinningslocatie* in een gesloten circuit. Met een warmtewisselaar wordt de warmte uit het water gewonnen. Vervolgens wordt het afgekoelde water via de injectieput teruggepompt in het reservoir.

¹ Bodemenergiesystemen, zoals warmte- en koudeopslag (WKO's), bevinden zich in de ondergrond op minder dan 500 meter diepte. Dit informatieblad gaat uitsluitend over geothermiesystemen.

² Mijnlieff et al 2025: *Geothermal energy – from potential plays to successful growth*. In: ten Veen et al 2025: *Geology of the Netherlands*.

³ In andere landen kan dat anders zijn, met name in gebieden met vulkanische activiteit.

De injectietemperatuur hangt af van de toepassing en de winningsstrategie van de producent. In Nederland varieert die van 15 tot 50°C. Hierdoor koelt het reservoir rondom de injectieput af, samen met het aangrenzende deel van het onder- en bovenliggende afdichtende gesteentepakket. Door het terugvoeren van het afgekoelde geothermische water ontstaat zo een afgekoelde zone, diep in de ondergrond. Dat wordt ook wel *het geothermisch beïnvloedingsgebied* of 'de koude bel' genoemd. Het afgekoelde gebied wordt vanzelf weer opgewarmd door de altijd aanwezige constante warmtestroom vanuit het binnenste van de aarde naar het aardoppervlak. De eerste decennia verloopt deze opwarming relatief snel.⁴

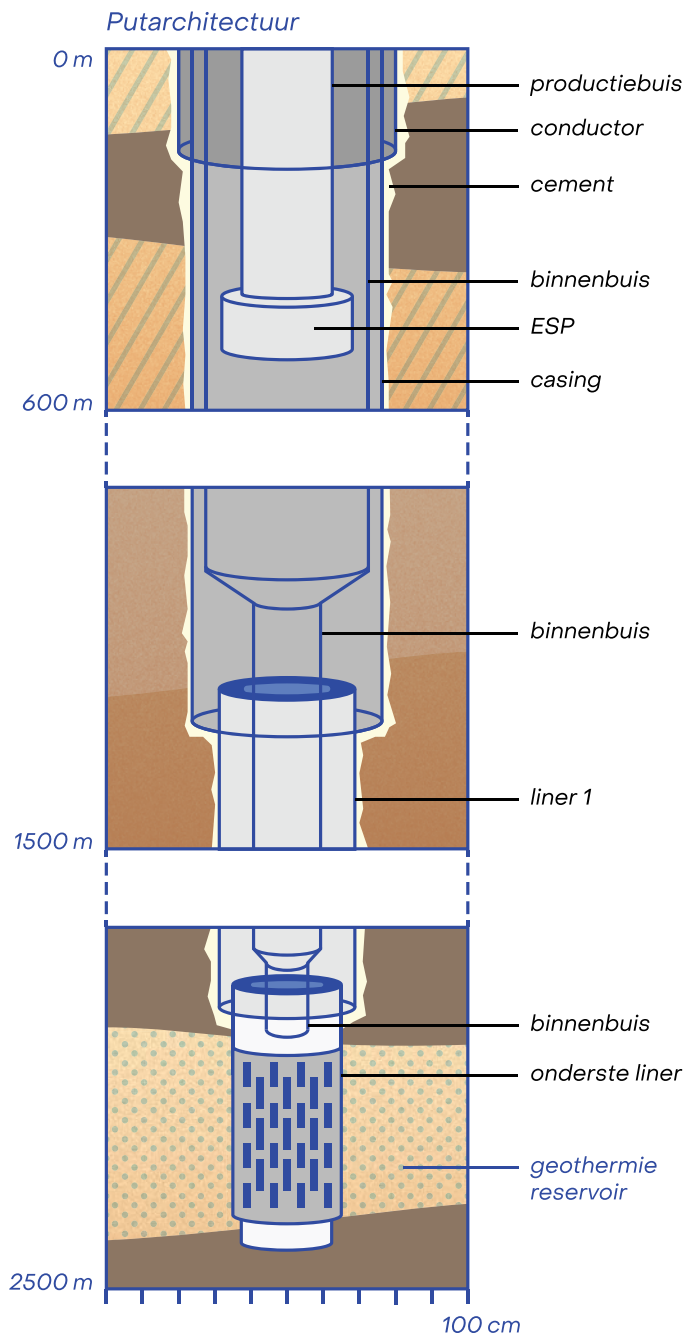
Een geothermieput is opgebouwd uit verschillende onderdelen

Een geothermieput bestaat in de ondergrond uit verschillende stalen buizen die samen de *verbuizing* van de geothermieput vormen, zie Figuur 2. De *Industriestandaard Duurzaam Putontwerp*⁵ geeft een leidraad hoe zo'n put moet worden opgebouwd. Deze leidraad wordt sinds januari 2021 gebruikt. De hoofdpunten van deze industriestandaard zijn in 2023 in wettelijke regelgeving opgenomen en gelden vanaf 1 juli 2023. Zo wordt een dubbele verbuizing voorgeschreven ter hoogte van ondergrondslagen die zoet of brak grondwater bevatten. Hier mag alleen van worden afgeweken als er een aantoonbaar gelijkwaardig of beter beschermingsniveau wordt gerealiseerd.

Figuur 2: Schematische weergave van de verbuizing van een geothermieput, volgens de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp. De vermelde dieptes zijn voorbeelddieptes; dit is locatiespecifiek en verschilt per aardwarmtewinning.

Een geothermieput bestaat uit meerdere buizen met verschillende diameters, waardoor een 'telescoopvorm' ontstaat. Die verschillende buizen vormen samen de verbuizing van de put:

- De conductor is een relatief brede buis vanaf het aardoppervlak tot in een afdichtende aardlaag. Een geothermieput wordt binnen een conductor geboord om het zoete grondwater ook tijdens de aanleg van de put te beschermen.
- Productiebuis: buis waardoor het geothermisch water naar de aardwarmtewinningsinstallatie stroomt.
- ESP (Electric Submersible Pump): een elektrische pomp die onderaan de productiebuis hangt om het geothermisch water omhoog te pompen.
- Casing: aaneengesloten stalen buis vanaf het aardoppervlak tot een bepaalde diepte. Een put kan meerdere casings bevatten die in diameter van elkaar verschillen; die vormen zo een meerwandige put.
- Binnenbuis: in de meeste gevallen wordt een binnenbuis geplaatst. Dit is een extra buis, vaak niet van ijzer maar (deels) van composiet. Die beschermt de ijzeren casing en liners tegen erosie (slijtage) en corrosie (roesten). Binnenbuizen kunnen relatief eenvoudig worden vervangen.
- Liner: buitenste putbuis die in de ondergrond aan een bovengelegen buitenste buis hangt. Onderste liner: speciale liner die voorzien is van een filter (of geperforeerd is), zodat het geothermische water vanuit het reservoir de put in kan stromen of andersom.



⁴ De Bruijn, E.A.M., Bloemendal, M., Ter Borgh, M.M., Godderij, R.G.G., Vossepoel, F.C. (2021): *Quantifying the contribution of heat recharge from confining layers to geothermal resources*. In: *Geothermics*, vol.93, 102072.

⁵ De hoofdpunten uit de *Industriestandaard Duurzaam Putontwerp* zijn overgenomen in het *Mijnbouwbesluit*.

Meerdere afdichtende pakketten

Het grondwater dat een actieve rol speelt in de natuurlijke waterkringloop bevindt zich boven de *geohydrologische basis*. Die wordt gevormd door een afdichtende kleilaag⁶ in de ondergrond. Deze ligt in het grootste deel van Nederland tussen 50 en 400 meter onder NAP. De aquifers die onder de geohydrologische basis liggen worden in principe niet gebruikt voor drinkwaterwinning.

Tussen het geothermiereservoir en het zoete grondwater bevinden zich meerdere afdichtende pakketten die het zoete grondwater scheiden van het geothermisch reservoir. Om welke pakketten het gaat en hoe dik die zijn is afhankelijk van de locatie en van de zandsteenlaag die als geothermiereservoir fungeert.⁷ De afdichtende pakketten worden gevormd door de kleilagen van de Noordzee Groepen, de kleisteenlagen van Rijnland Groep, de Altena Groep en Boven Germaanse Trias Groep, de Zechstein zouten, en de Carboon kleistenen.⁸

Vanwege de verschillende dieptes waarop de ondergrond wordt benut en omdat de ondergrond voornamelijk bestaat uit slecht doorlaatbare lagen kan, vanuit technisch oogpunt, de ondergrond op dezelfde geografische locatie gelijktijdig meerdere functies vervullen. Indien de functies op de verschillende dieptes goed van elkaar gescheiden zijn, vindt er geen verontreiniging plaats.

Wanneer spreekt men van verontreiniging en/of vervuiling?

Verontreiniging is simpelweg de aanwezigheid van een stof op een plek waar het van nature niet thuishoort. Of: de aanwezigheid van een grotere concentratie van een stof die van nature op die plek in een veel kleinere hoeveelheid voorkomt. *Vervuiling* is een verontreiniging die een negatief effect heeft (of zou kunnen hebben) op mensen, dieren en/of planten. Iedere vervuiling is per definitie een verontreiniging, maar een verontreiniging is niet altijd een vervuiling.⁹

Alle stoffen die als delfstoffen uit de ondergrond worden gewonnen, komen daar van nature voor. Dus ook geothermisch water en bijvoorbeeld olie en zware metalen. Die stoffen worden boven het aardoppervlak doorgaans aangemerkt als *vervuilend*. Wat in de ondiepe ondergrond een vervuiling is, hoeft in de diepe ondergrond geen verontreiniging te zijn. Want daar kunnen die stoffen van nature in bepaalde concentraties voorkomen. Het gaat om de mate waarin de natuurlijke omgeving wordt verstoord door de aanwezigheid van een stof die daar in de waargenomen concentratie niet van nature thuishoort.

De samenstelling van aardlagen in de ondergrond en ook de aard van vloeistoffen en gassen in die aardlagen is sterk afhankelijk van de plaatselijke opbouw van de ondergrond en de lokale geohydrologische condities. Deze kunnen per locatie sterk verschillen. Als dit ter plaatse niet precies bekend is, is het effect van een ongewenste gebeurtenis niet kwantificeerbaar. Daarom kan over de grootte van het verontreinigingsrisico van ongewenste gebeurtenissen vaak geen algemene uitspraak worden gedaan.

Ongewenste gebeurtenissen, risico's en maatregelen

Dit informatieblad beschrijft *ongewenste gebeurtenissen* die de kwaliteit van het grondwater zouden kunnen bedreigen. Het is belangrijk daarbij bewust te zijn van het verschil tussen een *ongewenste gebeurtenis* en een *risico*.

- Een ongewenste gebeurtenis is een gebeurtenis met een eventueel negatief gevolg, die mogelijk kan plaatsvinden. Bijvoorbeeld een lek in een buis waardoor geothermisch water in aanraking komt met zoet grondwater.
- Een risico is de kans dat een ongewenste gebeurtenis optreedt, gecombineerd met het negatieve effect van die ongewenste gebeurtenis: $\text{Risico} = \text{Kans} \times \text{Effect}$.

Zowel de grootte van de kans als de grootte van het effect beïnvloeden dus hoe groot het risico van een bepaalde ongewenste gebeurtenis is. Als bijvoorbeeld de kans op een bepaalde ongewenste gebeurtenis groot is maar het effect klein, kan dat resulteren in een klein risico.¹⁰

Verschillende soorten risico's

Hoe groot het risico van een ongewenste gebeurtenis is, hangt af van het gezichtspunt van waaruit de ongewenste gebeurtenis wordt beoordeeld.

Bijvoorbeeld: het lek raken van een buis is een ongewenste gebeurtenis. Maar als die gevuld is met hetzelfde water dat in de omringende aardlaag zit, heeft die gebeurtenis geen impact op het milieu. Wel werkt het systeem mogelijk minder effectief. Dat kan gevolgen hebben voor het functioneren van het systeem en dus de warmtelevering. Dezelfde gebeurtenis kan in het ene opzicht wel een risico vormen en in het andere opzicht niet.

⁶ De lagen die in het grootste deel van Nederland de geohydrologische basis vormen, namelijk de kleilagen van de Formatie van Maassluis en/of de kleilagen van de Formatie van Breda, zijn onderdeel van de Boven-Noordzee Groep. Zie de *Stratigrafische Nomenclator* voor een beschrijving van deze aardlagen.

