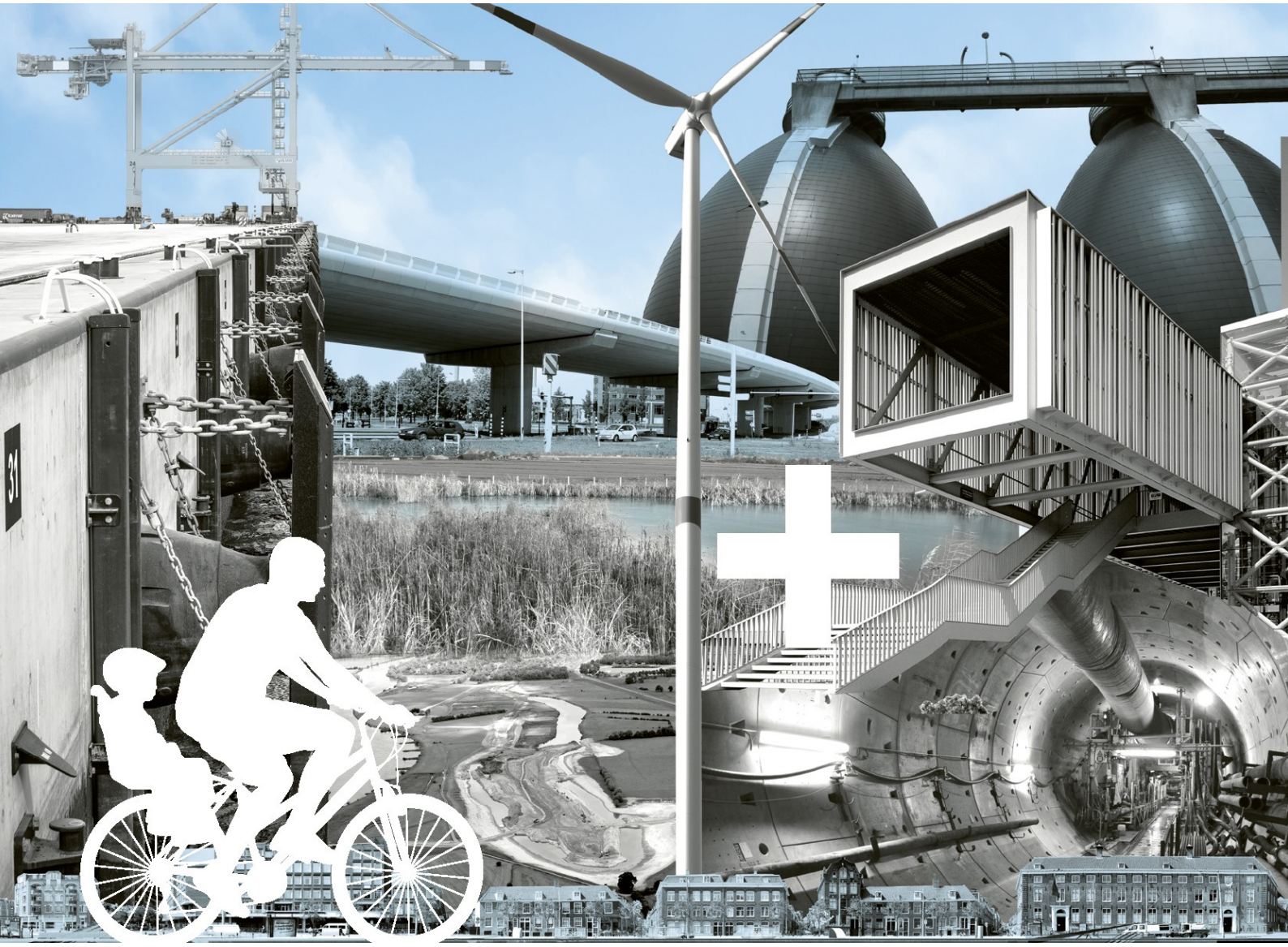


Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen: een praktijkverkenning

Kennisagenda Aardwarmte

10 juni 2020

Project	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen: een praktijkverkenning
Opdrachtgever	Kennisagenda Aardwarmte
Document	-
Status	Definitief
Datum	10 juni 2020
Referentie	109557/20-009.001
Projectcode	109557
Projectleider	ir. RT. van der Velde
Projectdirecteur	ir. E. Buter
Auteur(s)	dr. N. Hartog & dr. ir. G. Cirkel (KWR, Hfst. 1 & 3), ir. GL.J. Slangen , ir. R. Vis & dr. F. van de Watering (W+B, Hfst 2 & 3)
Gecontroleerd door	ir. R.T. van der Velde
Goedgekeurd door	ir. R.T. van der Velde b/a ir. E. Buter
Paraaf	
Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Leeuwenbrug 8 Postbus 233 7400 AE Deventer +31 (0)570 69 79 11 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 verveelvoudigd 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

SAMENVATTING 5

1 ONTWERP GRONDWATERMONITORING IN DE PRAKTIJK 7

1.1 Introductie 7
1.1.1 Selectie drie voorbeeldgebieden 8
1.2 Algemene uitgangspunten ontwerp grondwatermonitoring 9
1.2.1 De geohydrologische basis en de diepte van grondwatermonitoring 9
1.3 Uitwerking aan de hand van praktijkvoorbeelden 13
1.3.1 Voorbeeldgebied Friesland Zuid 13
1.3.2 Voorbeeldgebied Westland 14
1.3.3 Voorbeeldgebied Centrale Slenk Brabant 16
1.4 Conceptueel monitoringsontwerp 18
1.5 Toets praktische uitvoering 21
1.5.1 Introductie 21
1.5.2 Uitgangspunten praktische toets 22
1.5.3 Plaatsing monitoringput nabij geothermieputten 22
1.6 Conclusies grondwatermonitoring in de praktijk 24

2 KOSTEN MONITORING 26

2.1 Introductie 26
2.2 Bouwkosten 26
2.3 Operationele kosten 27
2.4 Conclusies 28

3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 29

4 REFERENTIES 31

Laatste pagina 30

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	SSK-raming	12

SAMENVATTING

De wenselijkheid en wijze van grondwatermonitoring bij geothermieputten is eerder verkend en beschreven in Cirkel en Hartog (2017). Hierbij werd het onderscheid tussen monitoring in het grondwater en monitoring in de put gemaakt, waarbij grondwatermonitoring zich richt op het vaststellen van impact op grondwater terwijl putmonitoring zich richt op het functioneren van de put. Uit het onderzoek kwam naar voren dat deze grondwatermonitoring gewenst is tot aan de diepte van de geohydrologische basis, vanwege het (mogelijk toekomstig) gebruik van het bovenliggende grondwater (van zoet tot zout). Voor het monitoren van impact op grondwater boven de geohydrologische basis zijn temperatuur en geleidbaarheid als belangrijkste monitoringsparameters geïdentificeerd. Dit vanwege het relatief grote temperatuur- en zoutcontrast tussen dit grondwater en het verpompte formatiewater in Nederlandse geothermiesystemen. De hiervoor in Cirkel en Hartog (2017) geïdentificeerde methoden zijn respectievelijk distributed temperature sensing (DTS) en electromagnetische (EM) inductie. De monitoring richt zich op de actieve levensduur (productieperiode) van het geothermiesysteem.

Tijdens het onderzoek zoals beschreven in het voorliggende rapport is het realiseren van deze grondwatermonitoring om de impact van geothermieputten op grondwater te bepalen als uitgangspunt beschouwd. Het voorliggende rapport gaat in op de invloed van de verschillende ondergrond condities in Nederland op de realisatie, de technische uitvoering en de kosten van deze grondwatermonitoring bij geothermieputten.

Ontwerp grondwatermonitoring

Als algemeen doel van de in deze rapportage beschreven monitoringsaanpak is hierbij het volgende gesteld: ‘de detectie van geothermische brijn lekkage uit geothermische putten ter bescherming van (mogelijk toekomstig) benutbaar grondwater’. Doel is hierbij een generieke grondwatermonitoringsaanpak die toepasbaar is voor de range van Nederlands geohydrologische condities, zodat deze tijdig, praktisch, eenvoudig en eenduidig is. In overleg met de begeleidingsgroep zijn hiervoor vijf uitgangspunten gedefinieerd:

1. monitoring vindt maximaal plaats tot wat op de locatie als de geohydrologische basis van het grondwatersysteem kan worden beschouwd;
2. het hier beschouwde grondwatermonitoringsysteem richt zich op de detectie van lekkage van geothermische brijn uit de put;
3. de grondwatermonitoring richt zich primair op de detectie van lekkage, niet op het vaststellen van de grootte van de impact daarvan;
4. de detectie van lekkage geschiedt op basis van de monitoring van de verticale variatie en temporele ontwikkeling van de gemeten temperatuur en geleidbaarheid in het grondwater;
5. de grondwatermonitoring wordt beschouwd voor de periode vanaf aanvang van de geothermische productie tot aan de abandonering van het geothermische systeem.

Om te bepalen tot welke diepte grondwatermonitoring bij geothermiesystemen, gegeven de uitgangspunten, zou moeten worden gerealiseerd is aangesloten bij het concept van de geohydrologische basis als ondergrens zoals gehanteerd in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Deze grens is in grote delen van Nederland eenduidig. Er zijn echter een aantal uitzonderingen, zoals o.a. de Centrale Slenk, waar het vaststellen van de ondergrens nadere bepaling vraagt. De aanpak is op hoofdlijnen uitgewerkt voor de drie geselecteerde voorbeeldgebieden.

Er is gekozen voor een monitoringsontwerp gericht op het aantonen dat géén lekkage optreedt. Dit is ingegeven vanuit de eis van een zo doelmatige monitoring: de verwachting is dat er bij integere en goed beheerde putten geen lekkages zullen optreden. De focus ligt hierbij op de injectiekant van het geothermiesysteem omdat gezien de grote afpomping geen lekkage naar het grondwater te verwachten is bij de productiekant. Als een lekkage wordt gedetecteerd kan vervolgens uitgebreidere monitoring, dan wel een saneringssysteem worden geïnstalleerd.

Toets praktische uitvoering

- de praktische haalbaarheid wordt getoetst voor de realisatie van het monitoringsysteem in het grondwatersysteem nabij een geothermieput, waarvoor separaat geboord wordt;
- de monitoringput wordt bij voorkeur op korte afstand van de injectieput geplaatst:
  - vanuit boor-technisch oogpunt is een minimale afstand van 3 meter nodig om te voorkomen dat de boringen elkaar raken;
  - het primaire doel is detectie van lekkage vanuit de injectieput, omdat de kans op lekkage vanuit de productieput verwaarloosbaar wordt geacht;
- bij voorkeur wordt de monitoringput (op 5 meter afstand van de injectieput) zo ver mogelijk van de productieput geplaatst om de effecten van warmte-uitstraling vanuit de producer te minimaliseren. De monitoringput kan zowel voorafgaand als na de geothermieboring gerealiseerd worden, elk met verschillende voor- en nadelen. Realisatie achteraf heeft het belangrijke voordeel dat niet a priori bepaald hoeft te worden welke van de geboorde putten de injector wordt. Ook worden er zo geen onnodige kosten gemaakt voor de aanleg van monitoringput mocht na boren van de geothermieput(ten) deze toch niet in productie genomen worden.
- voor de plaatsing van het monitoringssysteem wordt er bij voorkeur geboord met een zuigboring met luchtlift om een gedetailleerd geologisch profiel te kunnen verkrijgen;
- bij de materiaalkeuze voor de monitoringbuis (PVC of GRE) wordt rekening gehouden met de verwachte maximale temperatuur ter plaatse van de monitoringput en de materiaaleigenschappen volgens de leverancier van de monitoringbuis.

Kosten

In onderstaande tabel worden de bouwkosten voor de verschillende locaties samengevat. De tabel maakt onderscheid tussen directe kosten en indirecte bouwkosten en er wordt rekening gehouden met een risicoreservering. Onder directe kosten vallen alle kosten die bij uitvoering worden gemaakt zoals de mobilisatie, het boren en het gebruikte sensormateriaal; indirecte kosten zijn bijvoorbeeld kosten voor planning, coördinatie en rapportage.

Het meest kostenbepalende verschil tussen de locaties is het verschil in boordiepte (zie tabel 0.1).

Tabel 0.1 Bouwkosten voor de verschillende locaties

Post	Friesland Zuid	Het Westland	Centrale Slenk West	Centrale Slenk Oost
uitgangspunt boordiepte	250	235	300	400
directe kosten	€ 75.000	€ 72.000	€ 98.000	€ 124.000
indirecte kosten	€ 83.000	€ 83.000	€ 88.000	€ 93.000
totaal voorziene kosten	**€ 158.000**	**€ 155.000**	**€ 186.000**	**€ 217.000**
risicoreservering	€ 24.000	€ 23.000	€ 28.000	€ 33.000
totaal (incl. risicoreservering) onzekerheid P15-P85*	**€ 182.000 ± 60.000**	**€ 178.000 ± 60.000**	**€ 214.000 ± 60.000**	**€ 250.000 ± 65.000**

De operationele kosten zijn uitgerekend over een levensduur van 50 jaar. De kosten worden bepaald door onderhoud en monitoringskosten. Er is voorzien dat het onderhoud 2-jaarlijks moet worden uitgevoerd en dat eens in de 5 jaar de meetapparatuur moet worden vervangen. Daarnaast wordt uitgegaan van een halfjaarlijkse EM-meting, hiervoor is een locatiebezoek noodzakelijk. De operationele kosten zijn geraamd op EUR 4.700,-- per jaar.

1

ONTWERP GRONDWATERMONITORING IN DE PRAKTIJK

1.1 Introductie

Momenteel wordt er geen grondwatermonitoring uitgevoerd bij geothermieputten in Nederland. Om het risico op putlekkages te verkleinen, zijn beschermende maatregelen beschikbaar, zoals de keuze voor betere kwaliteit of dikker staal, gebruik van anti-corrosie en neerslag inhibitoren en regelmatige interne putcontroles. De kans op put lekkage kan echter nooit helemaal weggenomen worden, doordat technisch falen van materialen of fouten tijdens aanleg niet uit te sluiten zijn. Zoals eerder beschreven in Cirkel en Hartog (2017) moet een effectief monitoringsysteem daarom in staat zijn overtuigend aan te tonen dat ongewenste impact naar grondwater niet optreedt (beoogd) dan wel tot tijdige signalering wordt overgegaan als dit toch optreedt. Met grondwatermonitoring kan het functioneren van de beschermende voorzieningen worden gevalideerd en de kans op tijdige detectie van onverhoopte lekkages worden verbeterd.

Voorgaand onderzoek door Cirkel en Hartog (2017)
De wenselijkheid en wijze van grondwatermonitoring bij geothermieputten is eerder verkend en beschreven in Cirkel en Hartog (2017). Hierbij werd het onderscheid tussen monitoring in het grondwater en monitoring in de put gemaakt, waarbij grondwatermonitoring zich richt op het vaststellen van impact op grondwater terwijl putmonitoring zich richt op het functioneren van de put. Uit het onderzoek kwam naar voren dat deze grondwatermonitoring gewenst is tot aan de diepte van de geohydrologische basis, vanwege het (mogelijk toekomstig) gebruik van het bovenliggende grondwater (van zoet tot zout). Voor het monitoren van impact op grondwater boven de geohydrologische basis zijn temperatuur en geleidbaarheid als belangrijkste monitoringsparameters geïdentificeerd. Dit vanwege het relatief grote temperatuur- en zoutcontrast tussen dit grondwater en het verpompte formatiewater in Nederlandse geothermiesystemen. De hiervoor in Cirkel en Hartog (2017) geïdentificeerde methoden zijn respectievelijk distributed temperature sensing (DTS) en electromagnetische (EM) inductie. De monitoring richt zich op de actieve levensduur (productieperiode) van het geothermiesysteem.

Tijdens het onderzoek zoals beschreven in het voorliggende rapport is het realiseren van deze grondwatermonitoring om de impact van geothermieputten op grondwater te bepalen als uitgangspunt beschouwd. Het voorliggende rapport gaat in op de invloed van de verschillende ondergrond condities in Nederland op de realisatie, de technische uitvoering en de kosten van deze grondwatermonitoring bij geothermieputten.

Om inzicht te krijgen in hoe een dergelijk effectief grondwatermonitoringssysteem in de praktijk kan worden vormgeven, zijn in dit onderzoek drie voorbeeldgebieden door de projectgroep geselecteerd. De keuze voor de drie gebieden is hierbij gebaseerd op basis van relevante verschillen in de geohydrologische condities en representativiteit voor de condities waaronder geothermie al, of in de toekomst, ontwikkeld wordt. Doel hierbij was om vast te stellen 1) hoe het ontwerp van de grondwatermonitoring afhangt van locatie-specifieke condities 2) welke generieke uitgangspunten hieraan ten grondslag liggen en 3) hoe de benodigde grondwatermonitoring kosten-efficiënt gerealiseerd kan worden.