⁷ De meeste aardwarmte-installaties pompen warm water op uit de reservoirs van de Boven-Jura en Onder-Krijt. Dit geldt voor alle installaties van Zuid-Holland, behalve twee, die aquifers van Trias ouderdom benutten. In Noord-Holland, Overijssel en Flevoland wordt aardwarmte gewonnen uit de reservoirs van het Rotliegend, in het noorden van Limburg fungeren reservoirs van het Onder-Carboon tot Devooen als geothermiereservoir. In Noord-Brabant was één installatie die geothermisch water oppompte uit aquifers van de Onder-Noordzee Groep, maar deze is buiten werking.

⁸ Zie de *Stratigrafische Nomenclator* voor een beschrijving van deze aardlagen.

⁹ Chapman, P.M., 2007: *Determining when contamination is pollution — Weight of evidence determinations for sediments and effluents*. Environment International 33 (2007) 492–501.

¹⁰ Een uitzondering hierop is een ongewenste gebeurtenis met een klein effect die gedurende een lange periode telkens opnieuw optreedt; dan is het uiteindelijke effect bij elkaar opgeteld groot wat resulteert in een groot risico.

De kans op het optreden van een ongewenste gebeurtenis wordt verkleind door het nemen van *voorzorgsmaatregelen*. Zo voorkomt een dubbele verbuizing bijvoorbeeld dat geothermisch water bij lekkage van de binnenste buis naar de omringende aardlagen lekt. Daarbij zorgen druksensoren tussen de buizen ervoor, dat een eventueel lek snel wordt vastgesteld. De gevolgen (het effect) van een ongewenste gebeurtenis kunnen worden verkleind door *mitigerende maatregelen*. Bijvoorbeeld: nadat een lek van de binnenste buis is vastgesteld, kan de warmtewinning tijdelijk worden stilgelegd. Daarna kan de lekkende buis worden gerepareerd of vervangen.

Om de mogelijke risico's voor het Nederlandse grondwater bij geothermie te minimaliseren zijn procedures, voorzorgsmaatregelen en mitigerende maatregelen opgesteld die vastgelegd zijn in wet- en regelgeving en aanvullende richtlijnen. Deze vastlegging kent verschillende vormen, zoals gestelde normen waaraan wordt getoetst of doelstellende wet- en regelgeving. De volgende paragraaf gaat verder in op bestaande voorschriften. Zoals bij alle menselijke activiteiten zal er ook bij geothermie nooit sprake zijn van 0% kans op een ongewenste gebeurtenis; een incident of menselijke fout kan nooit volledig worden uitgesloten, ondanks alle voorschriften en voorzorgsmaatregelen.

Regels en toezicht aangaande de mogelijke invloed van geothermie op het grondwater

Deze paragraaf schetst in hoofdlijnen welke voorschriften gelden en waar die zijn vastgelegd. Winning van aardwarmte op meer dan 500 meter diepte¹¹ (*geothermie*) valt onder de nationale Mijnbouwwet (MBW), het onderliggende Mijnbouwbesluit (MBB) en de Mijnbouwregeling (MBR). Daarin zijn regels vastgelegd voor het opsporen en winnen van aardwarmte. Daarnaast schrijft de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)¹² regels voor hoe met grondwater moet worden omgegaan.

Ontwikkelaars van geothermieprojecten zijn verplicht om de risico's voor mens en milieu van tevoren te onderzoeken. In de Omgevingswet is geregeld waaraan de bovengrondse activiteiten moeten voldoen en er is een omgevingsvergunning nodig om die uit te voeren. Onderdelen van deze wet bevatten regels voor milieubelastende activiteiten, zoals diepe boringen die nodig zijn voor aardwarmtewinning, en normen in de vorm van interventiewaarden die niet overschreden mogen worden. Voor en tijdens de aardwarmtewinning moeten ontwikkelaars verschillende voorzorgsmaatregelen treffen en veiligheidsprocedures naleven. Voor de boorfase wordt een werkprogramma opgesteld dat van tevoren door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) wordt beoordeeld. SodM houdt toezicht op de naleving van de wet- en regelgeving tijdens de complete levensduur van het project: de realisatie, operatie, buiten gebruikstelling en de nazorgfase. Dat is vastgelegd in de Mijnbouwwet en nader omschreven in het *Toezichtarrangement Geothermie*¹³.

Het Ministerie van Klimaat en Groene Groei is bevoegd om vergunningen voor aardwarmtewinning te verlenen op grond van de Mijnbouwwet¹⁴. Zij worden daarover geadviseerd door organisaties¹⁵ die o.a. kennis hebben van de ondergrond en de status van het grondwater (inclusief mogelijk toekomstig gebruik). Omdat de aard en samenstelling van aardlagen en de vloeistof of gassen daarin per geothermielocatie verschilt is de Mijnbouwwet doelstellend van aard. Dat betekent dat in de wet wordt gesteld dat een vergunning geheel of deels kan worden afgewezen bij onaanvaardbare nadelige gevolgen, of als de aansprakelijkheid voor eventuele verontreiniging van grondwater of bodem niet gedekt kan worden (MBW artikel 24t en 24aj). Geothermie ontwikkelaars moeten aantonen dat zij voldoen aan hun zorgplicht en dat zij geen schade door verontreiniging van grondwater of bodem veroorzaken. Als geothermie ontwikkelaars niet aan hun zorgplicht voldoen kan SodM aanwijzingen geven, dwangsommen opleggen of zelfs de operatie stilleggen tot de problemen zijn opgelost.¹⁶

11 Voor systemen ondieper dan 500 meter ligt het bevoegd gezag bij de betreffende provincie. De provincie is dan ook toezichthouder. Systemen die dieper gaan dan 500 meter diepte vallen onder toezicht van het Staatstoezicht op de Mijnen (inclusief 'het ondiepe deel': de bijbehorende bovengrondse installatie en de putdelen in het dieptebereik 0 tot 500 meter).

12 De Rijksoverheid heeft de *Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)* omgezet in Nederlandse wet- en regelgeving. Dit staat in de *Omgevingswet* en in het *Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)*.

13 SodM 2025: *Toezichtarrangement Geothermie*.

14 *Vergunningenprocedure Aardwarmte*.

15 De Mijnraad, het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), de Waterschappen, de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO), gemeenten en provincies. Zie: *Welke organisaties adviseren het ministerie van Economische Zaken en Klimaat?*

16 SodM 2021: *Evaluatie Aanbevelingen Staat van de Sector Geothermie*.

Deel 1: Welke risico's voor het grondwater kan geothermie tijdens de aardwarmte-winning met zich meebrengen?

Dit deel beschrijft welke ongewenste gebeurtenissen tijdens aardwarmtewinning zouden kunnen optreden en wat daarvan het gevolg kan zijn. Vervolgens wordt ingegaan op de risico's die dat voor het grondwater met zich mee kan brengen en welke maatregelen genomen (kunnen) worden om de risico's te verkleinen. Daarbij worden vier diepte-intervallen onderscheiden (zie Figuur 1):

- E. het aardoppervlak inclusief de bodem
- F. de ondiepe ondergrond met daarin grondwater
- G. de aardlagen die zich op meer dan 500 meter diepte bevinden
- H. de gesteentelagen rondom het diepgelegen geothermiereservoir



A: Kan het aardoppervlak tijdens aardwarmtewinning vanuit de oppervlakte-installatie verontreinigd raken?

Op de aardwarmtewinningslocatie staat een installatie met buizen, pompen en warmtewisselaars. Dit is een gesloten systeem en kan goed worden gemonitord. Bij een lek of bij werkzaamheden aan de installatie zouden zout geothermisch water of andere vloeistoffen gemorst kunnen worden. Dit deel beschrijft hoe tijdens aardwarmtewinning verontreiniging van de bodem of het oppervlaktewater zou kunnen optreden. Ook worden de maatregelen die daartegen kunnen worden genomen beschreven.

Welke stoffen brengt aardwarmtewinning met zich mee?

De op het productieterrein aanwezige stoffen kunnen als volgt worden onderverdeeld:

- (vloeistoffen) die worden opgepompt;
- mijnbouwhulpstoffen die aan het geothermisch water worden toegevoegd;
- vloeistoffen en materialen voor het functioneren en onderhoud van de installatie.

Het opgepompte geothermische water is ca. 1,5 tot 10 keer zo zout als zeewater, afhankelijk van de diepte en de gesteentelaag waaruit het wordt opgepompt. Daardoor kan het *corrosief* zijn: het kan een chemische reactie aangaan met bijvoorbeeld het metaal van de installatie. Dat kan de installatie aantasten en lekkage veroorzaken. Om aantasting te voorkomen bekleeft men de binnenste buizen steeds vaker met corrosiebestendig materiaal. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een *corrosie inhibitor*. Daarbij voegt men een hulpstof aan het geothermisch water toe. Die hecht zich aan de binnenkant van de buis en beschermt het staal tegen corrosie.¹⁷

Van nature bevat geothermisch water opgeloste stoffen en elementen die in de diepe ondergrond voorkomen. Bijvoorbeeld gassen (zoals methaan en CO₂), olie, zware metalen (zoals lood) of lage concentraties van nature radioactieve stoffen (*NORM*). Bij het oppompen van het geothermisch water kunnen kleine deeltjes van het reservoirgesteente loskomen. Ook die komen met het geothermisch water mee. De bovengrondse installatie bevat filters om deze fijne deeltjes eruit te halen. Zo raakt de injectieput niet verstopt. De deeltjes kunnen licht radioactief zijn. De filters worden regelmatig vervangen; met dit licht radioactieve materiaal wordt zorgvuldig omgegaan.¹⁸ Als in het geothermische water van nature gas aanwezig is, wordt ook dit vaak bovengronds uit het water gehaald.¹⁹

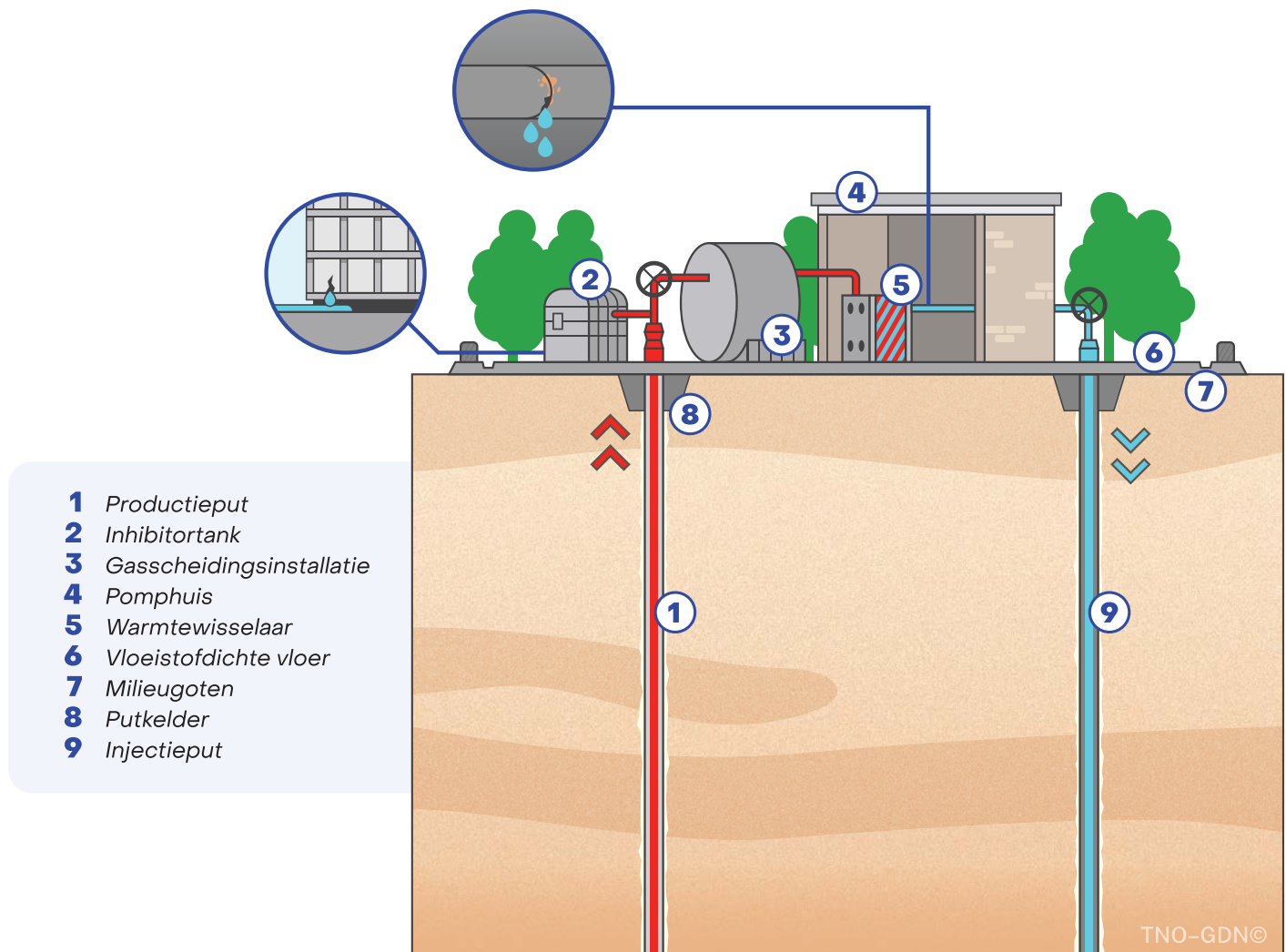
¹⁷ Witteveen en Bos (2019): Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie.

¹⁸ Het stralingsniveau ligt ruim beneden de grenswaarden uit het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). De Kernenergiewet stelt eisen aan het omgaan met van nature radioactieve materialen (NORM). De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) heeft SodM aangewezen om erop toe te zien dat men zich aan de eisen houdt. Zie verder: [Is aardwarmte veilig?](#) en [Herziene Industriestandaard NORM](#).

¹⁹ Het verkregen gas wordt meestal gebruikt voor verwarming of warmte-kracht koppeling (WKK), zie [Factsheet Duurzaamheid Geothermie](#) (2021).

Voorzorgsmaatregelen voorkomen dat eventueel gemorste stoffen de omgeving vervuilen

De kans dat de gelekte of gemorste stoffen buiten de locatie treden en in de bodem terecht komen is klein. Om een eventuele lekkage van de installatie snel te ontdekken, wordt de druk van de installatie continu gemonitord. Als lekkage optreedt wordt de productie gestopt, zal de lekkage snel stoppen en kan het lek gerepareerd worden. Verder kunnen bij werkzaamheden op het productieterrein stoffen worden gemorst. Daarom wordt de bodem van de aardwarmtewinningslocatie beschermd door een vloeistofdichte vloer, putkelders, milieugoten en opstaande randen. Deze voorzorgsmaatregelen voorkomen dat bij lekkage of morsen stoffen in de bodem terecht komen. SodM inspecteert minimaal jaarlijks elke aardwarmtewinningslocatie om te controleren of de voorschriften goed worden nageleefd. Als er ondanks alle voorzorgsmaatregelen en inspecties toch een incident optreedt, moet dat direct gemeld worden bij SodM.



Figuur 3: Inrichting aardwarmtewinningslocatie met oppervlakte-installaties, waarbij mogelijk lekkage van buizen of vloeistoftanks kan plaatsvinden.



B: Kan de ondiepe ondergrond tijdens aardwarmtewinning verontreinigd raken?

Geothermieputten worden door aardlagen die zoet water kunnen bevatten heen geboord. Het zoete grondwater is belangrijk, onder andere voor de drinkwatervoorziening. Tot op welke diepte het zich bevindt, verschilt van plek tot plek. Het gaat om de bovenste honderden meters van de ondergrond. Om te voorkomen dat de kwaliteit van het grondwater nadelig wordt beïnvloed, worden verschillende maatregelen genomen. Dit deel beschrijft ongewenste gebeurtenissen die het grondwater zouden kunnen verontreinigen, alsook de maatregelen die daartegen worden genomen.

Verschillende soorten verontreiniging

Er kunnen drie verschillende soorten verontreiniging van het zoete grondwater optreden:

- chemische verontreiniging;
- thermische verontreiniging;
- biologische verontreiniging.

Thermische verontreiniging wordt veroorzaakt door *warmte-uitstraling* vanuit de put, chemische verontreiniging door *lekkage*. Zowel thermische als chemische verontreiniging kunnen vervolgens biologische verontreiniging veroorzaken. Als de temperatuur en/of chemische samenstelling van de omgeving verandert, kunnen eventueel aanwezige (micro) biologische organismen zich sterk vermenigvuldigen. Denk bijvoorbeeld aan verhoogde bacterie- of schimmelmicrobiële groei door warmere condities of toegevoerde voedingsstoffen. Bij lekkage zouden ook nieuwe (micro)organismen in het milieu terecht kunnen komen. Die zouden met hun stofwisseling de omgeving chemisch kunnen veranderen door bepaalde stoffen uit te scheiden.

Een goed putontwerp en het uitvoeren van putintegriteitsplannen voorkomen putlekkage

Door corrosie (roesten), erosie (slijtage) of mechanische oorzaken (breken als gevolg van vervorming) kunnen putbuizen lek raken. In productieputten treedt aanzienlijk meer corrosie op dan in injectieputten.²⁰ In de productieput is de druk lager dan in de omringende aardlagen. Het is immers 'de zuigende put' waarmee het geothermische water wordt opgepompt. Daarom zal water uit de omringende aardlagen bij een lek van de productieput eerder de put in- dan uitstromen. Op momenten dat de winning wordt stilgelegd en er druk op het water in de buis wordt uitgeoefend, zou er wel water door een lek vanuit de productieput naar de omringende aardlagen kunnen ontsnappen.

Verschillende soorten grondwater

Water dat zich in het ondiepste deel van de Nederlandse ondergrond bevindt varieert van zoet tot zout. Het is niet zouter dan zeewater. De diepte tot waar zoet of brak water voorkomt varieert. In Nederland komt tot maximaal ~600 meter onder NAP zoet of brak water voor. In een groot deel van Nederland ligt de overgangszone naar zout water ondieper dan 200 meter. Maar in kustregio's kan zout grondwater zich bijna aan het oppervlak bevinden.

Water in de diepere ondergrond is zouter dan zeewater. Als vuistregel geldt: des te dieper in de ondergrond, des te zouter het water. Water dat in de poriën en/of spleten van diepliggende gesteentelagen zit, wordt formatiewater genoemd. Het formatiewater dat uit het geothermiereservoir wordt opgepompt noemt men geothermisch water. Geothermisch water is 1,5 tot maximaal 10 keer zo zout als zeewater.

Volgens de geldende voorschriften mogen verschillende soorten grondwater niet met elkaar in aanraking komen als gevolg van menselijk handelen. Omdat zout water een hogere dichtheid heeft, is het zwaarder dan zoet water. Gas en olie kunnen vanwege hun lagere dichtheid de neiging hebben uit zichzelf naar boven te willen stromen. Zout water niet. Het heeft daarvoor een externe drijvende kracht nodig.

Als het polderpeil lager ligt dan zeeniveau, kan in laaggelegen kustgebieden zoute kwel optreden. Daarbij welt in de poldersloten zout zeewater op. Dat komt omdat de niveauverschillen een drukverschil veroorzaken; die druk vormt bij zoute kwel de externe kracht die het zoute water in beweging brengt.

Om de kans op putlekkage te minimaliseren wordt sinds 1 januari 2021 gewerkt met de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp²¹. Als voorzorgsmaatregel worden in het boorgat meerdere buizen geplaatst die om elkaar heen passen, in ieder geval ter hoogte van het zoet- en/of brakwaterbereik. Die vormen een dubbele barrière tussen het geothermisch water en de omgeving. Daardoor lekt het geothermische water bij een lekkage van de binnenste buis niet direct naar de omgeving.²² Bij lekkage van de binnenbuis verandert de druk tussen de buizen; sensoren kunnen drukveranderingen in een vroeg stadium detecteren.²³ Na detectie kan het lek worden verholpen, bijvoorbeeld door de verbuizing te vervangen.

²⁰ Deltafact 2020: Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit.

²¹ De hoofdpunten uit de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp zijn overgenomen in het Mijnbouwbesluit.

²² In het Mijnbouwbesluit Artikel 29a staat dat de startvergunning kan worden afgewezen als er geen dubbele verbuizing is ter hoogte van zoet en brakwaterlagen. Voorts staat in Mijnbouwregeling Artikel 1.3b.2, lid 2k: "indien het ontwerp van de put geen dubbele verbuizing ter hoogte van zoet- en brakwaterlagen bevat, bevat de aanvraag voor een startvergunning aardwarmte een onderbouwing waaruit blijkt dat het ontwerp de putintegriteit ten minste even goed borgt als een dubbele verbuizing."

²³ Of ook aanvullende monitoring van het grondwater in de omgeving van de geothermieputten in specifieke gevallen van toegevoegde waarde zou kunnen zijn wordt onderzocht (Van Lopik, J. en Hartog, N., 2023).

De eerste generatie geothermieputten waren meestal enkelwandig. Deze putten hebben geen dubbele barrière waardoor bij lekkage het geothermisch water naar de omgeving lekt, en drukmonitoring met behulp van sensoren niet mogelijk is. Hierbij is de controle van putwanddikte extra van belang. Veel van de eerste generatie geothermieputten zijn inmiddels aangepast door alsnog een binnenbuis te plaatsen.

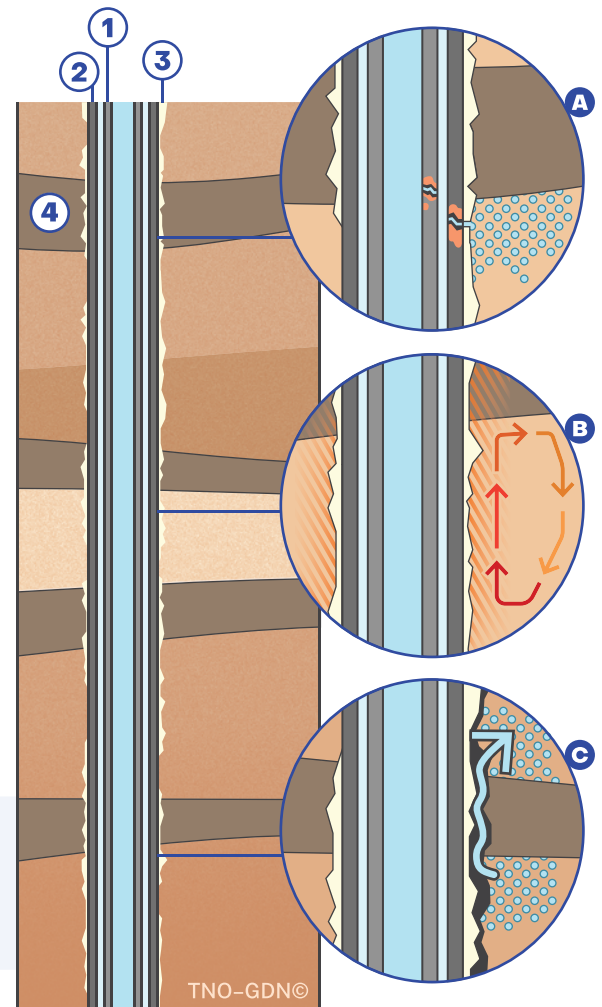
Voor elke put, enkelwandig of dubbelwandig, wordt een *putintegriteitsplan*²⁴ opgesteld. Hierin staat op welke wijze en hoe vaak de put wordt gemonitord en wanddiktemetingen worden uitgevoerd. Ook is voor elke put een *putintegriteit beheerssysteem*²⁵ opgesteld, waarin het bedrijf aangeeft welke (beheers)maatregelen getroffen worden om de putwanden integer te houden en zo putlekkages te voorkomen. SodM houdt toezicht op de uitvoering hiervan. De kans op lekkage is met de nieuwe regels klein.

In hoeverre kan de temperatuur van de ondiepe ondergrond worden beïnvloed?

De Kaderrichtlijn Water¹² bepaalt dat de (grond)waterkwaliteit in goede toestand moet verkeren. Daaronder verstaat men ook de temperatuur van het water. In de nabijheid van aardwarmtewinning zal de temperatuur van het grondwater worden beïnvloed. Met name bij een groot verschil in temperatuur tussen de put en de ondergrond. Het geothermische water dat tot nu toe in Nederland wordt opgepompt is 60 tot 90°C. De productieput wordt daardoor warmer tijdens het functioneren van het systeem. In eerste instantie warmen alleen de buizen op. Door warmtegeleiding zullen daarna ook het grondwater en de aardlagen in de nabijheid van de put opwarmen.

Zowel modelberekeningen²⁶ als een veldstudie²⁷ geven aan dat met name de directe omgeving van de put te maken krijgt met temperatuursveranderingen. Bij een zeer hete put zullen de aardlagen op een afstand van enkele honderden meters van de put na meerdere decennia maximaal enkele graden warmer zijn. Als in de ondergrond van nature sprake is van grondwaterstromingen, zal de temperatuur van het grondwater in de directe nabijheid van de put minder toenemen. Het water dat in de poriën van de aardlagen zit koelt dan af door vermenging met kouder grondwater.