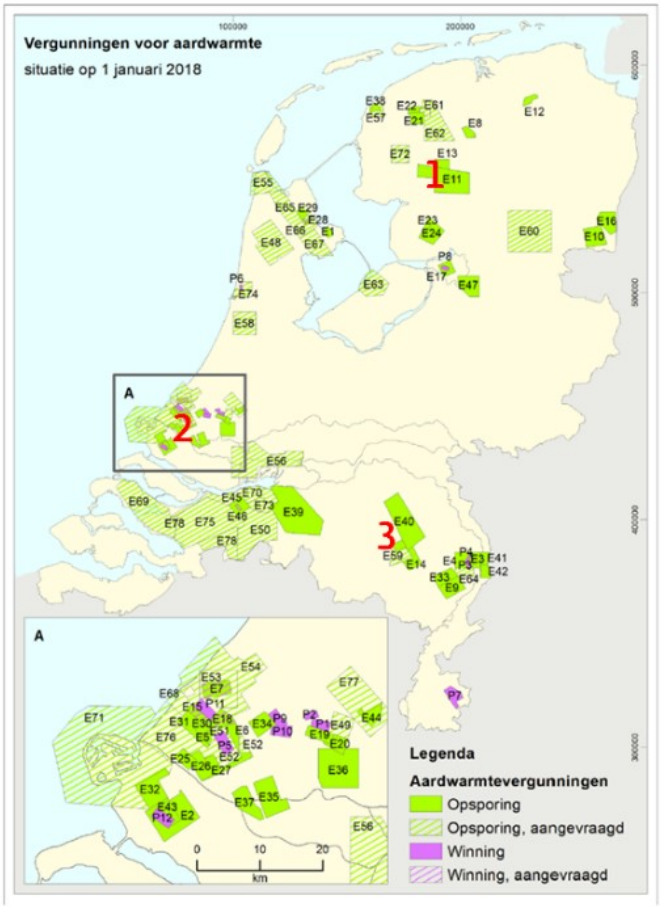
1.1.1 Selectie drie voorbeeldgebieden

Bij de selectie van de drie voorbeeldgebieden voor deze studie is rekening gehouden met de volgende aspecten:
- het voorbeeldgebied is relevant vanuit (mogelijke) opsporing en winning van geothermie;
- het voorbeeldgebied is relevant voor (mogelijk) ander gebruik van grondwater;
- de voorbeeldgebieden zijn geohydrologisch voldoende verschillend.

Op basis hiervan zijn samen met de begeleidingscommissie tijdens de kick-off meeting de volgende voorbeeldgebieden vastgesteld (Afbeelding 1.1):
1 Friesland-Zuid;
2 Westland;
3 Brabantse Slenk:
   a. oostflank;
   b. westflank.

Bij de nadere beschouwing van het deelgebied 'Brabantse Slenk' bleek tijdens het onderzoek dat de verschillen tussen de oost en westflank van de slenk dusdanig van invloed zijn op de uitvoer van een grondwatermonitoringsysteem dat gekozen is voor een nadere onderverdeling.

Afbeelding 1.1 De drie voor deze studie geselecteerde voorbeeldgebieden voor uitwerking van ontwerp voor grondwatermonitoring bij geothermiesystemen



1.2 Algemene uitgangspunten ontwerp grondwatermonitoring

Tijdens een werksessie met de begeleidingscommissie zijn de uitgangspunten bepaald waaraan doelmatige grondwatermonitoring bij geothermiesystemen moet voldoen. Als algemeen doel van de monitoring is hierbij het volgende gesteld: 'de detectie van geothermische brijn lekkage uit geothermische putten ter bescherming van (mogelijk toekomstig) benutbaar [1]grondwater'.

Voor de bepaling van de uitgangspunten is uitgegaan van een generieke grondwatermonitoringsaanpak die toepasbaar is voor de range van Nederlands geohydrologische condities, zodat deze praktisch, eenvoudig en eenduidig is. Wel is de diepte tot waar het grondwater gemonitord dient te worden afhankelijk van de locatie-specifieke geohydrologische opbouw. Er is gekomen tot de volgende vijf uitgangspunten:

1. monitoring vindt maximaal plaats tot wat op de locatie als de geohydrologische basis van het grondwatersysteem kan worden beschouwd. Dit grondwatersysteem heeft onder andere als kenmerken dat er grondwater uit gewonnen of gebruikt wordt en dat het onder invloed staat van grondwateraanvulling. Op basis van locatie-specifieke condities kan deze diepte worden beperkt tot de eerste hydraulische isolerende regionale kleilaag, (zie afbeelding 1.2), waarboven (toekomstig) gebruik hydrologische invloed kan hebben;
2. het hier beschouwde grondwatermonitoringsysteem richt zich op de detectie van lekkage van geothermische brijn uit de put, niet specifiek op de monitoring van andere mogelijke impact op grondwater zoals door:
   - onvoldoende afdichting van scheidende lagen, omdat dit risico niet specifiek is voor geothermiesystemen;
   - lekkage van testwater aan maaiveld tijdens opslag (zoals foliebasins) en transport. Ter voorkoming van verontreiniging van grondwater dienen hiervoor maatregelen aan maaiveld genomen te worden;
3. de grondwatermonitoring richt zich primair op de detectie van lekkage uit de injectieput naar grondwater, niet op het vaststellen van de grootte van de impact daarvan. Bij detectie bepaalt vervolgonderzoek de impact en de eventueel benodigde mitigatiemaatregelen;
4. de detectie van lekkage geschiedt op basis van de monitoring van de verticale variatie en temporele ontwikkeling van de gemeten temperatuur en geleidbaarheid in het grondwater (Cirkel en Hartog, 2017, Ref. 11);
5. de grondwatermonitoring wordt beschouwd voor de periode vanaf aanvang van de geothermische productie tot aan de abandonering van het geothermische systeem[2].

1.2.1 De geohydrologische basis en de diepte van grondwatermonitoring

Het uitvoeren van grondwatermonitoring bij geothermiesystemen vraagt om een begrenzing in de diepte. De Nederlandse ondergrond bestaat namelijk tot (soms zeer) grote diepte uit een afwisseling van goeddoorlatende en matig- tot slechtdoorlatende sedimenten. In de bovenste honderden meters gaat het hierbij om goed doorlatende zand-, zandsteen- en kalksteenlagen en slecht doorlatende tot afsluitende klei-, leem-, veen- en kleisteenlagen.

Grondwater wordt in Nederland voornamelijk gebruikt uit ongeconsolideerde zandlagen. Uitzondering hierop zijn enkele winningen in Twente en Zuid Limburg waar water uit respectievelijk zandsteen en kalksteen wordt gewonnen. Het huidige gebruik voor drinkwaterproductie richt zich vooral op zoet grondwater, in de toekomst is gebruik van brak, of zelfs zout grondwater wellicht ook een reële optie. Daarnaast wordt er voor andere doeleinden al veel meer van brak tot zout grondwater gebruikt zoals bij bv. warmte-koude opslagsystemen of voor zoetwater productie middels omgekeerde osmose (RO) in de tuinbouw. Voor de grondwatermonitoring op de diepten van huidig en mogelijk toekomstig gebruik, lijkt daarom de geohydrologische basis beter geschikt als dieptegrens dan bijvoorbeeld overgangen op basis van

[1] Benutbaar betreft hier gebruik van grondwater voor drinkwaterproductie, industrie en tuinbouw en bodemenergietoepassingen.

[2] Gezien het hoge dichtheid vanwege het zoutgehalte van de geothermische brijn en de heersende formatiedrukken wordt na beëindigen van de onttrekking of injectie geen vloeistoftransport via de put naar het ondiepe grondwater verwacht.

verloop in zoutgehalten. Eventueel aanwezige slecht doorlatende lagen boven de goed doorlatende lagen beschermen het in deze lagen aanwezige grondwater tegen negatieve menselijke invloed vanaf het aardoppervlak. Slecht doorlatende lagen beneden de goed doorlatende lagen kunnen tevens bescherming bieden tegen van grotere diepte toestromend (fossiel) water van ongewenste kwaliteit. De verbreiding van deze lagen en de afsluitende eigenschappen hiervan zijn afhankelijk van een groot aantal geologische factoren zoals het afzettingsmilieu, tektoniek (opheffen en wegzakken) en latere erosie.

In de geohydrologische praktijk wordt onderscheid gemaakt tussen delen van het grondwatersysteem die actief deelnemen aan de hydrologische kringloop (i.e. onder invloed staan van grondwateraanvulling en oppervlaktewater) en grondwater dat is opgesloten in of tussen slecht doorlatende aardlagen zodat geen of nauwelijks stroming optreedt onder natuurlijke omstandigheden (Dufour, 1998 [Ref.3]). Dit laatste grondwater wordt ook wel formatiewater genoemd. Dit laatste water is soms ook winbaar, maar wordt niet meer aangevuld vanuit de atmosfeer. Zoals aangegeven in het eerste uitgangspunt beperkt de monitoring zich tot het grondwater dat zich boven de geohydrologische basis bevindt.

Het uitgangspunt van grondwatermonitoring tot aan de geohydrologische basis is echter minder eenduidig dan het mogelijk lijkt. Het begrip geohydrologische basis is namelijk een theoretisch concept, dat zich soms lastig laat vertalen naar de praktijk en onderhevig is aan verandering door voortschrijdend inzicht in de Nederlandse ondergrond. Daarbij varieert de diepte van de geohydrologische basis in Nederland niet alleen sterk, in sommige delen van Nederland is het zelfs nog niet geheel duidelijk welke geologische afzetting de geohydrologische basis vormt.

De kleilagen voorkomend in de overgang Basis Formatie van Maassluis (onder Pleistoceen) –Top Formatie van Oosterhout (Boven Plioceen) worden in westelijk Nederland in de regel als hydrologische basis beschouwd. In oostelijk Nederland en Zeeuws Vlaanderen worden in de regel al dan niet gestuwde kleien in formaties van Tertiaire ouderdom als hydrologische basis genomen (Dufour, 1998 [Ref.3]). In Zuid Limburg wordt de basis van formaties uit het Krijt (Formaties van Aken, Vaals, Maastricht en Gulpen) aangehouden.

Het gebruik van de Tertiaire klei-afzettingen als geohydrologische basis is vooral problematisch in het zuidoostelijke deel van Nederland. Hier is de grens tussen formatiewater en grondwater dat actief deelneemt aan de hydrologische kringloop beduidend minder scherp of zelfs onbekend. Dit laatste is vooral van toepassing op de Tertiaire afzettingen in de centrale Slenk, waar door de grote diepte onvoldoende gedetailleerde boringen beschikbaar zijn voor een eenduidige interpretatie. Bij de totstandkoming van het landsdekkende geohydrologische model NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium) is hiervoor een conceptueel raamwerk opgezet, waarvan we ook in deze studie gebruik maken. De geohydrologische basis fungeert namelijk ook als ondergrens van het grondwatersysteem voor het NHI (Afbeelding 1.14).

Bij de keuze en indeling van formaties voor de geohydrologische basis binnen het NHI zijn verschillende kanttekeningen te maken, hiervoor verwijzen we naar Hoogewoud *et al*. (Ref. 1). De volgende punten willen we echter aanstippen:

1 in de centrale slenk in Midden- en Oost-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, komen in de Formatie van Breda (grof) zandige trajecten voor waar in beperkte mate water uit wordt onttrokken. De top van de Formatie van Breda kan hier niet als geohydrologische basis kan dienen. Zoals al opgemerkt is door de diepte het aantal gedetailleerde boringen beperkt. Daarbij zijn op seismiek de ondiepe, dunne kleilagen niet goed zichtbaar. Vanwege de geringe dichtheid aan gegevens kan de hydrogeologische opbouw en daarmee de verbreiding van kleilagen binnen de Formatie van Breda hiermee in onvoldoende mate worden gekarteerd. De eerstvolgende duidelijk gekarteerde kleilaag is die van de Formatie van Veldhoven op een diepte tot meer dan 750 meter (Afbeelding 1.3);
2 in het oosten van Nederland zijn er plaatsen waar grondwater onttrokken wordt uit watervoerende lagen die zich onder de geohydrologische basis conform de NHI systematiek bevinden. Voor het doel van NHI, regionale landsdekkende grondwaterstroming en balans zijn deze winningen niet relevant, voor de lokale vaststelling van geohydrologische basis wel. Een voorbeeld hiervan is opgenomen in Afbeelding 1.4;
3 in Noord Nederland worden in de regel kleilagen uit de Formatie van Maassluis als basis aangehouden. Recent onderzoek laat echter zien dat opgevulde keteldalen van de Peelo Formatie de kleilagen binnen deze formatie kunnen doorsnijden (Afbeelding 1.5). Keteldalen zijn ontstaan onder landijs tijdens het

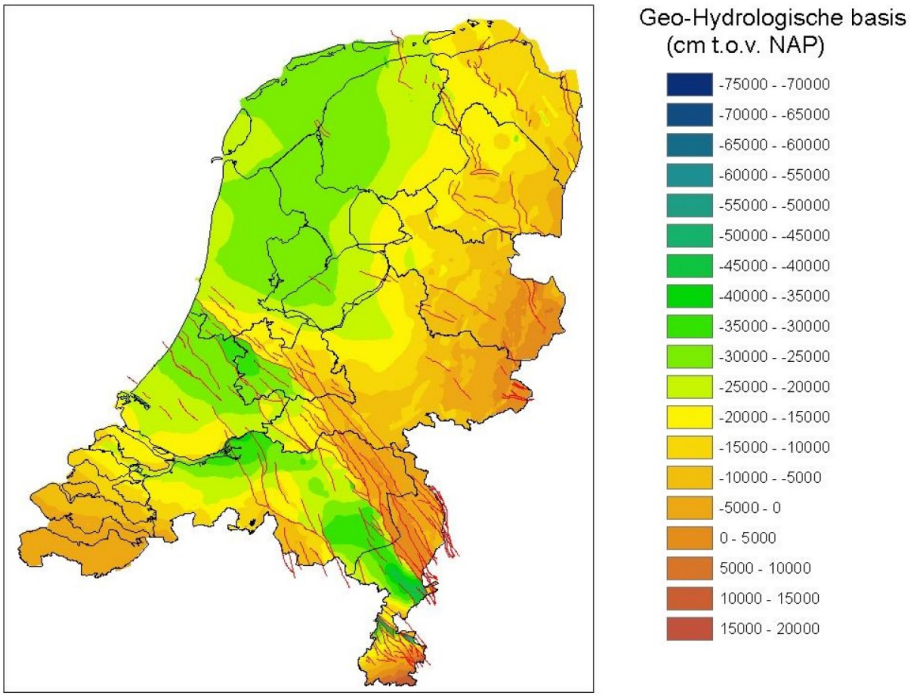
Elsteriën en kunnen een diepte van enkele honderden meters bereiken. Behalve met potklei zijn deze dalen deels opgevuld met zand waardoor kortsluiting door de lokale hydrologische basis kan ontstaan. Bij onttrekking in de buurt van een keteldal kan hierdoor upconing van zout fossiel water uit Tertiaire formaties optreden.

Het in dit onderzoek gehanteerde generieke uitgangspunt van grondwatermonitoring tot aan de geohydrologische basis is in bovenstaande gevallen dus niet toepasbaar. Om ook tot een generieke afweging te komen tot welke diepte grondwatermonitoring nodig wordt geacht in deze gebieden vergt een aanvullende afweging bijvoorbeeld op basis van meer inzicht in de geologie van potkleisystemen en de aanwezigheid van ondieper gelegen scheidende lagen in de Centrale Slenk. Voor het grootste deel van Nederland kan echter de geohydrologische basis zoals deze nu bekend is als uitgangspunt genomen worden.

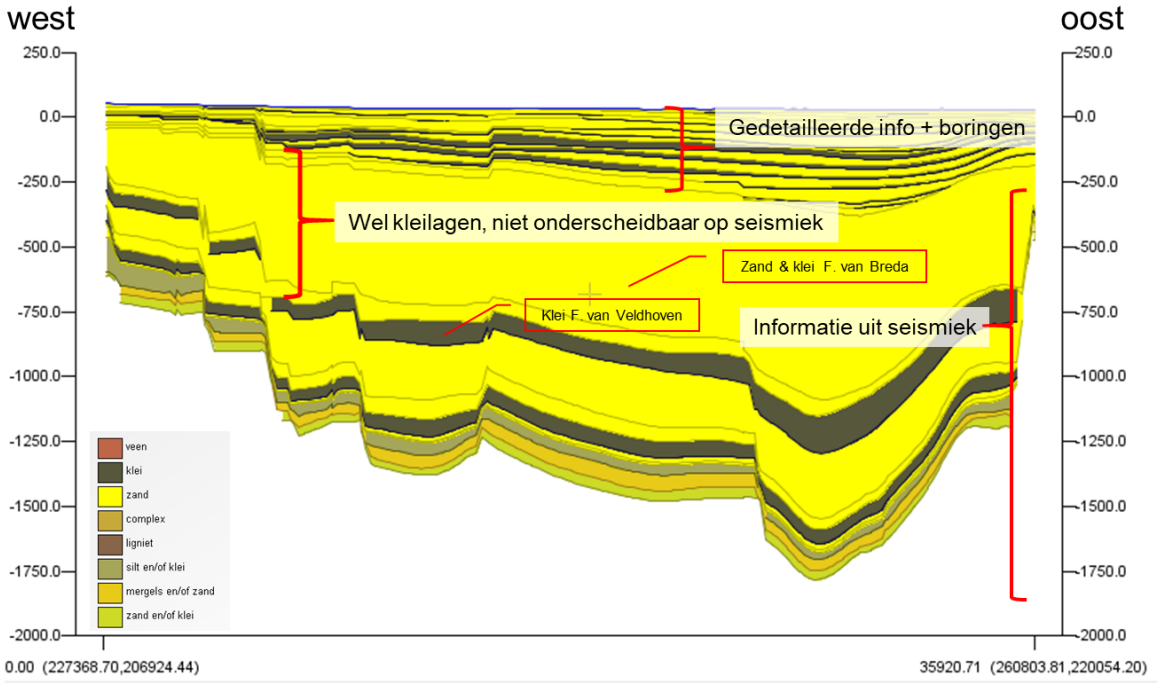
Samenvattend is op basis van de uitgangspunten de volgende procedure voor het vaststellen van de monitoringsdiepte mogelijk in Nederland met uitzondering van de bovengenoemde gebieden waar nog aanvullend onderzoek voor nodig is:

1 startpunt is de diepte van de geologische basis zoals gedefinieerd in de documentatie van het NHI. In de regel gaat het hierbij om kleilagen uit de formaties van Maassluis, Oosterhout en Breda en enkele andere formaties met inachtneming van bovengenoemde aandachtspunten;
2 controleer aan de hand van beschrijvingen van bestaande boringen nabij het aan te leggen monitoringsysteem vervolgens of lokaal de hydraulische isolerende kleilagen in de hydrologische schematisatie ook daadwerkelijk aanwezig zijn;
3 verifieer of de monitoringsdiepte inderdaad overeenkomt met huidig en mogelijk toekomstig gebruik.

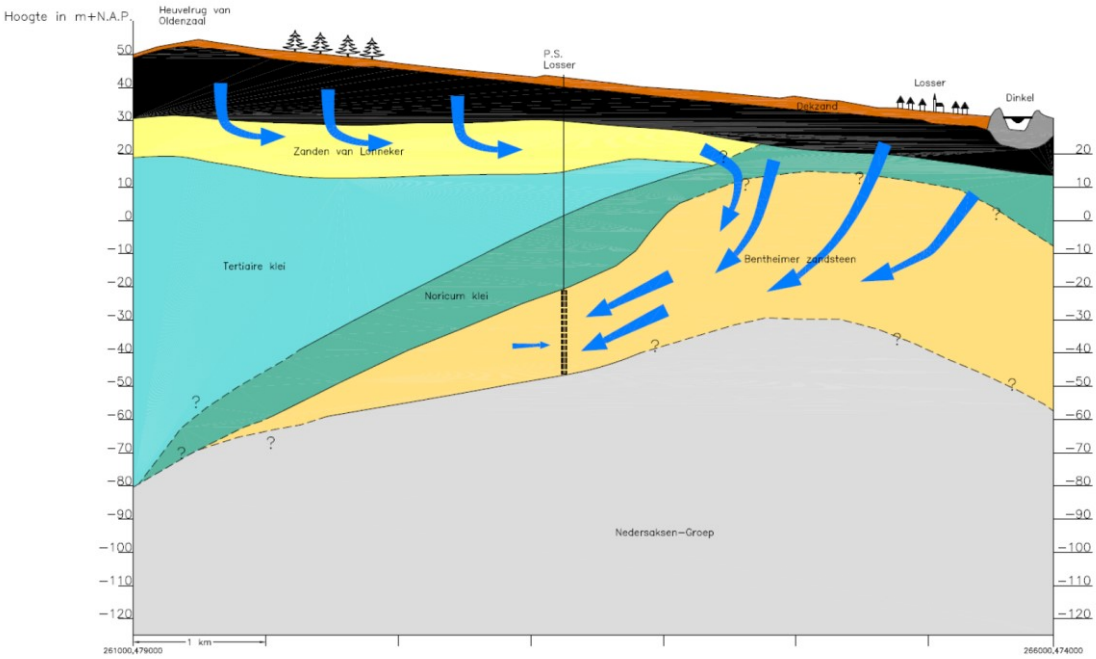
Afbeelding 1.2 Diepteligging en gebruikte formaties voor de geohydrologische basis in het NHI (Hoogewoud et al. 2010, [Ref. 1])



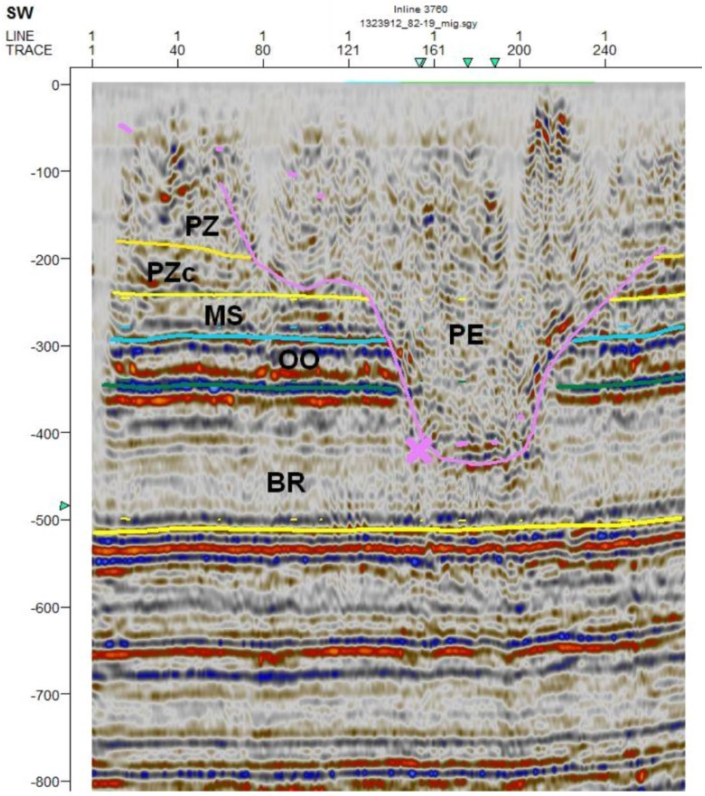
Afbeelding 1.3 Gebrek aan gedetailleerde informatie over (dunnere) kleilagen in o.a. de Formatie van Breda op grotere diepte in de centrale slenk (Digitaal geologisch model (DGM, TNO))



Afbeelding 1.4 Voorbeeld van een grondwaterwinning (winning Losser) onder de formaties die in de regel als hydrologische basis worden beschouwd in Nederland (tertiaire klei Formatie van Dongen). Op deze locatie worden de schalies van de Nedersaksen groep als basis aangehouden [Van Vugt e.a., 2017 Ref. 2]



Afbeelding 1.5 Dwarsdoorsnede over een tunneldal (Peelo Formatie) met een diepte van meer dan 400 meter-mv. Duidelijk zichtbaar is de doorsnijding van de kleilagen van de formaties van Peize, Maassluis en Oosterhout (Ref. 4)



1.3 Uitwerking aan de hand van praktijkvoorbeelden

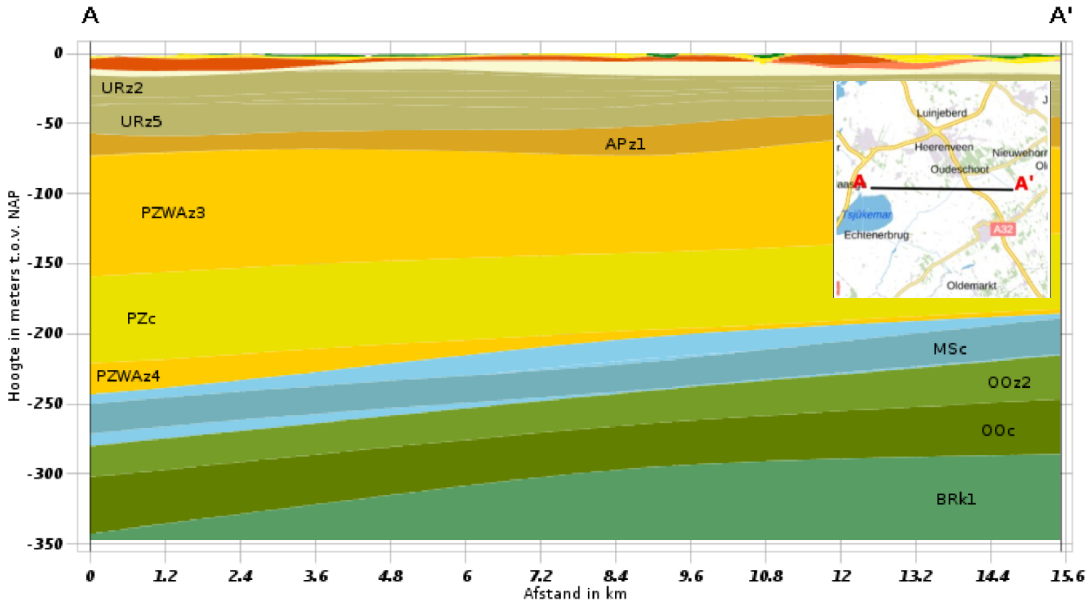
Bovenstaande aanpak is op hoofdlijnen uitgewerkt voor de drie geselecteerde voorbeeldgebieden. Let wel, het gaat hierbij dus niet om een detailuitwerking voor een daadwerkelijke locatie, maar meer om een illustratie om houvast te bieden voor het vormgeven van monitoring.

1.3.1 Voorbeeldgebied Friesland Zuid

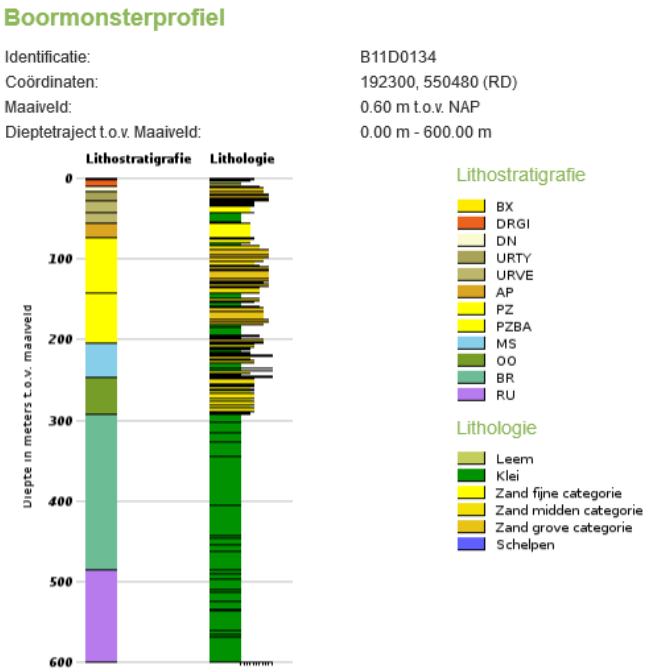
Geohydrologische opbouw en grondwatergebruik

In het voorbeeldgebied Friesland-Zuid is grofweg één watervoerend pakket aanwezig tot circa 150 m-NAP (Afbeelding 1.6). De slecht doorlatende holocene deklaag is deels aanwezig, daarnaast bevinden zich in de Formatie van Urk enkele kleilagen. Het zoet-zout grensvlak bevindt zich op 200-300 m-NAP. In het gebied wordt het grondwater gebruikt voor landbouw (beregening en veedrenking), warmte-koude opslag (WKO), industriële- en drinkwaterwinning. Op basis van de in de hiervoor beschreven afwegingen worden hier de kleilagen in de top van de Formatie van Maassluis (MSc) (215-250 m-mv) als geohydrologische basis beschouwd. De aanwezigheid van deze hydraulische isolerende kleilagen wordt bevestigd in de iets noordelijker gelegen boring B110134 (Afbeelding 1.7). Eventuele keteldalen die dit beeld kunnen verstoren liggen op voldoende afstand.

Afbeelding 1.6 Dwarsdoorsnede over voorbeeldgebied Zuid Friesland (Bron: Dinoloket)



Afbeelding 1.7 Formaties en lithologie van een boring in voorbeeldgebied Zuid Friesland (Bron: Dinoloket)

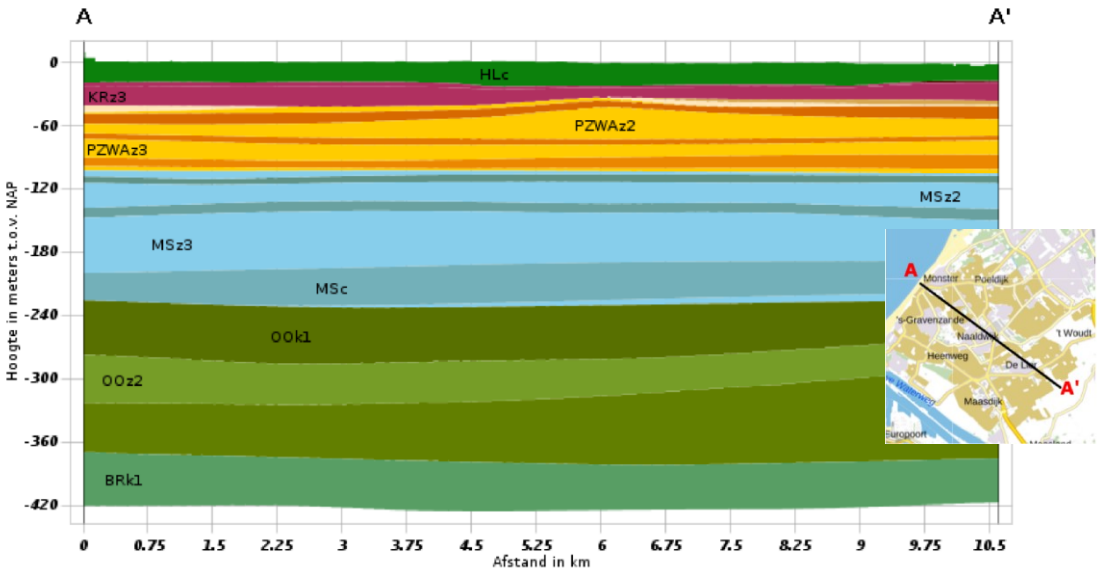


1.3.2 Voorbeeldgebied Westland

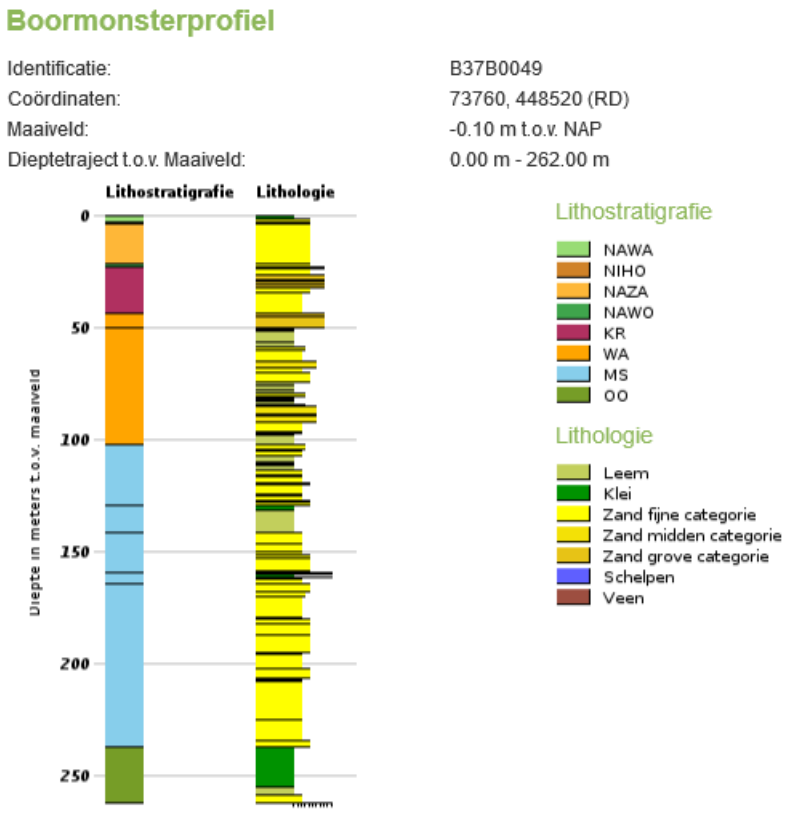
Geohydrologische opbouw en grondwatergebruik

In het voorbeeldgebied Westland (Afbeelding 1.8) is een groot aantal (dunne) watervoerende pakketten aanwezig en het zoet-zout grensvlak bevindt zich zeer ondiep (<10 m). In het gebied vinden brakwaterwinning door tuinders en concentraatlozingen plaats. Ook vinden er ontwikkelingen plaats om het grondwater actief te gaan verzoeten door het opzetten van een ondergrondse regionale opslag van zoet water ('zoetwaterbank'). Daarnaast zijn er bij drinkwaterbedrijf Dunea plannen voor de winning van brak grondwater onder de duinen. Op basis van de in de hiervoor beschreven afwegingen wordt hier de top Formatie van Oosterhout (235 m-mv) als geohydrologische basis beschouwd.