- 1 Binnenbuis
- 2 Buitenbuis (casing)
- 3 Cement
- 4 Afdichtende lagen



Figuur 4: Mogelijke ongewenste gebeurtenissen bij geothermieputten in de ondiepe en diepe ondergrond. Van boven naar beneden:

- A verontreiniging als gevolg van putlekkage;
- B temperatuurbeïnvloeding die convectiestroom op gang brengt;
- C mengen van water uit verschillende watervoerende lagen als gevolg van stroming langs de buitenkant van de verbuizing vanwege onvoldoende cementering aan de afdichtende laag.

Door temperatuursveranderingen kan het chemisch evenwicht in het grondwater verschuiven. Dit zou kunnen leiden tot chemische reacties.²⁸ Daarnaast kan de opwarming van de aardlaag rondom de put de microbiologische activiteit plaatselijk veranderen. Dit kan de kwaliteit van het grondwater beïnvloeden, zowel in negatieve als positieve zin.²⁹ Mogelijke geochemische en microbiologische verstoringen blijven veelal beperkt tot enkele tientallen meters van het

²⁴ Een putintegriteitsplan wordt ook wel het Well Integrity Management Plan (WIMP) genoemd. In de *Mijnbouwregeling, Artikel 8.3.5.1.d* staat omschreven wat hierin minimaal moet worden vastgelegd.

²⁵ Een putintegriteit beheerssysteem wordt ook wel het Well Integrity Management System (WIMS) genoemd. In de *Mijnbouwregeling, Artikel 8.3.5.1.d* staat omschreven wat hierin minimaal moet worden vastgelegd.

²⁶ Peeters et al 2021: *Rapportage milieuhygiënische risico's thermische vervuiling nabij geothermieputten*.

²⁷ Bij Naaldwijk loopt een *temperatuurmonitoringproject*; 3 jaar na de start van de warmteproductie werden op 9 meter afstand van de put 20 tot 25°C hogere temperaturen gemeten dan op 63 meter afstand.

²⁸ Door kleine veranderingen in pH/chemisch evenwicht zouden stoffen (sporenelementen) kunnen vrijkomen en in het grondwater kunnen worden opgenomen, die voorafgaand aan de opwarming niet mobiel waren. Wellicht blijven deze stoffen mobiel en worden ze niet opnieuw vastgelegd nadat ze door grondwaterstroming weer in een koudere omgeving terecht komen. Nader onderzoek kan meer duidelijk verschaffen of dit proces inderdaad optreedt en zo ja, in welke mate.

²⁹ Men rapporteert dat een temperatuursverhoging in de nabijheid van open WKO-systemen (20 tot 300 meter onder het aardoppervlak) zelden resulteert in een toename van het totale aantal micro-organismen in het grondwater. (Lieten et al 2012: *Meer met bodemenergie*).

putsysteem²⁶ en vormen in de praktijk geen bedreiging voor de milieuhygiënische kwaliteit van het grondwater in ondiepe aquifers nabij grondwateronttrekkingen.

Temperatuurverschillen kunnen ook *convectiestromen* veroorzaken: warmer water beweegt omhoog en kouder water omlaag. Theoretisch kan daardoor de positie van een eventueel aanwezig grensvlak (of geleidelijke overgangszone) tussen zoet en zout grondwater veranderen.³⁰ Ook de verspreiding van eventueel reeds aanwezige bodemverontreiniging kan door dergelijke stroming worden beïnvloed. Niet alleen de grootte van de temperatuurverschillen en de dikte van de watervoerende laag bepalen hoeveel water door de opwarming in beweging komt. Ook de mate van doorlatendheid van de aardlaag beïnvloedt de maximale afstand die het water ten opzichte van de put zijwaarts kan afleggen.²⁶ In doorlatende zandpakketten kunnen ook slecht doorlatende lagen voorkomen zoals kleilagen. Deze beperken de grootte van convectiestromen doordat ze stroming tegenhouden. Mogelijke thermisch gedreven stromingen blijven veelal beperkt tot circa 100 meter van het putsysteem en vormen in de praktijk geen bedreiging voor de milieuhygiënische kwaliteit van het grondwater in ondiepe aquifers nabij grondwateronttrekkingen.²⁶

Het belang van een goede afdichting tussen de put en de omringende aardlagen

Het is belangrijk dat de afdichting tussen de verbuizing en afdichtende, slecht doorlatende kleilagen voldoende is. Anders zou grondwater zich langs de buitenkant van de put van de ene naar de andere aardlaag kunnen verplaatsen (dit geldt ook voor eventueel reeds aanwezige grondwaterverontreinigingen) en kan vermenging van water uit verschillende lagen optreden. Om dit te voorkomen wordt de ruimte tussen de verbuizing en de omringende ondoorlatende aardlagen na het boren opgevuld met ondoorlatend materiaal.³¹ Door opwarming en afkoeling van de buizen zou dit materiaal na verloop van tijd zijn hechtende werking kunnen verliezen. Daarom wordt de afdichting tussen de verbuizing en de omringende afdichtende aardlagen tijdens de periode van aardwarmtewinning gemeten en beoordeeld.³² In het monitoringsprotocol wordt vastgelegd op welke wijze en hoe vaak dit gedaan wordt.

30 Van Lopik et al 2015: *Salinization in a stratified aquifer induced by heat transfer from well casings*.

31 De *Industriestandaard Duurzaam Putontwerp* bevat hiervoor richtlijnen.

32 Zie *Mijnbouwregeling, Artikel 8.3.5.1.d*.



C: Kan aardwarmtewinning diepe aardlagen verontreinigen?

Tussen de ondiepe aardlagen en het geothermiereservoir bevindt zich een pakket aardlagen. Meestal is dat meer dan een kilometer dik. Het water dat zich hierin bevindt is zout en wordt niet gebruikt voor bijvoorbeeld de drinkwatervoorziening. Op deze diepte kunnen dezelfde ongewenste gebeurtenissen optreden als in de ondiepe ondergrond (zie Figuur 4). De effecten voor mens en milieu zijn nog veel kleiner tot verwaarloosbaar. Dit deel beschrijft de effecten van ongewenste gebeurtenissen in de diepe aardlagen. Ook worden de maatregelen die daartegen genomen worden beschreven.

Chemische effecten van putlekkage in de diepe ondergrond zijn klein

Het verschil in samenstelling tussen het geothermisch water en het water dat zich in de omringende diepe aardlagen bevindt is niet zo groot als tussen het geothermische water en het water in de lagen boven de geohydrologische basis. Het poriënwater van de diepe aardlagen (*formatiewater*) is van nature zelf ook zout. Daarom zijn de effecten van eventuele putlekkage voor het diepe milieu veel kleiner (tot verwaarloosbaar) dan op de diepten waarop zich zoet grondwater bevindt. Toch wil men het weglekken van geothermisch water voorkomen, zodat de balans tussen de hoeveelheid opgepompt en geïnjecteerd water behouden blijft. Het kan namelijk tot ongewenste drukverschillen in het reservoir leiden als die balans door het weglekken van grote hoeveelheden geothermisch water ernstig zou worden verstoord.

Gelekt geothermisch water zou in de diepe ondergrond chemisch kunnen reageren met de omringende aardlagen. Theoretisch kan dat de sterkte beïnvloeden van afdichtende lagen die bestaan uit zout, gips of anhydriet. In de Nederlandse situatie zou het daarbij gaan om het oplossen van zout.³³ Geothermisch water bevat van nature meestal meer dan de helft van de hoeveelheid zout die erin kan worden opgelost. Als een put lekt ter hoogte van een zoutlaag, dan kan het ontsnappende geothermisch water inderdaad nog wat zout oplossen. Maar als gevolg daarvan raakt dat water al snel verzadigd (zie tekstkader). Zodoende stopt het proces vanzelf. Daarom gaat het bij een dergelijke lekkage om een kleine hoeveelheid zout. De afdichtende werking van de zoutlaag wordt door een dergelijk lek niet bedreigd; het effect van deze ongewenste gebeurtenis is dus klein.

Verzadiging van water

De hoeveelheid zout die in water kan worden opgelost is beperkt. Water waarin zoveel zout is opgelost dat het niet nog meer zout kan bevatten, is verzadigd. Kan er nog wel zout bij, dan is het onverzadigd.

In heet water kan meer zout worden opgelost dan in koud water. Als zout water afkoelt kan het daarom oververzadigd raken. Dan zal vanuit het water zout neerslaan in het gesteente.

In hoeverre kan de temperatuur van de diepe aardlagen beïnvloed worden?

De temperatuur van de bodem is aan het oppervlak gemiddeld 10°C. Per kilometer diepte wordt het onder de grond ongeveer 30°C warmer. Het geothermische water dat tot op heden in Nederland wordt opgepompt heeft een temperatuur van 60 tot 90°C en warmt de productieput op. Aan het aardoppervlak is het temperatuurverschil tussen de productieput en diens omgeving het grootst. Onderin hebben de productieput en de omringende aardlagen dezelfde temperatuur. Oftewel: des te dieper, des te kleiner het temperatuurverschil tussen de productieput en de omringende aardlagen.

Dicht bij het aardoppervlak zal de productieput de nabije omgeving het sterkst opwarmen. Bij de injectieput ligt dit anders. De temperatuur van het geïnjecteerde water verschilt per installatie en ligt meestal tussen 15 tot 50°C. In principe is het temperatuurverschil tussen de injectieput en de omringende lagen onderin de put het grootst. Daardoor zal de omgeving van de put in de diepe aardlagen in enige mate afkoelen. Als gevolg van afkoeling kan het chemisch evenwicht in het diepe poriënwater verschuiven. Daardoor kunnen zouten neerslaan. Dit wordt niet als probleem gezien: het diepe poriënwater (*formatiewater*) is van zichzelf reeds zout en de omringende aardlagen kunnen ook van nature zout bevatten.³⁴

Het belang van goede cementatie van de verbuizing

Een goede cementatie van de verbuizing voorkomt dat water zich langs de buitenkant van de put van de ene naar de andere aardlaag kan verplaatsen. Afkoeling kan de integriteit van het cement dat tussen de put en de omringende aardlagen zit beïnvloeden. In hoeverre dat gebeurt hangt af van de mate en reikwijdte van de afkoeling rondom de injectieput. De integriteit van het cement wordt daarom gemonitord. Hoe vaak en op welke wijze staat in het WIMS²⁵.

³³ Op de diepten waarop het zich in de Nederlandse ondergrond bevindt, zal anhydriet op het moment dat het in contact komt met water niet omzetten naar gips vanwege de temperatuur- en drukcondities.

³⁴ Zie verder de introductie, paragraaf "Wanneer spreekt men van verontreiniging en/of vervuiling?"

Alleen als het water dat in de poriën van de diepliggende gesteentelagen zit³⁵ onder extra druk is komen te staan, kan het de neiging hebben omhoog te stromen (zie tekstkader 'Drukgradiënt'). In die situatie zou water langs de buitenkant van de put omhoog kunnen stromen naar een andere watervoerende laag, als de ruimte tussen de put en de afdichtende aardlagen onvoldoende is afgedicht (zie Figuur 4). Dat wil men voorkomen, omdat daarbij zouter water in contact zou kunnen komen met minder zout formatiewater. Daarom wordt gecontroleerd dat de putbuizen in voldoende mate met cement aan de afdichtende lagen zijn vastgemaakt.³⁶ Overigens is het niet waarschijnlijk dat deze ongewenste gebeurtenis zal optreden: afdichtende lagen bestaan uit kleisteen of zout. Veel van dit materiaal heeft in de diepe ondergrond de eigenschap om te kunnen vervormen. Hierdoor wordt eventuele ruimte tussen de putbuizen en de afdichtende aardlagen dichtgedrukt.

Drukgradiënt

Het poriënwater van diepe aardlagen (formatiewater) staat onder druk. Hoe dieper, hoe hoger de druk waaronder het in de poriën van het gesteente aanwezige water en/of gas staat. Dat is te vergelijken met de druk op de oren bij een duik in diep water. Met elke 100 meter diepte neemt de druk met 10 bar toe (de hydrostatische druk). In uitzonderlijke gevallen (bijvoorbeeld onder een volledig afdichtende zoutlaag) wordt ook een deel van het gewicht van het bovenliggende gesteente (de zogenaamde lithostatische druk) overgedragen op het water en/of het gas dat in de poriën van het onderliggende gesteente zit. Hierdoor kan een verhoogde, extra druk op het formatiewater ontstaan.

Formatiewater kan alleen omhoog stromen als er anomale drukverschillen (zoals een niet-hydrostatische druk of een door de mens opgelegde druk) heersen tussen boven elkaar liggende lagen. Naast toenemende druk met diepte geldt ook: hoe dieper, hoe zouter en zwaarder het formatiewater. Ook hierdoor zal het formatiewater niet uit zichzelf naar boven stromen. Dit in tegenstelling tot vrij gas dat vanuit zichzelf de neiging heeft omhoog te willen stromen.

³⁵ Water dat in de poriën van de diepliggende gesteentelagen zit wordt ook wel formatiewater genoemd.

³⁶ De [Industriestandaard Duurzaam Putontwerp](#) bevat hiervoor richtlijnen.



D: Kan de omgeving van het geothermiereservoir tijdens aardwarmtewinning worden beïnvloed?

Boven en onder geothermiereservoirs ligt een pakket van afdichtende gesteentelagen. Hierdoor kan het geothermische water van nature niet uit het geothermiereservoir naar een andere watervoerende laag stromen. Dat kan alleen bij een lekpad in het afdichtende gesteentepakket of bij een lek in of langs de verbuizing van de put. Dit deel beschrijft de ongewenste gebeurtenissen die tijdens aardwarmtewinning zouden kunnen optreden rondom het geothermiereservoir. Ook worden de maatregelen die daartegen genomen worden beschreven.

Wat kan er gebeuren rond het geothermisch reservoir?

Des te dieper het geothermisch reservoir ligt, des te kleiner de kans dat het geothermisch water het ondiepe zoete grondwater zou bereiken.³⁷ Tussen het geothermiereservoir en het (zoete) grondwater bevinden zich namelijk gesteentepakketten die grotendeels uit afdichtende lagen bestaan (zie Figuur 1). Niet alleen het afdichtende gesteentepakket direct boven het geothermiereservoir, maar ook de tussenliggende afdichtende aardlagen voorkomen dat geothermisch water vanuit de diepe ondergrond omhoog kan stromen. Bovendien zal geothermisch water niet uit zichzelf naar boven stromen omdat het zwaarder is dan zoet-, brak- of zeewater. Hierin verschilt geothermisch water van gas of olie.

Stroming van water vanuit het geothermisch reservoir naar de eerstvolgende bovengelige watervoerende laag zou alleen mogelijk zijn als:

- het afdichtende gesteentepakket volledig zou scheuren met een scheur die doorloopt van de onderkant tot de bovenkant (Figuur 5);
- het afdichtende gesteentepakket volledig zou worden doorsneden door een reeds aanwezige lekkende breuk (Figuur 6);
- zich in de directe omgeving van een geothermiesysteem verlaten boorgaten bevinden die niet afdoende zijn afgedicht in het afdichtende gesteentepakket (Figuur 7).

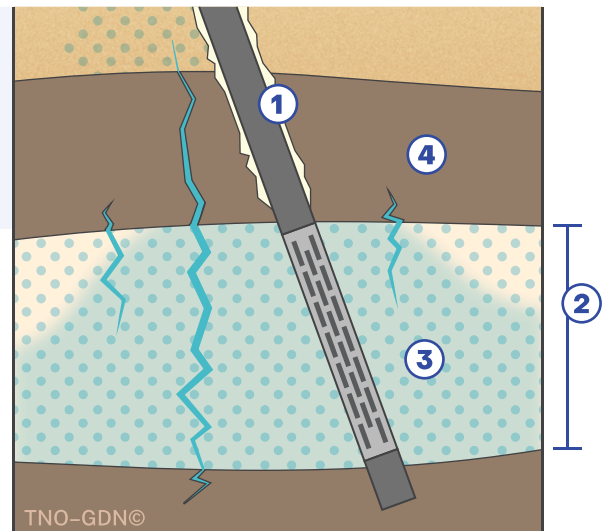
Wanneer een van deze situaties zich zou voordoen, is het de vraag of er daadwerkelijk stroming zou plaatsvinden. Dat hangt onder andere af van de hoeveelheid extra druk die door een geothermische injectieput op het geothermiereservoir wordt gezet en de doorlatendheid van de mogelijke lekpaden

(scheur, breuk of verlaten put). De genoemde situaties worden in de volgende paragrafen één voor één behandeld.

Kunnen in het afdichtende gesteentepakket scheuren ontstaan?

Bij aardwarmtewinning wordt het afgekoelde water via een injectieput onder verhoogde druk terug het geothermiereservoir ingepompt. Hierdoor koelt het reservoir rondom de injectieput af, samen met het aangrenzende deel van het onder- en bovenliggende afdichtende gesteentepakket. Door afkoeling krimpt gesteente een klein beetje. Daardoor veranderen de ondergrondse spanningen; het gesteente wordt als het ware een beetje uit elkaar getrokken. In combinatie met de hogere druk in het reservoir direct rondom de injectieput kunnen hierdoor barsten en scheuren ontstaan. Eventuele scheurgroei begint in het reservoirgesteente, vanaf daar kan een scheur verder doorgroeien (zie Figuur 5). Een eventuele scheur in het afdichtende gesteentepakket begint dus op de grens van het reservoir en de afdichtende laag. Het ontstaan daarvan is moeilijk te meten en monitoren. Bij de injectie van koud water in zandsteenreservoirs zijn in Nederland³⁸ geen gevolgen van lekkage via scheurvorming in het afdichtende gesteentepakket waargenomen. Niet bij geothermieprojecten en ook niet bij andere mijnbouwactiviteiten zoals bijvoorbeeld oliewinning.

- 1 Injectieput
- 2 Geothermiereservoir
- 3 Afgekoeld gebied
- 4 Afdichtend gesteentepakket



Figuur 5: Hoe zou scheurvorming in het afdichtende gesteentepakket van het geothermiereservoir eruit kunnen zien? Pas als een scheur het afdichtende gesteentepakket volledig doorsnijdt, ontstaat de mogelijkheid dat het geothermische water door de scheur naar een bovenliggende watervoerende laag stroomt.

³⁷ Anno 2025 bevinden vrijwel alle reservoirs van de Nederlandse geothermieprojecten zich op meer dan 1500 meter diepte. Het zoete grondwater bevindt zich in de bovenste honderden meters van de ondergrond. Als bij deze geothermiesystemen vanuit het reservoir geothermisch water naar de eerstvolgende bovengelige watervoerende laag zou lekken, wordt op de diepte waarop dit zou plaatsvinden geen nadelig effect verwacht voor mens en milieu.

³⁸ Ook niet bij vergelijkbare omstandigheden in het buitenland.

Is eventuele scheurvorming als gevolg van het terugvoeren van het afgekoelde water te vergelijken met fracking?

Eventuele scheurvorming als gevolg van het terugpompen van het afgekoelde geothermische water in het geothermisch reservoir kan niet worden vergeleken met *fracking*. Bij *fracking* wordt onder zeer hoge druk een vloeistof met zand in het reservoirgesteente gespoten om daarin millimetergrote scheurtjes te creëren. Het doel hiervan is de doorlatendheid van het reservoir te vergroten (de zo ingebrachte zandkorrels gaan in de scheurtjes zitten en houden deze open). Vooral nog wordt deze techniek bij geothermieprojecten in Nederland niet gebruikt.

Pas als een scheur het afdichtende gesteentepakket volledig doorsnijdt, ontstaat de mogelijkheid dat het geothermische water door de scheur naar een bovenliggende watervoerende laag stroomt. Over de eigenschappen van het reservoir en het afdichtende pakket worden gegevens verzameld. Daarmee kan worden berekend of het afdichtende gesteentepakket door afkoeling tijdens aardwarmtewinning kan scheuren. En zo ja, hoe ver een scheur zich naar boven toe kan uitstrekken. Er is een norm gesteld hoe ver een scheur mag indringen in een afdichtend gesteentepakket.³⁹ Aan de hand van de TAS procedure⁴⁰ wordt iedere vergunningsaanvraag voor een geothermieproject hieraan getoetst. De injectietemperatuur en -druk kan in de vergunningverlening worden begrensd zodat de norm voor scheurvorming niet wordt overschreden. Deze toetsing is met name van belang voor ondiepe geothermie (500 tot 1500 meter diepte) waarbij het diepteverschil tussen het reservoir en het zoete grondwater minder groot is dan bij diepe geothermie (dieper dan 1500 meter). De kans dat scheuren ten gevolge van diepe geothermie doorgroeien naar het zoete grondwater is nihil. Dit vanwege de eigenschappen van de verschillende bovengenoemde aardlagen.

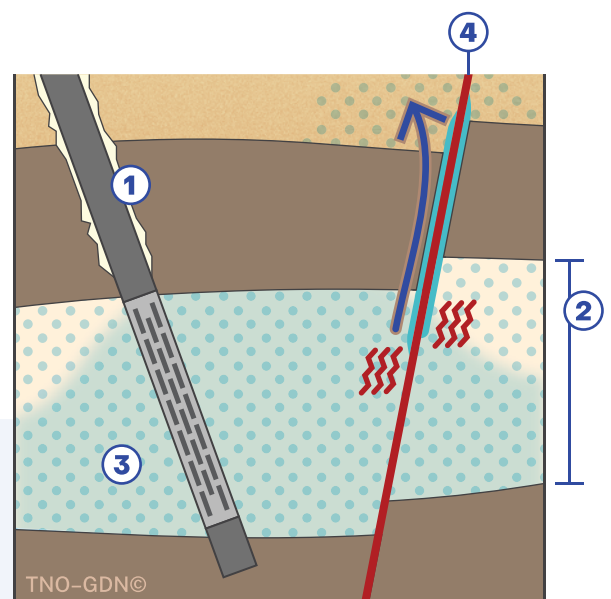
Na eventuele scheurvorming in het reservoir is een lagere injectiedruk nodig om dezelfde hoeveelheid water te injecteren. Bij een lagere injectiedruk zal minder snel scheurgroei in het afdichtende pakket optreden. Daarnaast neemt de in de ondergrond opgebouwde spanning als gevolg van de scheurvorming af en kan de scheur niet meer of minder ver groeien.

- 1 Injectieput
- 2 Geothermiereservoir
- 3 Afgekoeld gebied
- 4 Breuk

Kan in het afdichtende gesteentepakket als gevolg van breukreactivatie een lekpad ontstaan?

Bij aardwarmtewinning is er een kleine kans dat een bestaande breuk in het reservoir en in het afdichtende gesteentepakket dichtbij het geothermiesysteem gaat bewegen door spanningsveranderingen in en rond het geothermiereservoir. Dat wordt breukreactivatie genoemd (zie tekstkader). Dit speelt dan met name in het afgekoelde gebied rond de injectieput.

Er kan berekend worden of een breuk in een afdichtend kleisteenpakket kan gaan bewegen en, zo ja, welk deel van die breuk in beweging kan komen. Als een breuk langs zijn hele hoogte in het afdichtende pakket in beweging zou komen, ontstaat er een moment waarop geothermisch water naar het bovenliggende gesteentepakket kan stromen (zie Figuur 6). Dit omdat de barsten en breukjes in het gesteente tijdens de beweging met elkaar een pad kunnen vormen waarlangs geothermisch water zou kunnen stromen. Kleisteen is op deze diepten veelal vervormbaar. Hierdoor worden eventuele langs de breuk ontstane open ruimtes in afdichtende pakketten van kleisteen dichtgedrukt. Zo verdwijnt het tijdens de beweging ontstane lekpad. Steenzout is op deze diepten nog makkelijker vervormbaar dan kleisteen. In een afsluitend pakket van steenzout kan zich vanwege het plastische gedrag van steenzout geen lekpad door het volledige afdichtende pakket ontwikkelen.



Figuur 6: Theoretisch lekpad als gevolg van reactivatie van een reeds aanwezige breuk.

³⁹ Kamerbrief, 18 september 2023: [Publicatie normstelling voor seal integriteit bij geothermie](#).

⁴⁰ TAS staat voor Tensile failure Assessment of Seal. Zie voor meer informatie [TNO 2023 R11773](#).

Het deel van de breuk dat kan gaan bewegen is klein ten opzichte van de diepte waarop dit plaatsvindt. Ook zitten er in het gesteentepakket tussen de mogelijk lekkende breuk en het zoete grondwater nog meerdere afdichtende lagen. Het risico voor verontreiniging van het (zoete) grondwater door lekkage via een gereactiveerde breuk is daarom nihil.

Breuken

Als gevolg van de plaattektoniek zijn er momenten waarop de aardlagen waaruit de ondergrond bestaat van nature bewegen. Daarbij kunnen aardlagen vervormen en breken. Het breukvlak waarlangs een aardlaag verschuift wordt simpelweg 'een breuk' genoemd. In de ondergrond bevinden zich van nature miljoenen jaren oude breuken. Als langs deze breuken opnieuw beweging plaatsvindt wordt dat breukreactivatie genoemd.

Breuken kunnen zodanig bewegen, dat water zich langs het breukvlak kan verplaatsen. Afhankelijk van de aard van de breuk en de aardlagen aan weerszijde van de breuk kan het ook zo zijn dat het breukvlak juist ondoorlatend is, en/of dat langs het breukvlak een slecht doorlatende zone ontstaat. Des te groter de breuk, des te groter diens mogelijke invloed op grondwaterstromen.