Afbeelding 1.8 Dwarsdoorsnede over voorbeeldgebied Westland (Bron: Dinoloket)



Afbeelding 1.9 Formaties en lithologie van een boring in voorbeeldgebied Westland (Bron: Dinoloket)



1.3.3 Voorbeeldgebied Centrale Slenk Brabant

Geohydrologische opbouw en grondwatergebruik

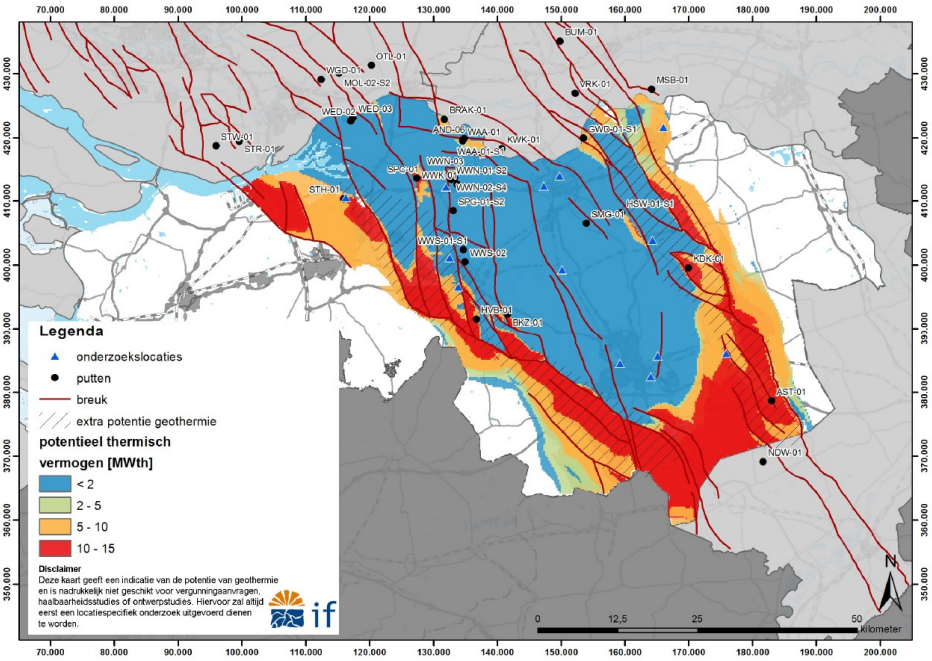
In het voorbeeldgebied Centrale Slenk Brabant (Afbeelding 1.10) is een groot aantal (zoete) watervoerende pakketten aanwezig en het zoet-zout grensvlak bevindt zich tussen 200-500 m-NAP. In het gebied wordt er, naast de mogelijke ontwikkeling van geothermie, al grondwater gewonnen voor drinkwaterproductie en zijn er industriële onttrekkingen, vooral centraal in de slenk en aan de oostkant van de slenk. Ook zijn er WKO systemen actief. Vanuit Vlaanderen vindt er verzoeting van de diepere pakketten plaats (Afbeelding 1.14). Vanwege de verschillen in geohydrologische opbouw (Afbeelding 1.11) door breukwerking tussen de oost- en westkant van de slenk, worden volgens de NHI-schematisatie verschillende lagen als geohydrologische basis worden beschouwd:

- locatie Centrale Slenk west (Tilburg ten oosten van breuk): Top Oosterhout Complexe eenheid;
- locatie Centrale Slenk oost (Helmond): Top Oosterhout Complexe eenheid Formatie van Oosterhout/ Top Formatie van Breda (345 m-mv).

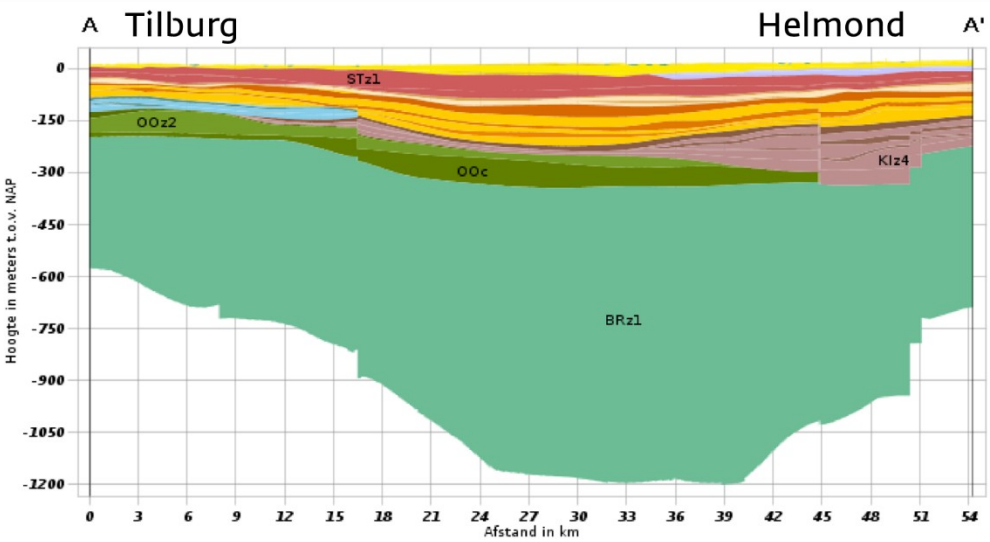
Zoals al aangegeven in paragraaf 1.2.1 zijn er grote vraagtekens te zetten bij de keuze voor de Top van de Formatie van Breda als geohydrologische basis door grote onzekerheid over het voorkomen, de dikte en de volkomenheid van kleilagen in deze formatie. Voor landelijke modellering is dit wellicht een valide keuze, voor de keuze van de monitoringsdiepte is een betere onderbouwing noodzakelijk. Als de REGIS schematisatie wordt vergeleken met de schaarse (voldoende diepe) boringen in het gebied zijn tevens vraagtekens te zetten bij de validiteit van deze laag als ondergrens voor monitoring. Uit boring B50F0066 blijkt bijvoorbeeld dat de complexe eenheid op deze locatie bestaat uit fijne en grove zanden en schelplagen en geen duidelijke (dikke kleilagen). Hetzelfde geldt voor de Formatie van Breda aan de oostkant van de slenk. Het beeld dat uit de schaarse boringen naar voren komt is wisselend, maar deze laten geen dikke regionale kleilagen zien (Afbeelding 1.13). De eerstvolgende kleilaag waar consensus is over dikte en verbreiding is de Klei van de Formatie van Veldhoven op een diepte van 750-1.000 meter-mv.

Uit drie bestudeerde locaties blijkt dat het duiden van de geohydrologische basis afhankelijk is van geologische omstandigheden. In grote delen van Nederland is deze duidelijk aanwijsbaar. In de Centrale Slenk is er echter geen consensus over de geohydrologische basis.

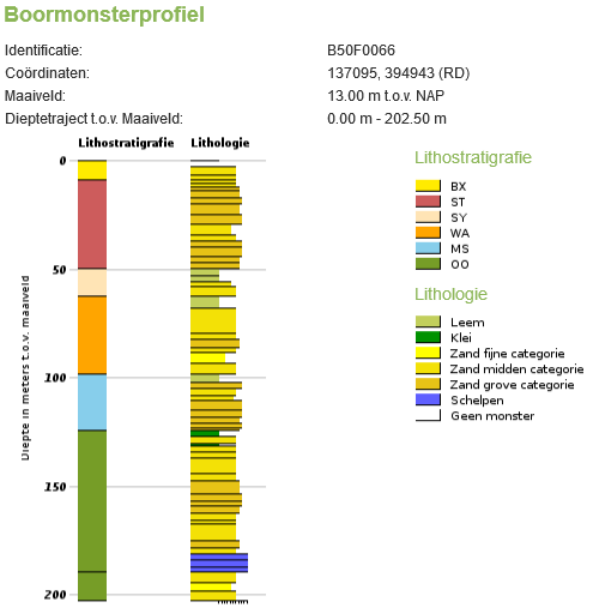
Afbeelding 1.10 Potentieel thermisch vermogen Centrale Slenk in Trias reservoir (IF Technology 2014 [ref 6])



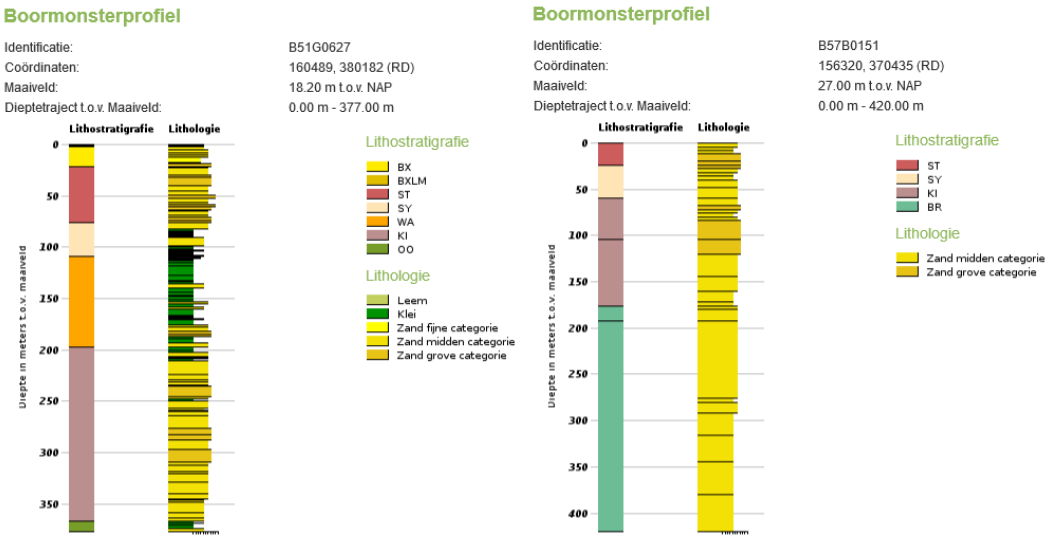
Afbeelding 1.11 Dwarsdoorsnede over voorbeeldgebied Centrale Slenk over de lijn Tilburg-Helmond (Bron: Dinoloket)



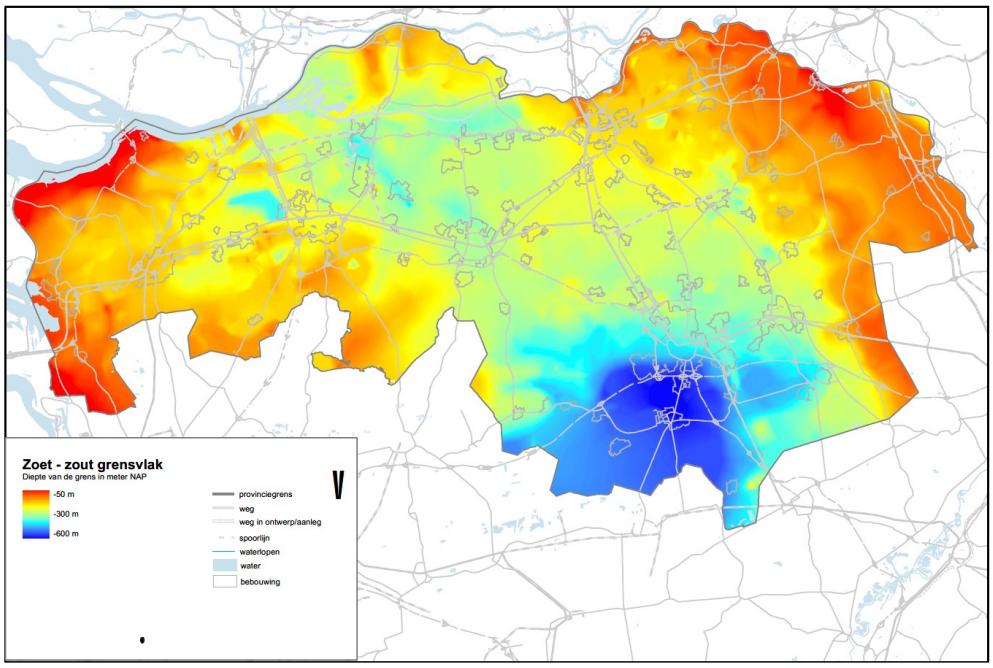
Afbeelding 1.12 Direct ten westen van Tilburg bestaat de complexe eenheid in de Formatie van Oosterhout voornamelijk uit fijn en midden categorie zand en schelpen. Van kleilagen is geen sprake (Bron: Dinoloket)



Afbeelding 1.13 In het midden van de slenk is in boring B51G0627 een dunne kleilaag van de Formatie van Oosterhout aangetroffen onder de kiezelooliet formatie (links). Boringen tot in de Formatie van Breda zijn uiterst schaars. In de zuidelijk gelegen boring B57B0151 zijn tot meer dan vierhonderd meter diepte geen duidelijke kleilagen aangetroffen in de Formatie van Breda (rechts) (Bron: Dinoloket)



Afbeelding 1.14 Zoet-zoutgrensvlak in Noord-Brabant (Ref. 5)



1.4 Conceptueel monitoringsontwerp

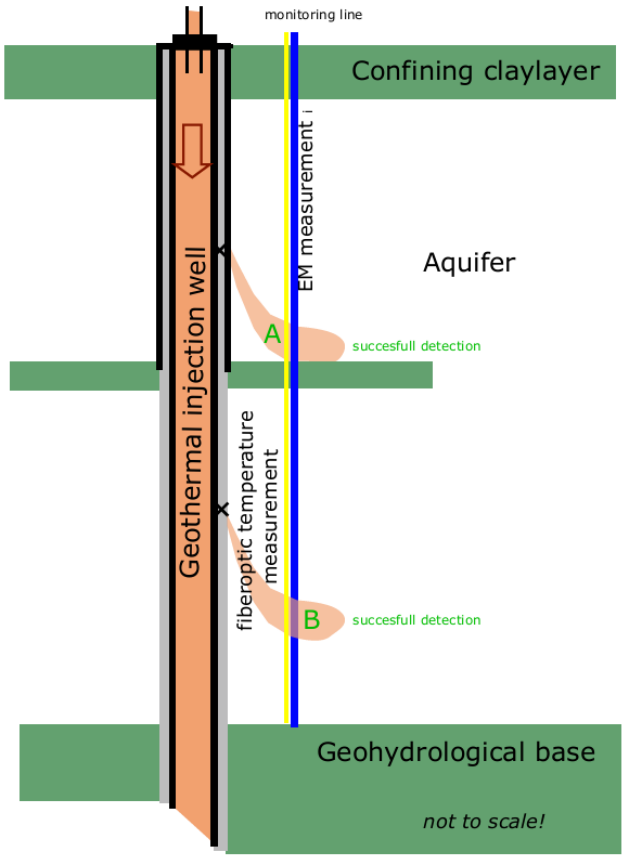
Op basis van Cirkel en Hartog (2017, Ref. 11) is gekozen voor een monitoringsontwerp gericht op het aantonen dat géén lekkage optreedt. Dit is ingegeven vanuit de eis van een zo doelmatige monitoring: de verwachting is dat er bij integere en goed beheerde putten geen lekkages zullen optreden. Als een lekkage wordt gedetecteerd kan vervolgens uitgebreidere monitoring, dan wel een saneringssysteem worden geïnstalleerd.