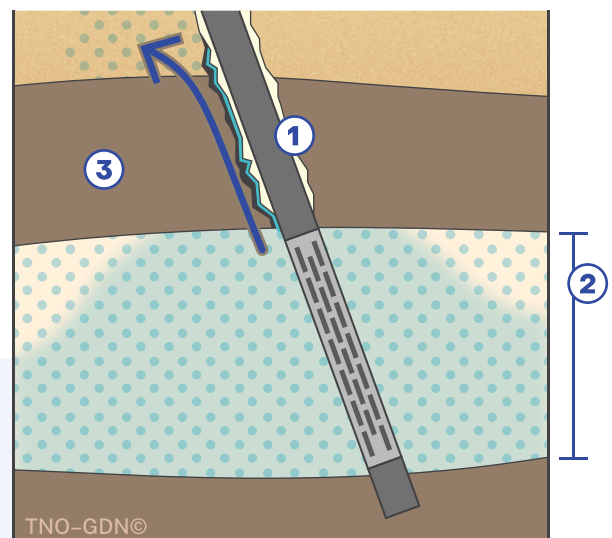
Kan langs of door putten die door het afdichtende gesteentepakket heen gaan een lekpad ontstaan?

Het geothermiereservoir wordt bereikt met putten die door het afdichtende pakket heen gaan. De buitenste putbuis wordt aan het gesteente vast gecementeerd. In uitzonderlijke gevallen kan het gebeuren dat het cement de ruimte tussen de putbuis en het afdichtende pakket niet voldoende afdicht en/of onvoldoende sterk is gehecht. In die situatie zou geothermisch water langs de buitenkant van de injectieput van het reservoir naar een bovenliggend watervoerend pakket kunnen stromen (zie Figuur 7). Om dit te verhelpen zou er theoretisch een gat in de buis gemaakt kunnen worden om opnieuw cement aan te brengen. Daarna kan dat gat weer worden gerepareerd. Op kilometers diepte in de aarde heerst een grote druk. In principe worden de omringende aardlagen uit zichzelf tegen de putbuis aangedrukt: de afdichtende pakketten bestaan uit kleisteen of steenzout dat op dit soort diepten vervormt. Daarom moeten de buizen van de put ook uit stevig, niet samendrukbaar materiaal bestaan. Anders zouden ze worden dichtgeknepen.

- 1 Injectieput
- 2 Geothermiereservoir
- 3 Afdichtend gesteentepakket

In de buurt van het geothermiesysteem zouden zich oude verlaten putten kunnen bevinden die in het verleden zijn gebruikt voor olie-, gas-, zout- of aardwarmtewinning. Als het abandonneren van een put⁴¹ niet afdoende is uitgevoerd, kunnen dergelijke putten mogelijk een lekpad vormen. In wet- en regelgeving is opgenomen waaraan de abandonnering moet voldoen en SodM ziet daarop toe⁴². In het vergunningsverleningsproces wordt bij de risicobeoordeling gecheckt of zich in het beïnvloedingsgebied van het te vergunnen geothermiesysteem een bestaande put bevindt.

Ook een aantal andere omstandigheden bepalen of bij deze ongewenste situatie daadwerkelijk stroming vanuit het reservoir naar de bovengelegen watervoerende laag zal plaatsvinden. Naast een lekpad is daarvoor onder andere een verhoogde druk nodig die sterker is dan 1) de weerstand die het lekpad biedt, en 2) het verschil in soortelijk gewicht van het zwaardere en visceuzere afgekoelde geothermische water ten opzichte van het water in het bovenliggende reservoir. Rond de productieput zal dit niet optreden, omdat daar sprake is van een verlaagde druk. De omstandigheden zoals beschreven zouden ertoe kunnen leiden dat geothermisch water naar ondiepere lagen kan stromen, maar de kans is nihil dat het ook daadwerkelijk het zoete grondwater bereikt.



Figuur 7: Theoretisch lekpad langs de injectieput die het afdichtende gesteente-pakket doorboort, vanwege onvoldoende cementering aan de afdichtende laag.

⁴¹ Het abandonneren van een put omvat alle werkzaamheden die bij het afsluiten, gedeeltelijk verwijderen en achterlaten van een put worden uitgevoerd, nadat is besloten dat deze nooit meer zal worden gebruikt.

⁴² SodM (2022): [De integriteit en nazorg van buiten gebruik gestelde putten op land in Nederland](#).

Deel 2: Welke risico's voor het grondwater kan geothermie tijdens de aanlegfase met zich meebrengen?

Tijdens de aanleg van een geothermiesysteem kunnen ongewenste gebeurtenissen optreden die een risico voor het grondwater vormen. Men is daar alert op; in voorbereiding op de aanleg maakt de uitvoerder een inventarisatie van mogelijke risico's. Om die te minimaliseren worden bij de voorbereiding en tijdens het boren van de putten maatregelen genomen zowel ter voorkoming als beheersing van ongewenste gebeurtenissen. Daarover zijn bindende afspraken gemaakt in het werkplan dat de uitvoerder van tevoren voorlegt aan SodM. SodM ziet er bovendien op toe dat de betrokken partijen zich aan die afspraken houden.⁴³ Dit deel beschrijft eerst de belangrijkste voorzorgsmaatregelen, daarna de ongewenste gebeurtenissen die tijdens de aanleg zouden kunnen optreden en hoe daarmee wordt omgegaan.

Voorzorgsmaatregelen bij de aanleg van een geothermie-installatie

Bodembeschermende voorzieningen op de aardwarmtewinningslocatie

Het boren van geothermieputten duurt meestal een paar maanden. Voorafgaand neemt de voorbereiding en het klaarmaken van de boorlocatie een aantal weken tot maanden in beslag. De locatie wordt geëgaliseerd en de boorlocatie wordt uitgerust met een vloeistofdichte vloer, putkelders, milieugoten en opstaande randen (zie Figuur 3). Tijdens de aanleg worden vloeistoffen gebruikt die met vrachtwagens naar de boorlocatie worden vervoerd en hier (tijdelijk) worden opgeslagen. De bodembeschermende voorzieningen zorgen ervoor dat gemorste vloeistoffen niet buiten het boorterrein, in het grondwater of in het rioolsysteem terecht kunnen komen.

Beschermende buis om de putten heen: de conductor

Voordat de geothermieputten worden geboord, wordt eerst een brede buis de grond ingebracht: de zogenaamde *conductor* (zie Figuur 2). Na een analyse van de geohydrologische situatie ter plaatse wordt de conductor zodanig ontworpen dat deze het aanwezige zoete grondwater beschermt: conductors reiken doorgaans tot een diepte waarop het grondwater brak is, 25 tot 250 meter onder NAP.

Binnen de conductor wordt de geothermieput geboord. De boorkop, boorspoeling en het boorgat komen zodoende niet in direct contact met het zoete grondwater. Ook voorkomt de conductor dat het bovenste deel van het boorgat kan instorten als gevolg van zijwaartse druk.

Afhankelijk van de diepte en de samenstelling van de omringende lagen, wordt de conductor geheid of geboord. Bij heien sluiten de omringende lagen goed aan tegen de conductor, zodat er geen verticale stroming langs de buitenkant van de conductor kan plaatsvinden. Als de lagen waar de conductor doorheen moet te veel weerstand bieden, of bij te grote diepten, wordt men gedwongen over te gaan van heien naar boren. Als de conductor meerdere watervoerende pakketten doorboort, voorkomt men dat langs de buitenkant van de conductor water van de ene watervoerende laag naar de andere kan stromen door de ruimte tussen de conductor en de omgeving af te dichten met bijvoorbeeld zwelklei (*bentoniet*), grout of cement.

Samenstelling boorspoeling

Op het dieptetraject waarin zoet tot brak water voorkomt wordt een *boorspoeling* (zie tekstkader) op waterbasis gebruikt (gewoonlijk gaat het om water waaraan een bepaald soort klei is toegevoegd). Dit gebeurt zowel als er bij de aanleg van de conductor geboord moet worden, als tijdens

⁴³ Tijdens de opsporings- en realisatiefase voert SodM in korte tijd meerdere veldinspecties en her-inspecties uit vanwege de inrichting van de boorplaats, de opbouw van de boorinstallatie, het boren en het inrichten van de installaties voor de winningsfase (Zie [Toezichtarrangement Geothermie](#)). NB: de paragraaf 'Regels en toezicht aangaande de mogelijke invloed van geothermie op het grondwater' bevat aanvullende verwijzingen naar de van toepassing zijnde wetten en regels.

het boren van de geothermieputten. Pas daarna wordt met een andere type boorspoeling verder geboord. De meeste Nederlandse geothermiesystemen zijn over het gehele traject geboord met een boorspoeling op waterbasis, maar onder de geohydrologische basis gebruikt men bij diepere, kleirijke aardlagen boorspoeling op oliebasis. Op de diepten waarin zich zoet grondwater bevindt wordt een boorspoeling op oliebasis niet toegestaan.⁴⁴

Boorspoeling

Tijdens het boren wordt boorspoeling gebruikt waarmee het boorgat wordt gespoeld om:

- de boorkop te koelen;
- het weggeboorde materiaal (boorgruis) naar de oppervlakte te brengen;
- voldoende zijwaartse druk te geven zodat het boorgat niet instort of ingedrukt wordt;
- te voorkomen dat vloeistof vanuit de omringende aardlagen het boorgat instroomt.

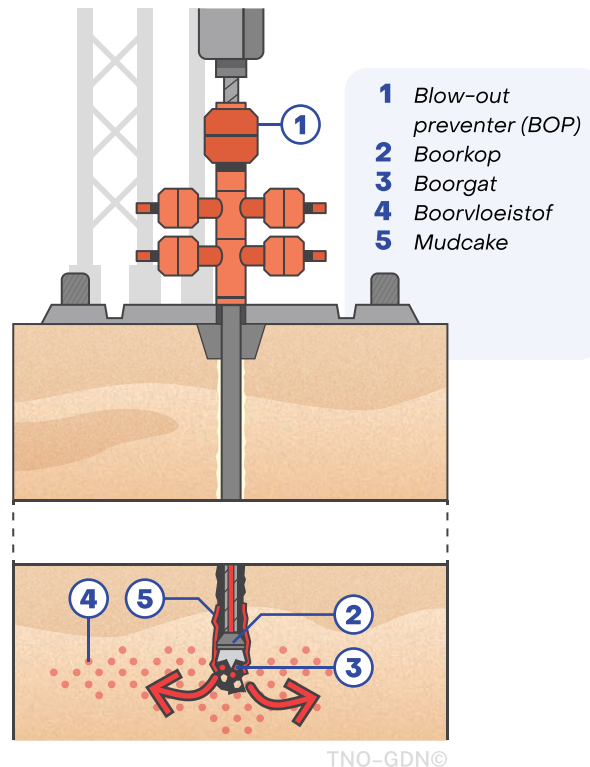
De samenstelling van de boorspoeling wordt afgestemd op de diepte en de doorboorde aardlaag. In het meest ondiepe gedeelte van het boorgat gaat het gewoonlijk om water of zeewater waaraan een bepaald soort klei is toegevoegd. Om het boorgat op grotere diepten open te houden is een zwaardere vloeistof nodig, omdat de druk van de omringende aardlagen daar hoger is.

Bij een aardlaag die erg poreus is, kan het gebeuren dat boorspoeling in de poriën van de aardlaag verdwijnt. Om dit te stoppen kan men het gewicht van de boorspoeling verlagen of een substantie toevoegen die de openingen in de aardlaag dicht. Daarvoor kunnen allerlei verschillende stoffen worden gebruikt, van zaagsel tot (bio-)polymeren.

Putbuis vast cementeren aan omringende aardlagen

Na het aanbrengen van de conductor wordt binnen deze buis de productieput of de injectieput geboord. Vanaf de diepte waarop de conductor eindigt is er tijdens het boren direct contact tussen het boorgat, de boorspoeling en de omringende aardlagen. Steeds wordt tot een bepaalde diepte geboord waarna een stalen buis van minimaal die lengte in het boorgat wordt geplaatst. De buitenkant van die stalen buis wordt met cement aan de omliggende aardlagen vastgehecht. Zo kunnen vloeistoffen die zich in het boorgat bevinden niet meer de aardlagen in- of uitstromen. Ook kunnen vloeistoffen die zich in de omringende aardlagen bevinden dan niet langs de buitenkant van de buis van de ene naar de andere watervoerende laag stromen. Tenslotte wordt het geothermiereservoir doorboord. De buizen die ter hoogte van het reservoir in het boorgat worden geplaatst zijn meestal

filterbuizen. Het water kan vanuit het reservoir door deze buis heen de put in stromen terwijl eventueel aanwezig los zand in het reservoir achterblijft.



Figuur 8: Weergave van het mogelijk verlies van boorspoeling tijdens de boring in onverwacht hoog poreuze aardlagen.

Mogelijke ongewenste gebeurtenissen tijdens het boren van geothermieputten

Het verliezen van boorspoeling in de ondergrond bij het aanboren van een aardlaag met een hele hoge porositeit en doorlatendheid

De gebruikte boorspoeling zorgt ervoor dat poreuze doorlatende aardlagen rondom het boorgat worden afgedicht door de vorming van zogenaamde mud cake: een deel van de boorspoeling hecht zich aan de binnenkant van het boorgat op het moment dat het in contact komt met een poreuze aardlaag en de boorspoeling daar een klein beetje in doordringt. Dat vormt een ondoordringbare laag (mud cake) waardoor de boorspoeling de poreuze lagen verder niet binnendringt. Maar wanneer de poriën van de doorboorde laag groter zijn dan verwacht, kan het zijn dat de mud cake zich onvoldoende aan de aardlaag kan hechten en zodoende zijn afsluitende werking niet volledig kan vervullen. Als daarbij de doorlatendheid van die laag groot is (denk bijvoorbeeld aan een grove grindlaag) kan de “zware” boorspoeling het poriënwater van de aardlaag verdringen en snel in die laag verdwijnen (zie Figuur 8). Dan kan de boorspoeling zijn verschillende functies niet vervullen (zie tekstkader ‘Boorspoeling’).

⁴⁴ In sommige landen is het gebruik van boorspoeling op basis van synthetische of minerale olie bij het doorboren van watervoerende pakketten wettelijk niet meer toegestaan (EHP 2013). Nederland heeft dit niet in de wet opgenomen, maar kent wel ‘doelstellende bepalingen’, zoals artikel 67 van het Mijnbouwbesluit waarin wordt gesteld dat schade moet worden voorkomen. Bovendien kan in Nederland de toezichthouder (SodM) maatregelen voorschrijven over het type boorspoeling en de stoffen die daaraan toegevoegd worden (Deltafact 2020).

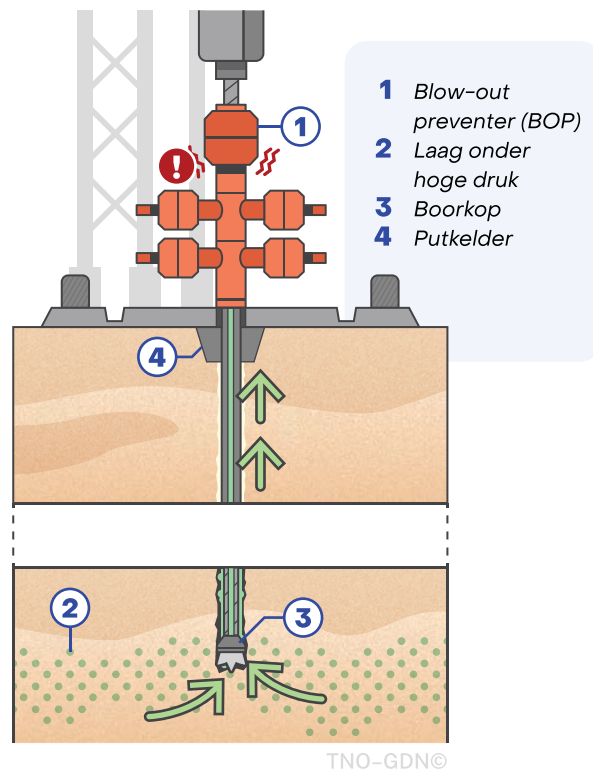
Overigens: in het dieptebereik van het zoete grondwater vormt de conductor een effectieve barrière waardoor deze ongewenste gebeurtenis niet kan gebeuren in dit dieptebereik.

Door continu te meten hoeveel boerspoeling het boorgat wordt ingepompt en hoeveel er terugkomt, ziet men of er boerspoeling verdwijnt of vloeistof bijkomt. Ook wordt de druk in de put continu bijgehouden. Indien nodig kan de samenstelling van de boerspoeling snel worden gewijzigd zodat die niet zo makkelijk de omringende aardlagen binnendringt en in het boorgat de juiste druk uitoefent. Er kan dus snel een mitigerende maatregel worden genomen die het van verlies van boerspoeling stopt of beperkt.

Het aanboren van een aardlaag waarin vloeistof of gas onder onverwacht hoge druk staat

Tijdens het boren kan een aardlaag worden aangetroffen die in de poriën vloeistof en/of gas bevat dat onder hogere druk staat dan verwacht⁴⁵. Als die druk hoger is dan de druk van de boerspoeling, dan kan de boerspoeling samen met vloeistof (en eventueel gas) uit de aardlagen via het boorgat naar boven stromen (zie Figuur 9). In het dieptetraject waarin nog geen verbuizing is aangebracht, kunnen die vloeistoffen een bovenliggende poreuze en doorlatende gesteentelaag binnendringen als door de druk en de sterke stroming de mud cake beschadigt die de omringende aardlagen in principe afdicht. Bij zeer hoge druk zouden die vloeistoffen of het gas via de put helemaal naar de oppervlakte kunnen stromen en daar, indien de afsluiters niet goed werken, ongecontroleerd uit de boorput stromen. Zo'n incident heet een *blow-out* en kan tot verontreiniging van de omgeving van de boorlocatie leiden.

Vanwege de kennis die is opgedaan tijdens de jarenlange exploratie en winning van aardolie en -gas, is in grote delen van Nederland goed bekend waar sprake zou kunnen zijn van het voorkomen van een gasaccumulatie onder een hoge druk in de ondergrond. Die locaties zullen in het algemeen worden gemeden om te doorboren. Daarnaast kan men op basis van de beschikbare kennis voorzorgsmaatregelen treffen en tijdig de juiste mitigerende maatregelen nemen die deze ongewenste gebeurtenis voorkomt. Bijvoorbeeld door de samenstelling van de boerspoeling aan te passen. Vanwege de standaard preventieve maatregelen komen blow-outs in Nederland zeer zelden voor: diepe putten worden in Nederland geboord met een '*blow-out preventor*' (BOP) bovenop de boorput. De BOP kan de put direct afsluiten.



Figuur 9: Weergave van het mogelijk aanboren van een aardlaag met vloeistof of gas onder onverwachte hoge druk.

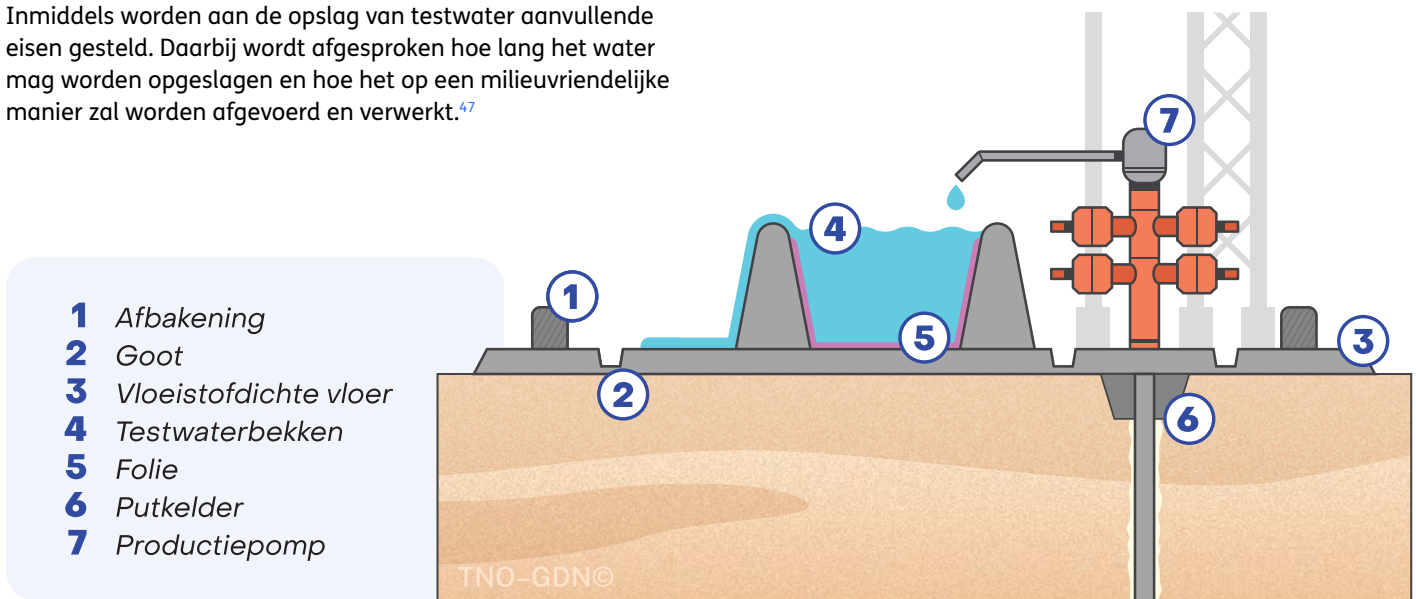
Bij een extreme variant van bovenstaande ongewenste gebeurtenis is het mogelijk dat aangeboord gas niet door het boorgat en in de verbuizing naar boven stroomt maar langs de buitenkant van de put. Het zou daarbij mogelijk zijn dat het gas en eventuele vloeistof buiten het boorgat om ongecontroleerd naar de oppervlakte stroomt. Op weg naar het oppervlak zou het dan ook het ondiepe grondwater passeren. Om dit te voorkomen wordt tijdens de aanleg van de put gecontroleerd dat de buizen met cement aan de omgeving zijn vastgehecht en er dus geen ruimte tussen de put en de omringende aardlagen aanwezig is, in ieder geval ter hoogte van afdichtende lagen. Daarom is de kans dat het langs de buitenkant van de put helemaal naar het oppervlak omhoog kan stromen bij de in Nederland gevolgde procedures vrijwel nihil.

⁴⁵ Zie voor een uitleg van dit fenomeen tekstkader "Drukgradiënt" in deel 1C.

Overlopen van het testwaterbekken

Na het boren van een geothermieput wordt eerst vastgesteld of het geothermisch water inderdaad de verwachte hoeveelheid warmte levert en voldoende warmteproductie mogelijk is. Hierbij komt testwater vrij dat op de productielocatie tijdelijk in een bekken wordt opgeslagen. Alle bekken worden voorzien van een dubbele laag folie met daartussen lekdetectie. Mocht de eerste folielaag gaan lekken dan wordt dat snel gedetecteerd en kan het oppompen van geothermisch water worden gestopt, zodat de milieugoten niet overlopen.

Het is voorgekomen dat een gevuld testwaterbekken overliep als gevolg van overvloedige regenval (zie Figuur 10).⁴⁶ Inmiddels worden aan de opslag van testwater aanvullende eisen gesteld. Daarbij wordt afgesproken hoe lang het water mag worden opgeslagen en hoe het op een milieuvriendelijke manier zal worden afgevoerd en verwerkt.⁴⁷



Figuur 10: Weergave van het mogelijk overlopen van het testwaterbekken tijdens de testperiode van geothermieputten.

⁴⁶ Staatstoezicht op de Mijnen, 2017: [Staat van de Sector Geothermie](#).

⁴⁷ Geothermie Nederland: [Factsheet Testwater van geothermie](#), [Verdieping factsheet testwater](#).

Deel 3: Geothermie en grondwaterbeschermingsgebieden

Geothermiereservoirs bevinden zich op meer dan 500 meter diepte, terwijl de (strategische) drinkwatervoorraden in de bovenste honderden meters van de ondergrond aanwezig zijn. Vanuit technisch oogpunt is het mogelijk dat de ondergrond op dezelfde geografische locatie maar op verschillende dieptes een andere functie vervullen, zoals geothermie en drinkwaterwinning. In dit deel gaan we op deze situatie in.

Niet binnen de aangewezen grondwaterbeschermingszones boren

Om geschikt te zijn voor geothermie moet een aardlaag bepaalde eigenschappen hebben en zich in een bepaald dieptebereik van de ondergrond bevinden. Dergelijke lagen zijn niet overal aanwezig. Soms bevindt een geschikt geothermiereservoir zich onder een gebied dat aangewezen is om het zoete grondwater (inclusief de strategische reserves⁴⁸) te beschermen⁴⁹. Geothermieboringen mogen niet plaatsvinden in waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden of de boringsvrijezones daar omheen.