Bij een onverhoopte lekkage zijn er twee parameters die onder vrijwel alle Nederlandse omstandigheden duidelijk detecteerbaar zijn. Het gaat hierbij om temperatuur en zoutconcentratie die, met behulp van DTS en EM, zowel verticaal als in de tijd nauwkeurig gemeten kunnen worden. Voor een nadere onderbouwing van deze keuze en de doelmatigheid hiervan wordt verwezen naar Cirkel en Hartog (2017, Ref. 11), ook voor de vergelijking tot alternatieven zoals uitgebreide peilbuismonitoring die in het buitenland wel voorgeschreven wordt. Voor succesvolle detectie moet op korte afstand van de put gemeten worden over de volledige monitoringslengte. Bij traditionele monitoringsfilters of zoutwachters is dat niet mogelijk. Voorstel is dan ook om (semi-)continue te meten in ruimte en zo mogelijk tijd. Met behulp van DTS (Distributed Temperature Sensing) via glasvezel is dit mogelijk voor de bodemtemperatuur. Deze techniek wordt al in het veld toegepast, bijvoorbeeld bij ondergrondse warmteopslag. Voor de detectie van verhoogde concentraties zout is door Cirkel en Hartog (2017, Ref. 11) voorgesteld om periodiek (minimaal jaarlijks) een standaard EM-meting (elektromagnetische inductie) uit te voeren om een ruimtelijk continu profiel van de geleidbaarheid over de diepte te verkrijgen. De verwachting is dat met het uitvoeren van minimaal een jaarlijkse EM-meting een afdoende indruk van eventuele geleidbaarheid wordt verkregen. Voordeel van EM is dat deze techniek kan worden toegepast in (blinde) verbuisde (PVC) boorgaten, waarbij de geleidbaarheid van het grondwater kan worden gemeten door de PVC buis heen. Hierdoor is de informatie die wordt verzameld niet beperkt tot alleen de filter diepte (anders loopt het water via de schacht van de peilbuis omhoog). Door de genomen profielen te vergelijken in combinatie met de temperatuurmetingen kunnen eventuele lekkages direct (afhankelijk van lekkage omvang en afstand tot de geothermieput) tijdig worden ontdekt. Een globaal overzicht van de monitoringsopzet is gegeven in Afbeelding 1.15.

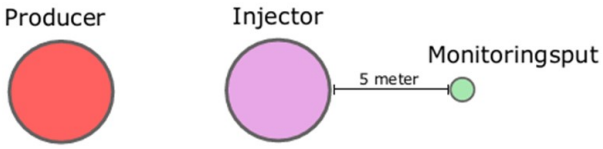
Onder Nederlandse omstandigheden is lekdetectie vooral zinvol bij de injector. Bij de producer is de afpomping in de regel zo groot dat bij een lekkage grondwater de put in zal stromen in plaats van formatiewater de put uit. Zoals aangegeven door Cirkel en Hartog (2017, Ref. 11), moet de monitoring dicht bij de injector worden geplaatst zodat eventuele effecten relatief snel en duidelijk waarneembaar zijn. Zij geven hiervoor een indicatieve afstand van 5 tot maximaal 10 meter vanaf de putkop (Afbeelding 1.16), en op basis van simpele berekeningen een detectiesnelheid binnen enkele weken tot een paar maanden (Figuur 2-5 in Cirkel en Hartog (2017). Hoe verder van de put, hoe groter het gelekte volume en daarmee vervuiling voor detectie. Daarnaast neemt bij toenemende afstand de kans op het missen van de lekkage toe. Dichterbij de put geeft mogelijk boorrisico's en mogelijke verstoring van de EM-meting door de putcasings.

Bij het interpreteren van veranderingen in het monitoringssignaal moet er aandacht zijn voor het onderscheid tussen effecten die optreden door verwarming van grondwater door warmteverlies uit de geothermieput en veranderingen die optreden door vloeistoflekkage vanuit de put. Zo is het optreden van warmteverlies vanuit de put te verwachten vanaf het moment dat een geothermie doublet in bedrijf genomen wordt en zal deze warmte geleidelijk accumuleren over de lengte van het door de put doorsneden grondwater en mogelijk tot dichtheidsstroming leiden, zoals beschreven door Van Lopik et al. (ref 7). Bij het optreden van een lekkage is de verwachting dat deze een meer lokale origine vanuit de put zal hebben. In het geval dat er binnen een aquifer een scherp grensvlak tussen zoet en zout grondwater bevindt, een bijzonder geval zoals beschreven door Van Lopik et al. (ref 7) is het zelfs mogelijk dat een dichtheidsstroming ten gevolge van de warmteuitstraling geleidelijke mobilisatie van het onderliggende zoutere grondwater veroorzaakt. Hoewel dat ondiep aanwezige zoutere grondwater tenminste enkele malen minder zout zal zijn dan het geothermische formatiewater dat bij een eventuele lekkage zal vrijkomen, is het van belang om in toekomstig onderzoek te bepalen welke monitoringssignalen te verwachten zijn ten gevolge van verschillende oorzaken en onder verschillende condities. Dit zal helpen om snel op basis van monitoringsresultaten de oorzaak te bepalen en *false-positives* of *false-negatives* voor het optreden van een eventuele lekkage te voorkomen.

Afbeelding 1.15 Globaal overzicht van het monitoringsysteem, diepte van de conductor afhankelijk van de gebruikte techniek (boren of heien)

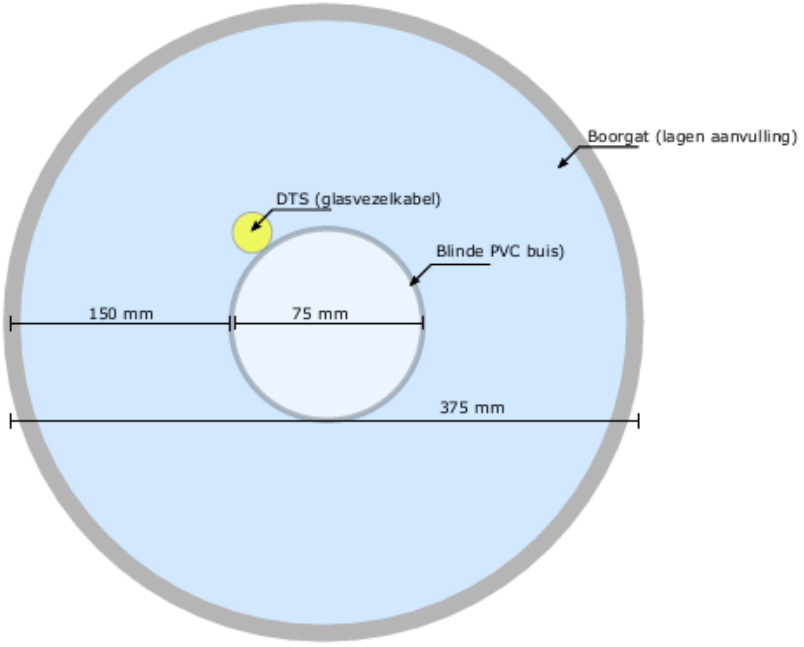


Afbeelding 1.16 Positie van de monitoringsput tussen op 5 meter gemeten vanaf de buitenste casing (conductor) van de injector



Voor de dimensionering van het boorgat is de PVC buis waarin de EM-meting plaatsvindt maatgevend. Uitgaande van een diameter van 36 mm en een (relatief starre) lengte van 1.630 mm van een EM39 probe is een ruime (blinde) PVC mantelbuis noodzakelijk met een minimale diameter van 75 mm. Aan de PVC buis wordt de DTS-kabel bevestigd. De buis en DTS kabel worden vervolgens gecentreerd in het boorgat geplaatst met behulp van centreerringen. In de praktijk bekent dit dat, conform de verder gedetailleerde beschrijvingen in het protocol Mechanisch Boren (2101) van het SIKB, er een stortkoker van 90 mm geplaatst moet kunnen worden om het boorgat in lagen te kunnen aanvullen. De annulus tussen de PVC buis en de boorgatwand dient hiervoor minimaal 100 mm te bedragen. Bij grotere dieptes wordt echter geadviseerd een ruimere annulus aan te houden van 150 mm. De boordiameter komt hiermee indicatief op 375 mm (Afbeelding 1.17). Ook wordt er voor de plaatsing van het monitoringssysteem bij voorkeur geboord met een zuigboring met luchtlift om een gedetailleerd geologisch profiel te kunnen verkrijgen.

Afbeelding 1.17 Inrichting boorgat monitoringsput. De blinde PVC buis wordt gebruikt voor periodieke EM-metingen. De glasvezelkabel is aan de blinde PVC buis gemonteerd. PVC buis en glasvezelkabel zijn gecentreerd in het boorgat. Maten zijn indicatief



Zoals besproken in paragraaf 1.2 wordt uitgegaan van monitoring tot maximaal de diepte van de wat op de locatie als de geohydrologische basis van het grondwatersysteem wordt beschouwd. In paragraaf 1.3 is deze diepte uitgewerkt voor drie voorbeeldgebieden: Friesland Zuid, het Westland en de Centrale Slenk. Op basis van dit uitgangspunt zijn de resulterende monitoringsdieptes voor de voorbeeldgebieden vastgesteld (tabel 1.1). De monitoringsdiepte voor de Centrale Slenk is uitzonderlijk door het gebrek aan informatie over eventueel aanwezige kleilagen in de Formatie van Breda. Op basis van de bestaande kennis vormen hier de kleilagen van de Formatie van Veldhoven de geohydrologische basis.

Tabel 1.1 Monitoringsdiepte voorbeeldgebieden op basis van diepte geohydrologische basis

Voorbeeldgebied	Monitoringsdiepte m -mv
Friesland Zuid	250
Het Westland	235
Centrale Slenk west	750-1000#
Centrale Slenk oost	750-1250#

#: in de kostenraming wordt uitgegaan van monitoring tot 300 en 400 meter.

1.5 Toets praktische uitvoering

1.5.1 Introductie

In deze sectie wordt beschreven hoe het monitoring ontwerp zoals beschreven in sectie 1.4, van het boren van een monitoringput in het grondwatersysteem nabij geothermieputten in de praktijk uitgevoerd kan worden (sectie 1.5.3).

1.5.2 Uitgangspunten praktische toets

Naast de algemene uitgangspunten zoals beschreven in sectie 1.2 zijn voor de toets praktische uitvoering de volgende uitgangspunten aangenomen:

1. de praktische uitvoering wordt getoetst aan de hand van nieuwe, nog te boren geothermieputten. Er wordt dus niet gekeken naar installatie van een monitoringput bij reeds operationele geothermieprojecten;
2. voor de te installeren meetsystemen is een voorwaarde dat de monitoringput uit kunststof materialen bestaat en geen ijzerhoudende materialen bevat vanwege de monitoring met EM;
3. zowel het bovenste gedeelte van de geothermieputten (tot hydrologische basis) als de monitoringput zijn verticaal en parallel. Bij het boren is er altijd een kleine afwijking ten opzichte van de verticaal, waarmee rekening gehouden wordt bij het definiëren van een minimale afstand tussen de putten;
4. om de afwijking van het boorgat ten opzichte van de verticaal te minimaliseren wordt de boring van de monitoringput uitgevoerd door middel van een voldoende nauwkeurige boormethode. Meest voor de hand liggend is gebruik van de zuigboormethode in combinatie met luchtliften. Tijdens het boren worden voldoende verzwaarstangen gebruikt om verticaal te kunnen boren;
5. het monitoringsysteem is primair gericht op detectie van lekkage vanuit de geothermie injector. De reden hiervoor is dat de kans op lekkage aan de kant van de injector vele malen groter is dan aan de kant van de producer (Ref. 8). Dit komt doordat in de injector een overdruk ten opzichte van de omliggende ondergrondlagen heerst, waardoor vloeistoffen uit de put stromen indien er een opening (bijv. ten gevolge van corrosie) in de putwand is ontstaan. In de producer heerst (tijdens bedrijf van de productie-pomp) juist een onderdruk ten opzichte van de omliggende ondergrondlagen, waardoor vloeistoffen de put in zouden stromen indien er een opening ontstaat.

1.5.3 Plaatsing monitoringput nabij geothermieputten

Bij het realiseren van de monitoringput nabij de geothermieputten dient allereerst rekening gehouden te worden met de haalbare afstand tussen de geothermieputten en de monitoringput. De afstand bepaalt mede welke temperatuurverhoging rondom de geothermieputten na verloop van tijd te verwachten is en het risico op wegspoelen van de formatie rondom het boorgat bij het boren van de geothermieput. Deze aspecten worden hieronder besproken.

Volgorde van plaatsing boringen

De monitoringput kan zowel voorafgaand als na de geothermieboring gerealiseerd worden, elk met verschillende voor- en nadelen. Bij beide varianten zal er rekening gehouden moeten worden het reeds gerealiseerde systeem (geothermieput of monitoringsput) niet te beschadigen. Realisatie achteraf heeft het belangrijke voordeel dat niet a priori bepaald hoeft te worden welke van de geboorde putten de injector wordt. Ook worden er zo geen onnodige kosten gemaakt voor de aanleg van monitoringput mocht na boren van de geothermieput(ten) deze toch niet in productie genomen worden. Zowel de conductors voor de geothermieputten als de monitoringput kunnen door hetzelfde grondboorbedrijf worden uitgevoerd. Als het monitoringssysteem voorafgaand aan de geothermieboring wordt gerealiseerd dan kan het grondboorbedrijf eerst de conductors plaatsen en daarna de monitoringput. Hiermee kunnen mogelijk relatief geringe dubbele kosten (zoals voor mobilisatie) van het grondboorbedrijf bespaard worden.

Afstand monitoringput tot geothermieputten

Een hoofdaspect van het ontwerp van het monitoringssysteem is de afstand tussen de geothermieput(ten) en de monitoringput. Vanuit het oogpunt van detectie van een eventuele lekkage is een indicatieve afstand van 5-10 meter beschreven in sectie 1.4. Vanuit het oogpunt van het boren van een monitoringput nabij een of meerdere bestaande (geothermie)boringen is een minimale afstand van 3 meter aangegeven (Ref. 12). Deze afstand is gebaseerd op de nauwkeurigheid van de boringen, waarbij voorkomen wordt dat de boorgaten elkaar raken.

Benodigde temperatuurresistentie ter plaatse van monitoringput

Ook zonder brijn lekkage zal tijdens het bedrijf van een geothermieput de ondergrond rondom opgewarmd worden ten gevolge van warmteuitstraling vanuit de put. De resistentie van de gebruikt materialen moeten hierop berekend zijn om beschadiging van de monitoringput, door verweking van de kunststof monitoringbuis te voorkomen. De maximum temperatuur waartegen het monitoringsysteem bestand moet zijn hangt af van de temperatuur van de brijn zoals die in het geothermiesysteem verpompt wordt en van met name de afstand van de monitoring tot de put (Ref. 7). De potentie voor temperatuurverhoging rondom de geothermieput is het hoogst bij de productieput, waarin het productiewater de temperatuur van het formatiewater nadert (70-90°C in huidige operationele projecten, bij toekomstige projecten mogelijk hoger). Met toenemende afstand tot de put neemt de temperatuur snel af. Als indicatie geeft een modelstudie (Ref. 7) voor een voor een put van 80 °C aan dat de temperatuur na 30 jaar op een afstand van 0.75 en 40 meter van de put toeneemt tot respectievelijk maximaal 60°C en 25°C . De injectietemperatuur van de injector (25-35°C) waarvoor de impact op grondwater gemonitord is echter veel lager dan voor de producer.

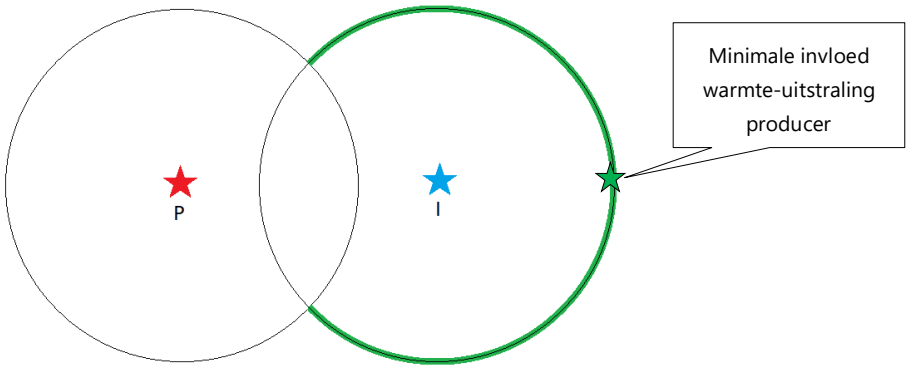
Risico op beschadiging monitoringput door booractiviteit

Ter voorbereiding op een geothermieboring wordt eerst een conductor geplaatst; dit is een grote diameter stalen buis (bijv. 24”). De conductor wordt geplaatst door middel van heien of boren. In het geval van heien is de haalbare diepte beperkt ongeveer 80 tot 100 meter. In het geval van boren kan een grotere diepte bereikt worden. Dit wordt meestal gedaan tot maximaal 150 - 250 meter diepte, maar een grotere diepte is mogelijk (Ref. 7). Indien de conductor door middel van boring geplaatst wordt, wordt de ruimte tussen de conductor en het boorgat gecementeerd. Vanuit de conductor wordt vervolgens de geothermieboring uitgevoerd. Hierbij wordt ter plaatse van de boorbeitel onder hoge druk boorvloeistof in het boorgat gespoten, en kan ongeconsolideerd materiaal van de formatie weggespoeld worden (*washout*). Als dit gebeurt nadat de monitoringsput al geplaatst is, kan dit de monitoringput beschadigen. Het plaatsen van de conductor tot minstens gelijke diepte als de monitoringsput voorkomt dit risico in dat geval. .

Indicatieve locatie en afstand van monitoringput ten opzichte van geothermieputten

Zoals reeds benoemd in de uitgangspunten (Sectie 1.5.2, punt 5) is het monitoringsysteem primair gericht op detectie van lekkage vanuit de injector. Bij een afstand van 5 meter tussen injector en monitoringput is de voorkeurslocatie van de monitoringput weergegeven in Afbeelding 1.18. Om de invloed van warmte-uitstraling vanuit de producer op de meting te minimaliseren kan de monitoringput hierbij zo ver mogelijk van de producer geplaatst worden. Doorgaans wordt een geothermisch doublet vanaf een enkele oppervlaktelocatie geboord met een minimale afstand van ongeveer 7 meter (hart-op-hart) tussen de geothermieputten. Bij een detectiecirkel van 5 meter is Afbeelding 1.18 dus van toepassing bij een afstand van 7-10 meter tussen de geothermieputten. Bij een afstand van meer dan 10 meter tussen beide geothermieputten kan de monitoringput in willekeurige richting op 5 meter afstand van de injector geplaatst worden. Dit op basis van de inschattingen door Cirkel en Hartog (2017, Ref. 11) waarbij de invloed van grondwaterstroming op de lekdetectie bij een stroomsnelheid tot tenminste 150 meter per jaar te verwaarlozen lijkt. Desalniettemin is de voorkeur bij elke mate van grondwaterstroming de monitoringsput zoveel mogelijk in stroomafwaartse richting van de injector te plaatsen.

Afbeelding 1.18 Voorkeurslocatie van monitoringput (groen) ten opzichte van producer (P) en injector (I). De cirkels geven een straal van 5 meter rondom de geothermieputten aan. Op de aangegeven locatie (groene ster) is de invloed van warmte-uitstraling vanuit de producer minimaal



De hierboven beschreven overwegingen in acht nemende lijkt een afstand van ongeveer 5 meter (Cirkel en Hartog, 2017, Ref. 11) van de monitoringput vanaf de injector geschikt, op grootst mogelijke afstand van de producer. Hierbij wordt een acceptabele afstand voor de meest snelle detectie van een lekkage op basis van saliniteit- en temperatuurverandering behaald, en worden risico's op beïnvloeding van de monitorput ten gevolge van het boorproces of warmte-uitstraling uit de producer gemitigeerd.

Opbouw van de monitoringput

De vereiste diameters voor de monitoringbuis en het boorgat zijn beschreven in sectie 1.4. Uitgaande van deze afmetingen is er ruimte om, naast de monitoringbuis, een of meerdere peilbuizen te plaatsen. Het plaatsen van extra buizen in het boorgat brengt relatief weinig meerkosten met zich mee.

De minimale boorgatafmeting van 375 mm (Afbeelding 1.17) geeft voldoende ruimte voor de stortkoker die vereist is om het boorgat af te dichten. Hierbij wordt extra aandacht besteed aan het afdichten van de scheidende kleilagen, om vloeistofstroming tussen watervoerende pakketten te voorkomen.

Voor de materiaalselectie van de monitoringbuis dient rekening gehouden te worden met de maximale temperatuur die verwacht wordt ter plaatse van de monitorput. Het kunststof materiaal van de buis kan bij hogere temperaturen week worden, waardoor er beschadigingen kunnen ontstaan en de monitoringput mogelijk onbruikbaar wordt. Door boorbedrijven is voor PVC een maximale temperatuur van 50-60°C aangeraden en voor GRE (glassfiber reinforced epoxy) 70-90°C (Ref. 10). In brochures van leveranciers van putmaterialen worden echter hogere maximumtemperaturen aangegeven van 75°C voor PVC (Ref. 9) en 120°C voor GRE (Ref. 10). Aangezien deze temperatuurresistenties veel hoger zijn dan de injectietemperatuur van de brijn bij de injector lijken deze materialen goed geschikt voor de plaatsing van een monitoringsysteem zoals hierboven beschreven.

1.6 Conclusies grondwatermonitoring in de praktijk

Conclusies met betrekking tot uitwerking monitoringontwerp aan de hand van voorbeeldgebieden:

- de grondwatermonitoringsysteem richt zich op de detectie van lekkage van geothermische brijn uit de put, niet op het vaststellen van de grootte van de impact daarvan;
- gezien de afpomping in de productieput richt de monitoring zich op de injectieput van het doublet;
- verticale variatie en temporele ontwikkeling van de gemeten temperatuur en geleidbaarheid in het grondwater zijn de aangewezen indicatoren voor detectie van lekkage. Voor het efficiënt kunnen interpreteren van waargenomen monitoringssignalen wordt verder onderzoek aanbevolen;
- de keuze van de geohydrologische basis als maximale ondergrens voor monitoring is voor grote delen van Nederland een werkbaar concept. Voor het bepalen van een generiek uitgangspunt voor de

monitoringsdiepte in een aantal gebieden in Nederland werkt het hanteren van de gekozen uitgangspunten voor de geohydrologische basis niet. Bijvoorbeeld in de Centrale Slenk waar door het niet duidelijk aanwezig zijn van ondieper gelegen scheidende lagen, de monitoringsdiepte excessief zou worden (Tabel 1.1.). In deze gebieden is het bepalen van een ander generiek bruikbare bepaling nodig. Daarnaast blijft altijd lokale verificatie van de aanwezigheid en eigenschappen van veronderstelde scheidende lagen noodzakelijk;
- DTS (Distributed Temperature Sensing) met glasvezel en EM-meting (elektromagnetische inductie) zijn technieken die het mogelijk maken de indicator parameters (T en zoutgehalte) te meten over de tijd en over de diepte;
- bij de monitoring gaat het steeds om detectie van afwijkingen van het in de praktijk vast te stellen heersende temperatuur en geleidbaarheidsprofiel;
- de monitoring dient op korte afstand (binnen 10 meter) van de injectieput plaats te vinden om beïnvloeding van lekkagedetectie door achtergrondstroming te minimaliseren en tijdige detectie mogelijk te maken.

Conclusies met betrekking tot de toets praktische uitvoering:
- Een monitoringsysteem in het grondwatersysteem nabij een geothermieput, waarbij een separate monitoringput geboord wordt, lijkt praktisch goed haalbaar;
- de monitoringput wordt op korte afstand van de injectieput geplaatst:
  - vanuit boor-technisch oogpunt is een minimale afstand van 3 meter nodig om te voorkomen dat de boringen elkaar raken. Hierop wordt een extra marge genomen om het risico op beschadiging van de monitoringput door booractiviteiten of warmte-uitstraling te mitigeren;
  - het primaire doel is detectie van lekkage vanuit de injectieput, omdat de kans op lekkage vanuit de productieput verwaarloosbaar wordt geacht;
  - bij voorkeur wordt de monitoringput zo ver mogelijk van de productieput geplaatst om de mogelijke negatieve effecten van warmte-uitstraling te minimaliseren;
  - de monitoringput kan zowel voorafgaand als na de geothermieboring gerealiseerd worden, elk met verschillende voor- en nadelen. Realisatie achteraf heeft het belangrijke voordeel dat niet a priori bepaald hoeft te worden welke van de geboorde putten de injector wordt. Ook worden er zo geen onnodige kosten gemaakt voor de aanleg van monitoringput mocht na boren van de geothermieput(ten) deze toch niet in productie genomen worden.;
- de materiaalkeuze voor de monitoringbuis (PVC of GRE) biedt mogelijkheden voor het selecteren van buizen met voldoende resistentie voor de verwachte maximale temperatuur ter plaatse van de monitoringput.

2

KOSTEN MONITORING

2.1 Introductie

In dit hoofdstuk zijn voor de drie voorbeeldgebieden de kapitale en operationele kosten doorgerekend. Daarnaast is het risico op meerkosten geïnventariseerd. Dit is gedaan met de standaard systematiek kostenramingen, ofwel SSK-raming (zie kader). De volledige raming is te vinden in bijlage I.

Standaard systematiek voor kostenramingen (SSK)
De kostenraming is opgesteld op basis van de CROW Publicatie 137 'Standaard Systematiek voor Kostenramingen'. Hierbij zijn de directe en indirecte kosten geraamd alsook objectgebonden risico's, projectengineering, bijkomende kosten en objectoverstijgende risico's.

De marge op de ramingen (trefzekerheid), voor zowel de investeringskosten als de levensduurkosten, wordt bepaald met behulp van Monte Carlo simulaties middels het programma Risicoraming. Ten behoeve van de margebepaling zijn bij de hoeveelheden en eenheidsprijzen de onzekerheidsmarges aangegeven in de vorm van een laagste (L-waarde) en uiterste waarde (U-waarde), uitgedrukt in procenten ten opzichte van de bepaalde waarde. De post 'risico's' (zowel objectgebonden als objectoverstijgend) is ingevuld op basis van een risico-inventarisatie conform Rismanmethode aangevuld met een opslagpercentage voor niet-benoemde risico's.

De kosten kunnen worden ingedeeld in vaste kosten en variabele kosten. Vaste kosten zijn voor iedere locatie in principe hetzelfde, er zit weinig variatie in en de kans dat de kosten in praktijk hoger uitvallen is klein. Variabele kosten zijn sterk afhankelijk van de locatie, deze kosten worden met name bepaald door het aantal te boren meters. Naarmate het aantal boormeters toeneemt, neemt ook het risico op meerkosten toe.

De SSK is samengevat in tabellen. In paragraaf 2.2 worden de vaste en variabele bouwkosten besproken. In paragraaf 2.3 worden de operationele kosten besproken. De kosten zijn bepaald voor de voorgestelde metingen buiten de geothermie put, deze metingen vervangen niet de kosten voor de reguliere 3-5 jaarlijkse monitoring met wirelinetools in de geothermie put.

2.2 Bouwkosten

In tabel 2.1 worden de bouwkosten voor de verschillende locaties samengevat. De tabel maakt onderscheid tussen directe kosten en indirecte bouwkosten en er wordt rekening gehouden met een risicoreservering. Onder directe kosten vallen alle kosten die bij uitvoering worden gemaakt zoals de mobilisatie, het boren en het gebruikte sensormateriaal; indirecte kosten zijn bijvoorbeeld kosten voor planning, coördinatie en rapportage.

Het meest kostenbepalende verschil tussen de locaties is het verschil in boordiepte, er wordt in alle gevallen uitgegaan van een zuigboring met luchtlift (zie kader).

Boortechnieken
Voor het bepalen van de boorkosten is alleen uitgegaan van technieken die binnen de BRL 2100 (richtlijn mechanisch boren - SIKB) zijn toegestaan. Dit zijn boortechnieken waarbij de afdichting goed gecontroleerd kan worden. Op dieptes die groter zijn dan 150 meter (tot 400 meter) is een zuigboring met luchtlift de best beschikbare techniek.

Tabel 2.1 Samenvatting bouwkosten aannemer

Post	Friesland Zuid	Het Westland	Centrale Slenk West	Centrale Slenk Oost
uitgangspunt boordiepte	250	235	300	400
directe bouwkosten*	€ 75.000	€ 72.000	€ 98.000	€ 124.000
indirecte bouwkosten*	€ 83.000	€ 83.000	€ 88.000	€ 93.000
totaal voorziene bouwkosten (VZBK)*	**€ 158.000**	**€ 155.000**	**€ 186.000**	**€ 217.000**
risicoreservering(RBK)*	€ 24.000	€ 23.000	€ 28.000	€ 33.000
totaal (incl. risicoreservering)* onzekerheid P15-P85**	**€ 182.000 ± 60.000**	**€ 178.000 ± 60.000**	**€ 214.000 ± 60.000**	**€ 250.000 ± 65.000**

* In deze tabel zijn de bedragen afgerond op gehele duizendtallen t.o.v. de bedragen in bijlage I. Daar zijn de overeenkomende bedragen rood gemarkeerd.
** Bij de SSK raming zijn de P15 (85 % kans op overschrijding) en de P85 (15 % kans op overschrijding berekend. Dit komt neer op de weergegeven spreiding.
*** In de kostenraming is uitgegaan van monitoring tot 300 meter voor Centrale Slenk west en 400 meter voor Centrale Slenk oost, dit is de globale ligging van het zoet-zout grensvlak op deze locaties. De einddiepte van de monitoring is de geohydrologische basis, wanneer blijkt dat deze dieper ligt dan 400 meter moet een andere boormethode worden toegepast.

2.3 Operationele kosten

De operationele kosten zijn uitgerekend over een levensduur van 50 jaar. De kosten worden bepaald door onderhoud en monitoringskosten. Er is voorzien dat het onderhoud 2-jaarlijks moet worden uitgevoerd en dat eens in de 5 jaar de meetapparatuur moet worden vervangen. Daarnaast wordt uitgegaan van een halfjaarlijkse EM-meting, hiervoor is een locatiebezoek noodzakelijk. De operationele kosten zijn geraamd op EUR 4.700,-- ± 1.400 per jaar.

2.4 Conclusies

De bouwkosten voor de verschillende locaties komen neer op totaal (incl. risicoreservering) onzekerheid P15-P85*:

- **Friesland Zuid**: EUR 182.000 ± 60.000
- **Het Westland**: EUR 178.000 ± 60.000
- **Centrale Slenk West**: EUR 214.000 ± 60.000
- **Centrale Slenk Oost**: EUR 250.000 ± 65.000

Het meest kostenbepalende verschil tussen de locaties is het verschil in boordiepte, er wordt in alle gevallen uitgegaan van een zuigboring met luchtlift.
De operationele kosten zijn uitgerekend over een levensduur van 50 jaar. De kosten worden bepaald door onderhoud en monitoringskosten. De operationele kosten zijn geraamd op EUR 4.700,-- per jaar.

3

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Ontwerp grondwatermonitoring

Conclusies met betrekking tot uitwerking monitoringontwerp aan de hand van voorbeeldgebieden zijn:

- het grondwatermonitoringsysteem richt zich op de detectie van lekkage van geothermische brijn uit de put, niet op het vaststellen van de grootte van de impact daarvan;
- gezien de afpomping in de productieput richt de monitoring zich op de injectieput van het doublet;
- verticale variatie en temporele ontwikkeling van de gemeten temperatuur en geleidbaarheid in het grondwater zijn de aangewezen indicatoren voor detectie van lekkage. Voor het efficiënt kunnen interpreteren van waargenomen monitoringssignalen wordt verder onderzoek aanbevolen;
- de keuze van de geohydrologische basis als maximale ondergrens voor monitoring is voor grote delen van Nederland een werkbaar concept. Voor het bepalen van een generiek uitgangspunt voor de monitoringsdiepte in een aantal gebieden in Nederland, is het onduidelijk of een regionaal scheidende laag (voldoende) aanwezig is of welke laag daarvoor te hanteren is en is aanvullend onderzoek nodig;
- DTS (Distributed Temperature Sensing) met glasvezel en EM-meting (elektromagnetische inductie) zijn technieken die het mogelijk maken de indicator parameters (T en zoutgehalte) te meten over de tijd en over de diepte;
- bij de monitoring gaat het steeds om detectie van afwijkingen van in de praktijk vast te stellen heersende temperatuur en geleidbaarheidsprofiel;
- de monitoring dient op korte afstand (binnen 10 meter) van de injectieput plaats te vinden om beïnvloeding van lekkagedetectie door achtergrondstroming te minimaliseren en tijdige detectie mogelijk te maken.

Toets praktische uitvoering

Conclusies met betrekking tot de toets praktische uitvoering zijn:

- een monitoringsysteem in het grondwatersysteem nabij een geothermieput, waarbij een separate monitoringput geboord wordt, lijkt praktisch goed haalbaar;
- de monitoringput wordt op korte afstand van de injectieput geplaatst:
  - vanuit boor-technisch oogpunt is een minimale afstand van 3 meter nodig om te voorkomen dat de boringen elkaar raken;
  - het primaire doel is detectie van lekkage vanuit de injectieput, omdat de kans op lekkage vanuit de productieput verwaarloosbaar wordt geacht;
  - bij voorkeur wordt de monitoringput zo ver mogelijk van de productieput geplaatst om de effecten van warmte-uitstraling vanuit de producer te minimaliseren;
  - de monitoringput kan zowel voorafgaand als na de geothermieboring gerealiseerd worden, elk met verschillende voor- en nadelen. Realisatie achteraf heeft het belangrijke voordeel dat niet a priori bepaald hoeft te worden welke van de geboorde putten de injector wordt. Ook worden er zo geen onnodige kosten gemaakt voor de aanleg van monitoringput mocht na boren van de geothermieput(ten) deze toch niet in productie genomen worden.;
- de materiaalkeuze voor de monitoringbuis (PVC of GRE) biedt mogelijkheden voor het selecteren van buizen met voldoende resistentie voor de verwachte maximale temperatuur ter plaatse van de monitoringput.