Grondwatervoorraden zitten in de ondiepe ondergrond tot de geohydrologische basis. Schuine boringen, die van buiten de begrenzing van deze beschermingsgebieden naar de diepe geothermiereservoirs boren en tot heel diep onder deze voorraden komen, zijn technisch mogelijk. Mijnbouwwettelijk is dit toegestaan mits er geen risico's zijn voor de kwaliteit van het grondwater en dat er wordt gemonitord.⁵⁰ Afhankelijk van het provinciale beleid kan dit plaatsvinden.

Het is mogelijk een geothermiereservoir te bereiken vanaf een boor- en aardwarmtewinningslocatie die op gepaste afstand van het beschermde gebied wordt geplaatst. Daarvandaan kan het eerste traject van de geothermieputten verticaal geboord worden zodat het zoetwaterbereik van het beschermde gebied⁵¹ niet wordt doorboord. Pas nadat een diepte ver onder het compartiment met zoet grondwater is bereikt, en zich bovendien één of meerdere afdichtende lagen tussen de put en de zoetwatervoorraden bevinden, kan vervolgens schuin (tot zelfs horizontaal) verder geboord worden om het geothermiereservoir te bereiken. Zie voor een grafische weergave Figuur 1.

Schuin boren is een veelgebruikte en beproefde techniek die al tientallen jaren wordt toegepast. Het is een standaard werkwijze bij de aanleg van geothermie-installaties. Zie Figuur 1: de uiteinden van een doublet liggen in het geothermiereservoir op 700 tot 2000 meter afstand van elkaar, terwijl ze zich bovengronds op hetzelfde productieterrein bevinden. De kans op en de grootte van ongewenste gebeurtenissen zijn hetzelfde als bij een geothermieput die niet onder een beschermde grondwatervoorraad wordt geboord, zie 1C & 1D en deel 2. Echter, door de aanwezigheid van een beschermde grondwatervoorraad is het effect van een ongewenste gebeurtenis, en daarmee ook het risico, mogelijk groter dan wanneer er geen beschermde grondwatervoorraad aanwezig is.

48 Nijsten, G.-J., Van Doorn - Hoekveld, W., Delsman, J., Zaadnoordijk, W.J., Gunnink, J., (2025): [Advies begrenzing en bescherming van Nationale Grondwater Reserves - Deelrapportage 6a van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves](#). Deltares en TNO – Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Water (IenW).

49 De provincie heeft in de omgevingsverordening grondwaterbeschermingsgebieden aangewezen (dit is een toedeling van een functie aan een locatie: artikel 4.2, tweede lid Omgevingswet). Deze gebieden heten vaak waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en/of boringsvrije zones. In deze gebieden gelden aanvullende regels. Deze regels kunnen per provincie verschillend zijn. Zie [Informatiepunt Leefomgeving](#).

50 Zie de brief van Staatsecretaris Vrijlbrief aan de Tweede Kamer d.d. 20 oktober 2022.

51 [Beschermingszones](#).

Rekening houden met ondergrondse waterstromingen

Afhankelijk van de plaatselijke grondwaterstroming kan vanuit een naastgelegen gebied grondwater naar het beschermde gebied stromen. Ook vanuit de omgeving van een buiten het beschermde gebied gelegen geothermieput. Hiermee kan men rekening houden bij de locatiekeuze van de aardwarmtewinningslocatie.

Bij de besluitvorming rond aardwarmtewinning wordt in een vroeg stadium de geohydrologische status van het gebied beschreven⁵². Zowel bij de aanvraag voor een toewijzing zoekgebied als bij de behandeling van een startvergunning wordt daarnaar gekeken. Dat verschaft inzicht in de grondwaterstromingssnelheid en -richting en de stijghoogteverschillen tussen de verschillende aardlagen (zie tekstkader). Ook de diepteligging van de grenzen tussen het zoete, brakke en zoute grondwater worden geanalyseerd.

Rond een beschermde zoetwatervoorraad worden meerdere beschermingszones ingesteld, gebaseerd op de hoeveelheid tijd die grondwater erover doet om vanuit het betreffende gebied de beschermde zoetwatervoorraad te bereiken.⁵³ Wanneer ondanks alle voorzorgsmaatregelen een verontreiniging plaatsvindt, zorgen de ingestelde beschermingszones voor voldoende tijd om passende mitigerende maatregelen te nemen.

Grondwaterstijghoogtes

De *stijghoogte* is de hoogte ten opzichte van een referentievlak (bijvoorbeeld NAP), tot waar het grondwater opstijgt in een grondwatermonitorsput die zowel in open verbinding staat met de atmosfeer als met het grondwater in een bepaalde watervoerende aardlaag. De stijghoogte geeft aan of (en zo ja: in welke mate) grondwater uit een bepaalde aardlaag onder druk staat. *Stijghoogteverschillen* geven aan in welke richting het grondwater zal stromen: van hoge naar lage druk.

Als boven elkaar gelegen watervoerende lagen (meestal zand- en/of grindlagen) van elkaar gescheiden zijn door een slecht-doorlatende laag (bijvoorbeeld een kleilaag), kan tussen de verschillende watervoerende lagen een drukverschil ontstaan. Een stijghoogteverschil tussen verschillende watervoerende lagen op dezelfde locatie geeft aan of er verticale stroming op kan treden, indien de slecht-doorlatende laag wordt doorboord.

⁵² [Wijziging mijnbouwwet voor aardwarmte 2023](#).

⁵³ [Dataset Grondwaterbeschermingsgebieden rondom bronnen voor drinkwater](#).

Tot slot

In binnen- en buitenland is met geothermie veel ervaring opgedaan. Voorafgaand aan een geothermieproject maakt de uitvoerder een uitgebreide inventarisatie van de locatiespecifieke risico's. In het proces van vergunningverlening worden de aanwezige risico's getoetst en wordt beoordeeld of voldoende voorzorgsmaatregelen en monitoring worden toegepast. Tijdens zowel de aanleg als de aardwarmtewinning worden veel processen continu gemonitord. Eventuele ongewenste gebeurtenissen kunnen snel worden opgemerkt waarna gepaste actie ondernomen kan worden.

In de Industriestandaard Duurzaam Putontwerp en in de wet- en regelgeving en andere voorschriften zijn voorzorgsmaatregelen opgenomen die bij aardwarmtewinning worden voorgeschreven. Zolang deze maatregelen worden nageleefd, is de kans dat geothermisch water in aanraking komt met het zoete grondwater heel laag tot nihil. Het Staatstoezicht op de Mijnen ziet erop toe dat alle voorschriften, procedures en protocollen worden nageleefd. Vervuiling van de drinkwatervoorraad vanuit de omgeving van een geothermieput is gedurende de 15 jaar dat in Nederland aardwarmte wordt gewonnen nog niet waargenomen.

Meer weten?

Algemene informatie over geothermie:

Geothermie Nederland: www.allesoveraardwarmte.nl

Mogelijke risico's:

- Geothermie Nederland: [Alles over Aardwarmte, thema 4: Veiligheid](#)
- Geothermie Nederland: [Geothermie en grondwater](#)
- KWR en TNO (2020): [Deltafact: Mogelijke langetermijneffecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit](#)
- Kamerbrief, 20 oktober 2022: [Beleid voor verantwoord omgaan met fysieke risico's en onzekerheden bij geothermie](#)
- TNO AGE (2021): [Rapportage milieuhygiënische risico's thermische vervuiling nabij geothermieputten](#)
- Witteveen en Bos (2019): [Onderzoek \(milieu\)impact inhibitoren geothermie](#)
- TNO (2023): [Bepaling integriteit afdichtende gesteentepakketten voor geothermieprojecten in Nederland](#)

Regels en voorzorgsmaatregelen:

- [Beschermszones](#)
- [Besluit activiteiten leefomgeving](#)
- [Kaderrichtlijn Water in Nederland | Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#)
- [Mijnbouwwet](#)
- [Mijnbouwbesluit](#)
- [Mijnbouwregeling](#)
- [Vergunningenprocedure Aardwarmte](#)
- [Geothermie Nederland: Wetgeving en vergunningen](#)
- [NLOG: Wetgeving](#)
- [NLOG: Wijziging mijnbouwwet voor aardwarmte 2023](#)
- [Staatstoezicht op de Mijnen \(sodm.nl\): Geothermie](#)
- [Bodembeschermende voorzieningen - Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#)
- [Bodemvoorschriften werkzaamheden met verplaatsbaar mijnbouwwerk - iplo.nl](#)
- [Factsheet Testwater van geothermie,](#)
- [Verdieping Factsheet Testwater](#)
- [Grondwaterbeschermingskaart rondom bronnen voor drinkwater - RIVM](#)
- [Grondwater in de omgevingsverordening - Informatiepunt Leefomgeving](#)
- [Herziene Industriestandaard NORM - Geothermie Nederland](#)
- [Industriestandaard Duurzaam Putontwerp - Geothermie Nederland](#)
- [Is aardwarmte veilig? - Geothermie Nederland](#)
- [Milieubelastende activiteit mijnbouw \(paragraaf 3.10.1 Bal\) | Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#)
- [SDRA Geothermie & Integriteit afdichtend pakket | NLOG](#)

Overige bronnen en referenties:

De Bruijn, E.A.M., Bloemendal, M., Ter Borgh, M.M., Godderij, R.R.G.G., Vossepoel, F.C., 2021: [Quantifying the contribution of heat recharge from confining layers to geothermal resources](#). In: Geothermics, vol.93, 102072.

Chapman, P.M., 2007: [Determining when contamination is pollution — Weight of evidence determinations for sediments and effluents](#). Environment International 33 (2007) 492–501.

Dinkelman, D., Dijkstra, H., de Simon, L., Ros, J., Hanegraaf, M., Veldkamp, H., van Wees, J.D., 2021: [Factsheet Duurzaamheid Geothermie](#). Publicatie TNO met medewerking van: EBN, Geothermie NL (Werkgroepen Ondergrond en Duurzaamheid) en Deltares in het kader van het Innovatieplan Warming Up.

Dufour, F.C. 1998: [Grondwater in Nederland](#). Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO – Delft. ISBN: 90-6743-536-8.

EHP 2013: [Characterisation and Management of Drilling Fluids and Cuttings in the Petroleum Industry](#). Department of Environment and heritage protection Queensland Government Australia.

Lieten, S., De Vries, E., van Baaren, E., Bakr, M., Oude Essenk, G., Hartog, N., Meinderstma, W., Nieuwkerk, E., van Oostrom, N., Woning, M., Drijver, B., Krajenbrink, H., Mathijssen, H., Wennekes, R., 2012. [Meer met bodemenergie, literatuuronderzoek](#), Rapportage door Bioclear, Deltares & IF Technology.

Mijnlieff, H., en Maaijwee, C., 2023: Evaluatiemethodiek voor geothermieprojecten – [Bepaling integriteit afdichtende gesteentepakketten voor geothermieprojecten in Nederland](#). TNO rapport nummer R11773.

Mijnlieff, H., Buijze, L., Rosendaal, E., Schoof, F., Vorage, R., Van Wees, J-D., 2025: [Geothermal energy – from potential plays to successful growth](#). In: ten Veen, J., Vis, G-J., De Jager, J., Wong, T., 2025: Geology of the Netherlands, second edition. DOI: 10.5117/9789463728362_ch19.

Nijsten, G-J., Van Doorn - Hoekveld, W., Delsman, J., Zaadnoordijk, W.J., Gunnink, J., (2025): [Advies begrenzing en bescherming van Nationale Grondwater Reserves - Deelrapportage 6a van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves](#). Deltares en TNO – Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Water (IenW).

Peeters, S.H.J., Mijnlieff, H.F., en van Kempen, B.M.M., 2021: [Rapportage milieuhygiënische risico's thermische vervuiling nabij geothermieputten](#). TNO rapport AGE 21-10.017.

Staatstoezicht op de Mijnen, 2017: [Staat van de Sector Geothermie](#).

Staatstoezicht op de Mijnen, 2019: [Visie op toezicht](#).

Staatstoezicht op de Mijnen, 2021: [Evaluatie aanbevelingen Staat van de Sector Geothermie - Geothermie moet en kan veilig](#).

Staatstoezicht op de Mijnen, 2022: [De integriteit en nazorg van buiten gebruik gestelde putten op land in Nederland](#).

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) 2020: [Deltafact: Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit](#). Onder redactie van: Gijsbert Cirkel (KWR), Joris Dijkstra, Mariëlle van Vliet (TNO).

Van Lopik, J.H., Hartog, N., Zaadnoordijk, W.J., Gijsbert Cirkel, D., Raoof, A., 2015: [Salinization in a stratified aquifer induced by heat transfer from well casings](#). Advances in Water Resources; 85(partA): p.32-45.

Van Lopik, J. en Hartog, N., 2023: [De verspreiding van geothermische brijn door putlekkage in grondwater: Evaluatie van signalering bij grondwatermonitoring](#). Project nr 403185-004, onderdeel van Innovatieplan WarmingUP.