Kosten

De bouwkosten voor de verschillende locaties komen neer op totaal (incl. risicoreservering en onzekerheid P15-P85*):

- **Friesland Zuid**: EUR 182.000 ± 60.000
- **Het Westland**: EUR 178.000 ± 60.000
- **Centrale Slenk West**: EUR 214.000 ± 60.000
- **Centrale Slenk Oost**: EUR 250.000 ± 65.000

Het meest kostenbepalende verschil tussen de locaties is het verschil in boordiepte, er is in alle gevallen van de kostenberekening uitgegaan van een zuigboring met luchtlift.

De operationele kosten zijn uitgerekend over een levensduur van 50 jaar. De kosten worden bepaald door onderhoud en monitoringskosten. De operationele kosten zijn geraamd op EUR 4.700,-- per jaar.

Aanbevelingen grondwatermonitoring

Aanbevelingen met betrekking tot uitwerking monitoringontwerp aan de hand van voorbeeldgebieden:

- hoewel grondwatermonitoring bij geothermieputten nog niet eerder in Nederland is gerealiseerd geven de in deze studie gepresenteerde inzichten een goede basis voor het realiseren van een eerste grondwatermonitoringsysteem in de praktijk. Dit zal helpen om de modelmatige inzichten over warmte uitstraling uit warme putten (Ref. 7) in de praktijk te toetsen. Daarnaast kan modelonderzoek helpen meer inzicht te krijgen over het gedrag en het daarbij te verwachten monitoringsignaal bij een uit de injector weglekkende brijn onder verschillende omstandigheden met betrekking tot het lekdebiet, de temperaturen, het dichtheidsverschil en de achtergrondstroming;
- vooral in de Centrale Slenk is de kennis over de aanwezigheid van kleilagen in de Formatie van Breda, die mogelijk een ondergrens voor monitoring kunnen vormen, zeer beperkt. Tevens is er in het noorden van het land onduidelijkheid over het door potkleigeulen mogelijk afwezig zijn van de regionale geohydrologische basis. Aanbevolen wordt meer kennis te vergaren over de hydrogeologische opbouw en continuïteit in deze gebieden, bijvoorbeeld door middel van boringen of seismisch onderzoek.

4

REFERENTIES

1 Jacco Hoogewoud, Wim de Lange, Joachim Hunink, Ronald Vernes, Erik Simmelink, Jan Hummelman, Rien Pastoors (2010) Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI Modelrapportage fase 2. Deltares 33.
2 Van Vugt, A.C., I. Phernambucq, A. Biesheuvel, L. Pompe, R. Klijn, A.R. van Lienden, (2017) Gebiedsdossiers drinkwaterwinningen Overijssel. Deel 2: Gebiedsdossier Enschede-Losser. Actualisatie gebiedsdossiers (ZL511-16) Provincie Overijssel.
3 Dufour, F. C. (1998). Grondwater in Nederland. NTIG-TNO, Delft, Netherlands.
4 Bakker, M.A.J., Harting, R., Zaadnoordijk, W.J. (2017) Inventarisatie van tunneldalen en potklei van de Formatie van Peelo rond Nij Beets en Gorredijk. TNO 2017 R11404.
5 Stuurman R., B. de Goes en P. Stuyfzand (2006). Kartering en meetnetontwerp zoet-brak-zout overgang in het grondwater in Noord-Brabant. TNO. Rapport 2006-U-R0074/A.
6 IFtechnology (2014) Geothermische energie uit Trias aquifers in de ondergrond van Noord-Brabant.
7 Van Lopik, J. H., Hartog, N., Zaadnoordijk, W. J., Cirkel, D. G., & Raoof, A. 2015. Salinization in a stratified aquifer induced by heat transfer from well casings. Advances in Water Resources, 86: 32-45.
8 Witteveen+Bos, 2019. Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie.
9 Brochure putmateriaal, Supreme, Complete piping solutions for borewell applications.
10 Brochure putmateriaal, Amerplastics, Bondstrand Glasvezelversterkte epoxy leidingsystemen.
11 Dr. Ir. D.G. Cirkel & Dr. N. Hartog, Grondwatermonitoring bij Geothermieputten, BTO 2017.075 December 2017.
12 Mondeling contact met boorbedrijven Haitjema en De Ruiter GWT.

Bijlage(n)

BIJLAGE: SSK-RAMING

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Friesland Zuid	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
1						Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
	INVESTERINGSKOSTEN														
10	**Vaste kosten**														
100120	Mobilisatie en demobilisatie materieel en voorzieningen	1,00	keer	€ 4.000,00	€ 4.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 2.800,00	€ 4.000,00	€ 5.200,00	30%	30%
100130	Landmeetkundige werken	1,00	dag	€ 1.000,00	€ 1.000,00	1,0	1,0	1,3	0%	30%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.100,00	30%	10%
100140	Inrichten werkterrein (opschonen, rijplaten, verhardingen, keten)	1,00	EUR	€ 2.500,00	€ 2.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 2.500,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	50%	30%
100150	Verkeersmaatregelen (afzetting / signalering)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
100160	Inrichten werkplek boorbeschrijving	1,00	st	€ 500,00	€ 500,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 350,00	€ 500,00	€ 550,00	30%	10%
100170	Boorbeschrijving door deskundige	1,00	keer	€ 750,00	€ 750,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 375,00	€ 750,00	€ 1.500,00	50%	###
100180	Opruimen boorlocatie (indien niet gelijktijdig)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
	Totaal Vaste kosten			**€ 11.750,00**											
20	**Boring**														
200120	Boring ø375mm < 250m	250,00	m	€ 165,00	€ 41.250,00	237,5	250,0	262,5	5%	5%	€ 132,00	€ 165,00	€ 206,25	20%	25%
200150	Peilbuis GVK ø75mm	250,00	m	€ 20,00	€ 5.000,00	175,0	250,0	325,0	30%	30%	€ 18,00	€ 20,00	€ 26,00	10%	30%
200180	Boorgat afdichting (bentonietomstorting)	53,01	m^3	€ 70,00	€ 3.711,01	42,4	53,0	63,6	20%	20%	€ 49,00	€ 70,00	€ 91,00	30%	30%
200190	Boorgat afdichting dmv plug	1,00	m^2	€ 250,00	€ 250,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 200,00	€ 250,00	€ 300,00	20%	20%
	Totaal Boring			**€ 50.211,01**											
30	**Monitoringssysteem**														
300110	*Materialen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300120	EM/T sensoren	2,00	st	€ 1.000,00	€ 2.000,00	2,0	2,0	2,0	0%	0%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.300,00	30%	30%
300130	Kast voor meet en regelsysteem naast boorput	1,00	st	€ 2.000,00	€ 2.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 1.400,00	€ 2.000,00	€ 2.600,00	30%	30%
300140	Glasvezel	250,00	m	€ 3,00	€ 750,00	225,0	250,0	275,0	10%	10%	€ 2,10	€ 3,00	€ 3,90	30%	30%
300190	*Plaatsen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300200	Installeren monitoringssysteem	2,00	dag	€ 440,00	€ 880,00	1,4	2,0	2,6	30%	30%	€ 308,00	€ 440,00	€ 572,00	30%	30%
300210	Inregelen/calibratie monitoringssysteem	1,00	dag	€ 960,00	€ 960,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 672,00	€ 960,00	€ 1.248,00	30%	30%
	Totaal Monitoringssysteem			**€ 6.590,00**											
	Benoemde directe bouwkosten				**€ 68.551**										
NTD011	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%		€ 68.551	€ 6.855	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe bouwkosten				**€ 75.406**										
IK011	Coördinatiekosten / koepelkosten / Projectmanagement	1,00	EUR	€ 60.000,00	€ 60.000	1	1	1	30%	30%	€ 60.000,00	€ 60.000,00	€ 60.000,00	30%	30%
IK019	Uitvoeringskosten	6,0%		€ 75.406	€ 4.524	4,2%	6,0%	7,8%	30%	30%					
IK0110	Algemene kosten	8,0%		€ 139.930	€ 11.194	5,6%	8,0%	10,4%	30%	30%					
IK0111	Winst	3,0%		€ 151.125	€ 4.534	2,1%	3,0%	3,9%	30%	30%					
IK0112	Risico	2,0%		€ 151.125	€ 3.022	1,4%	2,0%	2,6%	30%	30%					
	Indirecte bouwkosten	110%			**€ 83.275**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Friesland Zuid	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
1							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
VZBK	**Voorziene bouwkosten**				**€**	**158.681**										
RBK013	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	158.681	€	23.802	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
RBK	**Risico's bouwkosten**	15%			**€**	**23.802**										
BK01	**Bouwkosten Friesland Zuid**				**€**	**182.483**										
VK01	**Vastgoedkosten Friesland Zuid**				**€**	**-**										
EK011	Engineeringskosten aannemer(s)	0,0%	€	158.681	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
EK012	Engineeringskosten adviesbureau(s)	15,0%	€	158.681	€	23.802	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK013	Engineeringskosten opdrachtgever (overheid/instantie/bedrijf)	15,0%	€	158.681	€	23.802	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK014	Directievoering en toezicht / systeemgerichte contractbeheersing	0,0%	€	158.681	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
	Benoemde directe engineeringskosten				**€**	**47.604**										
EK0118	Niet benoemd objectrisico engineeringskosten	15,0%	€	47.604	€	7.141	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK01	**Engineeringskosten Friesland Zuid**	35%			**€**	**54.745**										
OK011	Overige bijkomende kosten	5,0%	€	158.681	€	7.934	3,5%	5,0%	6,5%	30%	30%					
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				**€**	**7.934**										
OK0137	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten	15,0%	€	7.934	€	1.190	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
OBK01	**Overige bijkomende kosten Friesland Zuid**	6%			**€**	**9.124**										
INV01	**Totaal investeringskosten Friesland Zuid**				**€**	**246.352**										
INV01	**Totaal investeringskosten (NCW) Friesland Zuid**				**€**	**244.636**										

	LEVENSDUURKOSTEN	aantal keren	eenheid	kosten/keer		totaal levensduur	aantal x bij ingevoerde freq.					kosten / keer				
	Vervanging meet instrumentatie															
LK011	Vervanging glasvezel	10	keer	€ 1.500,00	€	15.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK012	Vervanging EM/T-sensoren	10	keer	€ 1.000,00	€	10.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	0%	0%
	Totaal Vervanging meet instrumentatie			**€ 25.000**												
	Monitoring / onderhoud															
LK0111	Locatiebezoek en onderhoud, incl. materialen (1 dag per 2jr)	25	keer	€ 1.200,00	€	30.000	18	25	33	30%	30%	€ 1.200,00	€ 1.200,00	€ 1.200,00	0%	0%
LK0112	EM-meting en uitwerking	100	keer	€ 1.500,00	€	150.000	70	100	130	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0113	Uitlezen glasvezelkabels en uitwerking	-	keer	€ 1.500,00	€	-	0	0	0	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0119	Post benoemde directe levensduurkosten	-	keer	€ -	€	-	0	0	0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	0%	0%
	Totaal Monitoring / onderhoud			**€ 210.000**												
	Benoemde directe levensduurkosten				**€**	**235.000**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Friesland Zuid	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
1							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
LK0141	Nader te detailleren levensduurkosten	10%	€	235.000	€	23.500	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe levensduurkosten				**€**	**258.500**										
	Voorziene levensduurkosten				**€**	**258.500**										
LK0158	Niet benoemd objectrisico levensduurkosten	15%	€	258.500	€	38.775	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
	Risico's levensduurkosten				**€**	**38.775**										
	Opbrengst levensduurkosten				**€**	**-**										
LEV01	**Totaal (nominale waarde) Friesland Zuid**				**€**	**297.275**										
	Toerekening objectoverschrijdende risico's				€	-										
	Toerekening scheefte				€	-										
	Totaal levensduurkosten incl. toerekening (nominale waarde) Friesland Zuid				**€**	**297.275**										
LEV01	**Totaal (netto contant) Friesland Zuid**				**€**	**92.203**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Het Westland	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut Lh	Th	Uh	Lh	Uh	spreidingen prijzen absoluut Lp	Tp	Up	Lp	Up
2															
	INVESTERINGSKOSTEN														
10	**Vaste kosten**														
100220	Mobilisatie en demobilisatie materieel en voorzieningen	1,00	keer	€ 4.000,00	€ 4.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 2.800,00	€ 4.000,00	€ 5.200,00	30%	30%
100230	Landmeetkundige werken	1,00	dag	€ 1.000,00	€ 1.000,00	1,0	1,0	1,3	0%	30%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.100,00	30%	10%
100240	Inrichten werkterrein (opschonen, rijplaten, verhardingen, keten)	1,00	EUR	€ 2.500,00	€ 2.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 2.500,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	50%	30%
100250	Verkeersmaatregelen (afzetting / signalering)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
100260	Inrichten werkplek boorbeschrijving	1,00	st	€ 500,00	€ 500,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 350,00	€ 500,00	€ 550,00	30%	10%
100270	Boorbeschrijving door deskundige	1,00	keer	€ 750,00	€ 750,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 375,00	€ 750,00	€ 1.500,00	50%	###
100280	Opruimen boorlocatie (indien niet gelijktijdig)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
	Totaal Vaste kosten			**€ 11.750,00**											
20	**Boring**														
200220	Boring ø375mm < 250m	235,00	m	€ 165,00	€ 38.775,00	223,3	235,0	246,8	5%	5%	€ 132,00	€ 165,00	€ 206,25	20%	25%
200250	Peilbuis GVK ø75mm	235,00	m	€ 20,00	€ 4.700,00	164,5	235,0	305,5	30%	30%	€ 18,00	€ 20,00	€ 26,00	10%	30%
200280	Boorgat afdichting (bentonietomstorting)	49,83	m^3	€ 70,00	€ 3.488,35	39,9	49,8	59,8	20%	20%	€ 49,00	€ 70,00	€ 91,00	30%	30%
200290	Boorgat afdichting dmv plug	1,00	m^2	€ 250,00	€ 250,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 200,00	€ 250,00	€ 300,00	20%	20%
	Totaal Boring			**€ 47.213,35**											
30	**Monitoringssysteem**														
300210	*Materialen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300220	EM/T sensoren	2,00	st	€ 1.000,00	€ 2.000,00	2,0	2,0	2,0	0%	0%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.300,00	30%	30%
300230	Kast voor meet en regelsysteem naast boorput	1,00	st	€ 2.000,00	€ 2.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 1.400,00	€ 2.000,00	€ 2.600,00	30%	30%
300240	Glasvezel	235,00	m	€ 3,00	€ 705,00	211,5	235,0	258,5	10%	10%	€ 2,10	€ 3,00	€ 3,90	30%	30%
300290	*Plaatsen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300300	Installeren monitoringssysteem	2,00	dag	€ 440,00	€ 880,00	1,4	2,0	2,6	30%	30%	€ 308,00	€ 440,00	€ 572,00	30%	30%
300310	Inregelen/calibratie monitoringssysteem	1,00	dag	€ 960,00	€ 960,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 672,00	€ 960,00	€ 1.248,00	30%	30%
	Totaal Monitoringssysteem			**€ 6.545,00**											
	Benoemde directe bouwkosten				**€ 65.508**										
NTD021	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%		€ 65.508	€ 6.551	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe bouwkosten				**€ 72.059**										
IK021	Coördinatiekosten / koepelkosten / Projectmanagement	1,00	EUR	€ 60.000,00	€ 60.000	1	1	1	30%	30%	€ 60.000,00	€ 60.000,00	€ 60.000,00	30%	30%
IK029	Uitvoeringskosten	6,0%		€ 72.059	€ 4.324	4,2%	6,0%	7,8%	30%	30%					
IK0210	Algemene kosten	8,0%		€ 136.383	€ 10.911	5,6%	8,0%	10,4%	30%	30%					
IK0211	Winst	3,0%		€ 147.293	€ 4.419	2,1%	3,0%	3,9%	30%	30%					
IK0212	Risico	2,0%		€ 147.293	€ 2.946	1,4%	2,0%	2,6%	30%	30%					
	Indirecte bouwkosten	115%			**€ 82.599**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Het Westland	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
2							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
VZBK	**Voorziene bouwkosten**				**€**	**154.658**										
RBK023	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	154.658	€	23.199	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
RBK	**Risico's bouwkosten**	15%			**€**	**23.199**										
BK02	**Bouwkosten Het Westland**				**€**	**177.857**										
VK02	**Vastgoedkosten Het Westland**				**€**	**-**										
EK021	Engineeringskosten aannemer(s)	0,0%	€	154.658	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
EK022	Engineeringskosten adviesbureau(s)	15,0%	€	154.658	€	23.199	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK023	Engineeringskosten opdrachtgever (overheid/instantie/bedrijf)	15,0%	€	154.658	€	23.199	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK024	Directievoering en toezicht / systeemgerichte contractbeheersing	0,0%	€	154.658	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
	Benoemde directe engineeringskosten				**€**	**46.397**										
EK0218	Niet benoemd objectrisico engineeringskosten	15,0%	€	46.397	€	6.960	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK02	**Engineeringskosten Het Westland**	35%			**€**	**53.357**										
OK021	Overige bijkomende kosten	5,0%	€	154.658	€	7.733	3,5%	5,0%	6,5%	30%	30%					
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				**€**	**7.733**										
OK0237	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten	15,0%	€	7.733	€	1.160	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
OBK02	**Overige bijkomende kosten Het Westland**	6%			**€**	**8.893**										
INV02	**Totaal investeringskosten Het Westland**				**€**	**240.107**										
INV02	**Totaal investeringskosten (NCW) Het Westland**				**€**	**238.467**										

	LEVENSDUURKOSTEN	aantal keren	eenheid	kosten/keer		totaal levensduur	aantal x bij ingevoerde freq.					kosten / keer				
	Vervanging meet instrumentatie															
LK021	Vervanging glasvezel	10	keer	€ 1.500,00	€	15.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK022	Vervanging EM/T-sensoren	10	keer	€ 1.000,00	€	10.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	0%	0%
	Totaal Vervanging meet instrumentatie			**€ 25.000**												
	Monitoring / onderhoud															
LK0211	Locatiebezoek en onderhoud, incl. materialen (1 dag per 2jr)	25	keer	€ 1.200,00	€	30.000	18	25	33	30%	30%	€ 1.200,00	€ 1.200,00	€ 1.200,00	0%	0%
LK0212	EM-meting en uitwerking	100	keer	€ 1.500,00	€	150.000	70	100	130	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0213	Uitlezen glasvezelkabels en uitwerking	-	keer	€ 1.500,00	€	-	0	0	0	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0219	Post benoemde directe levensduurkosten	-	keer	€ -	€	-	0	0	0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	0%	0%
	Totaal Monitoring / onderhoud			**€ 210.000**												
	Benoemde directe levensduurkosten				**€**	**235.000**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Het Westland	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
2							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
LK0241	Nader te detailleren levensduurkosten	10%	€	235.000	€	23.500	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe levensduurkosten				**€**	**258.500**										
	Voorziene levensduurkosten				**€**	**258.500**										
LK0258	Niet benoemd objectrisico levensduurkosten	15%	€	258.500	€	38.775	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
	Risico's levensduurkosten				**€**	**38.775**										
	Opbrengst levensduurkosten				**€**	**-**										
LEV02	**Totaal (nominale waarde) Het Westland**				**€**	**297.275**										
	Toerekening objectoverschrijdende risico's				€	-										
	Toerekening scheefte				€	-										
	Totaal levensduurkosten incl. toerekening (nominale waarde) Het Westland				**€**	**297.275**										
LEV02	**Totaal (netto contant) Het Westland**				**€**	**92.203**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: West	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut Lh	Th	Uh	Lh	Uh	spreidingen prijzen absoluut Lp	Tp	Up	Lp	Up
3															
	INVESTERINGSKOSTEN														
10	**Vaste kosten**														
100320	Mobilisatie en demobilisatie materieel en voorzieningen	1,00	keer	€ 4.000,00	€ 4.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 2.800,00	€ 4.000,00	€ 5.200,00	30%	30%
100330	Landmeetkundige werken	1,00	dag	€ 1.000,00	€ 1.000,00	1,0	1,0	1,3	0%	30%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.100,00	30%	10%
100340	Inrichten werkterrein (opschonen, rijplaten, verhardingen, keten)	1,00	EUR	€ 2.500,00	€ 2.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 2.500,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	50%	30%
100350	Verkeersmaatregelen (afzetting / signalering)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
100360	Inrichten werkplek boorbeschrijving	1,00	st	€ 500,00	€ 500,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 350,00	€ 500,00	€ 550,00	30%	10%
100370	Boorbeschrijving door deskundige	1,00	keer	€ 750,00	€ 750,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 375,00	€ 750,00	€ 1.500,00	50%	###
100380	Opruimen boorlocatie (indien niet gelijktijdig)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
	Totaal Vaste kosten			**€ 11.750,00**											
20	**Boring**														
200330	Boring ø375mm > 250m	300,00	m	€ 200,00	€ 60.000,00	285,0	300,0	315,0	5%	5%	€ 150,00	€ 200,00	€ 250,00	25%	25%
200350	Peilbuis GVK ø75mm	300,00	m	€ 20,00	€ 6.000,00	210,0	300,0	390,0	30%	30%	€ 18,00	€ 20,00	€ 26,00	10%	30%
200380	Boorgat afdichting (bentonietomstorting)	63,62	m^3	€ 70,00	€ 4.453,21	50,9	63,6	76,3	20%	20%	€ 49,00	€ 70,00	€ 91,00	30%	30%
200390	Boorgat afdichting dmv plug	1,00	m^2	€ 250,00	€ 250,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 200,00	€ 250,00	€ 300,00	20%	20%
	Totaal Boring			**€ 70.703,21**											
30	**Monitoringssysteem**														
300310	*Materialen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300320	EM/T sensoren	2,00	st	€ 1.000,00	€ 2.000,00	2,0	2,0	2,0	0%	0%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.300,00	30%	30%
300330	Kast voor meet en regelsysteem naast boorput	1,00	st	€ 2.000,00	€ 2.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 1.400,00	€ 2.000,00	€ 2.600,00	30%	30%
300340	Glasvezel	300,00	m	€ 3,00	€ 900,00	270,0	300,0	330,0	10%	10%	€ 2,10	€ 3,00	€ 3,90	30%	30%
300390	*Plaatsen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300400	Installeren monitoringssysteem	2,00	dag	€ 440,00	€ 880,00	1,4	2,0	2,6	30%	30%	€ 308,00	€ 440,00	€ 572,00	30%	30%
300410	Inregelen/calibratie monitoringssysteem	1,00	dag	€ 960,00	€ 960,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 672,00	€ 960,00	€ 1.248,00	30%	30%
	Totaal Monitoringssysteem			**€ 6.740,00**											
	Benoemde directe bouwkosten				**€ 89.193**										
NTD031	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%		€ 89.193	€ 8.919	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe bouwkosten				**€ 98.113**										
IK031	Coördinatiekosten / koepelkosten / Projectmanagement	1,00	EUR	€ 60.000,00	€ 60.000	1	1	1	30%	30%	€ 60.000,00	€ 60.000,00	€ 60.000,00	30%	30%
IK039	Uitvoeringskosten	6,0%		€ 98.113	€ 5.887	4,2%	6,0%	7,8%	30%	30%					
IK0310	Algemene kosten	8,0%		€ 163.999	€ 13.120	5,6%	8,0%	10,4%	30%	30%					
IK0311	Winst	3,0%		€ 177.119	€ 5.314	2,1%	3,0%	3,9%	30%	30%					
IK0312	Risico	2,0%		€ 177.119	€ 3.542	1,4%	2,0%	2,6%	30%	30%					
	Indirecte bouwkosten	90%			**€ 87.863**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: West	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
3							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
VZBK	**Voorziene bouwkosten**				**€**	**185.975**										
RBK033	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	185.975	€	27.896	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
RBK	**Risico's bouwkosten**	15%			**€**	**27.896**										
BK03	**Bouwkosten Centrale Slenk: West**				**€**	**213.871**										
VK03	**Vastgoedkosten Centrale Slenk: West**				**€**	**-**										
EK031	Engineeringskosten aannemer(s)	0,0%	€	185.975	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
EK032	Engineeringskosten adviesbureau(s)	15,0%	€	185.975	€	27.896	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK033	Engineeringskosten opdrachtgever (overheid/instantie/bedrijf)	15,0%	€	185.975	€	27.896	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK034	Directievoering en toezicht / systeemgerichte contractbeheersing	0,0%	€	185.975	€	-	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
	Benoemde directe engineeringskosten				**€**	**55.793**										
EK0318	Niet benoemd objectrisico engineeringskosten	15,0%	€	55.793	€	8.369	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK03	**Engineeringskosten Centrale Slenk: West**	35%			**€**	**64.161**										
OK031	Overige bijkomende kosten	5,0%	€	185.975	€	9.299	3,5%	5,0%	6,5%	30%	30%					
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				**€**	**9.299**										
OK0337	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten	15,0%	€	9.299	€	1.395	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
OBK03	**Overige bijkomende kosten Centrale Slenk: West**	6%			**€**	**10.694**										
INV03	**Totaal investeringskosten Centrale Slenk: West**				**€**	**288.726**										
INV03	**Totaal investeringskosten (NCW) Centrale Slenk: West**				**€**	**286.494**										
	LEVENSDUURKOSTEN	**aantal keren**	**eenheid**	**kosten/keer**		**totaal levensduur**	**aantal x bij ingevoerde freq.**					**kosten / keer**				
	Vervanging meet instrumentatie															
LK031	Vervanging glasvezel	10	keer	€ 1.500,00	€	15.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK032	Vervanging EM/T-sensoren	10	keer	€ 1.000,00	€	10.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	0%	0%
	Totaal Vervanging meet instrumentatie			**€ 25.000**												
	Monitoring / onderhoud															
LK0311	Locatiebezoek en onderhoud, incl. materialen (1 dag per 2jr)	25	keer	€ 1.200,00	€	30.000	18	25	33	30%	30%	€ 1.200,00	€ 1.200,00	€ 1.200,00	0%	0%
LK0312	EM-meting en uitwerking	100	keer	€ 1.500,00	€	150.000	70	100	130	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0313	Uitlezen glasvezelkabels en uitwerking	-	keer	€ 1.500,00	€	-	0	0	0	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0319	Post benoemde directe levensduurkosten	-	keer	€ -	€	-	0	0	0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	0%	0%
	Totaal Monitoring / onderhoud			**€ 210.000**												
	Benoemde directe levensduurkosten				**€**	**235.000**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: West	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
3							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
LK0341	Nader te detailleren levensduurkosten	10%	€	235.000	€	23.500	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe levensduurkosten				**€**	**258.500**										
	Voorziene levensduurkosten				**€**	**258.500**										
LK0358	Niet benoemd objectrisico levensduurkosten	15%	€	258.500	€	38.775	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
	Risico's levensduurkosten				**€**	**38.775**										
	Opbrengst levensduurkosten				**€**	**-**										
LEV03	**Totaal (nominale waarde) Centrale Slenk: West**				**€**	**297.275**										
	Toerekening objectoverschrijdende risico's				€	-										
	Toerekening scheefte				€	-										
	Totaal levensduurkosten incl. toerekening (nominale waarde) Centrale Slenk: West				**€**	**297.275**										
LEV03	**Totaal (netto contant) Centrale Slenk: West**				**€**	**92.203**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: Oost	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut Lh	Th	Uh	Lh	Uh	spreidingen prijzen absoluut Lp	Tp	Up	Lp	Up
4															
	INVESTERINGSKOSTEN														
10	**Vaste kosten**														
100420	Mobilisatie en demobilisatie materieel en voorzieningen	1,00	keer	€ 4.000,00	€ 4.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 2.800,00	€ 4.000,00	€ 5.200,00	30%	30%
100430	Landmeetkundige werken	1,00	dag	€ 1.000,00	€ 1.000,00	1,0	1,0	1,3	0%	30%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.100,00	30%	10%
100440	Inrichten werkterrein (opschonen, rijplaten, verhardingen, keten)	1,00	EUR	€ 2.500,00	€ 2.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 2.500,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	50%	30%
100450	Verkeersmaatregelen (afzetting / signalering)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
100460	Inrichten werkplek boorbeschrijving	1,00	st	€ 500,00	€ 500,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 350,00	€ 500,00	€ 550,00	30%	10%
100470	Boorbeschrijving door deskundige	1,00	keer	€ 750,00	€ 750,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 375,00	€ 750,00	€ 1.500,00	50%	###
100480	Opruimen boorlocatie (indien niet gelijktijdig)	1,00	EUR	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	30%	30%
	Totaal Vaste kosten			**€ 11.750,00**											
20	**Boring**														
200430	Boring ø375mm > 250m	400,00	m	€ 200,00	€ 80.000,00	380,0	400,0	420,0	5%	5%	€ 150,00	€ 200,00	€ 250,00	25%	25%
200450	Peilbuis GVK ø75mm	400,00	m	€ 20,00	€ 8.000,00	280,0	400,0	520,0	30%	30%	€ 18,00	€ 20,00	€ 26,00	10%	30%
200480	Boorgat afdichting (bentonietomstorting)	84,82	m^3	€ 70,00	€ 5.937,61	67,9	84,8	101,8	20%	20%	€ 49,00	€ 70,00	€ 91,00	30%	30%
200490	Boorgat afdichting dmv plug	1,00	m^2	€ 250,00	€ 250,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 200,00	€ 250,00	€ 300,00	20%	20%
	Totaal Boring			**€ 94.187,61**											
30	**Monitoringssysteem**														
300410	*Materialen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300420	EM/T sensoren	2,00	st	€ 1.000,00	€ 2.000,00	2,0	2,0	2,0	0%	0%	€ 700,00	€ 1.000,00	€ 1.300,00	30%	30%
300430	Kast voor meet en regelsysteem naast boorput	1,00	st	€ 2.000,00	€ 2.000,00	1,0	1,0	1,0	0%	0%	€ 1.400,00	€ 2.000,00	€ 2.600,00	30%	30%
300440	Glasvezel	400,00	m	€ 3,00	€ 1.200,00	360,0	400,0	440,0	10%	10%	€ 2,10	€ 3,00	€ 3,90	30%	30%
300490	*Plaatsen*	-		€ -	€ -	0,0	0,0	0,0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	30%	30%
300500	Installeren monitoringssysteem	2,00	dag	€ 440,00	€ 880,00	1,4	2,0	2,6	30%	30%	€ 308,00	€ 440,00	€ 572,00	30%	30%
300510	Inregelen/calibratie monitoringssysteem	1,00	dag	€ 960,00	€ 960,00	0,7	1,0	1,3	30%	30%	€ 672,00	€ 960,00	€ 1.248,00	30%	30%
	Totaal Monitoringssysteem			**€ 7.040,00**											
	Benoemde directe bouwkosten				**€ 112.978**										
NTD041	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%		€ 112.978	€ 11.298	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe bouwkosten				**€ 124.275**										
IK041	Coördinatiekosten / koepelkosten / Projectmanagement	1,00	EUR	€ 60.000,00	€ 60.000	1	1	1	30%	30%	€ 60.000,00	€ 60.000,00	€ 60.000,00	30%	30%
IK049	Uitvoeringskosten	6,0%		€ 124.275	€ 7.457	4,2%	6,0%	7,8%	30%	30%					
IK0410	Algemene kosten	8,0%		€ 191.732	€ 15.339	5,6%	8,0%	10,4%	30%	30%					
IK0411	Winst	3,0%		€ 207.070	€ 6.212	2,1%	3,0%	3,9%	30%	30%					
IK0412	Risico	2,0%		€ 207.070	€ 4.141	1,4%	2,0%	2,6%	30%	30%					
	Indirecte bouwkosten	75%			**€ 93.149**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: Oost	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut Lh	Th	Uh	Lh	Uh	spreidingen prijzen absoluut Lp	Tp	Up	Lp	Up
4															
VZBK	**Voorziene bouwkosten**				**€ 217.424**										
RBK043	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	217.424	€ 32.614	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
RBK	**Risico's bouwkosten**	15%			**€ 32.614**										
BK04	**Bouwkosten Centrale Slenk: Oost**				**€ 250.038**										
VK04	**Vastgoedkosten Centrale Slenk: Oost**				**€ -**										
EK041	Engineeringskosten aannemer(s)	0,0%	€	217.424	€ -	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
EK042	Engineeringskosten adviesbureau(s)	15,0%	€	217.424	€ 32.614	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK043	Engineeringskosten opdrachtgever (overheid/instantie/bedrijf)	15,0%	€	217.424	€ 32.614	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK044	Directievoering en toezicht / systeemgerichte contractbeheersing	0,0%	€	217.424	€ -	0,0%	0,0%	0,0%	30%	30%					
	Benoemde directe engineeringskosten				**€ 65.227**										
EK0418	Niet benoemd objectrisico engineeringskosten	15,0%	€	65.227	€ 9.784	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
EK04	**Engineeringskosten Centrale Slenk: Oost**	35%			**€ 75.011**										
OK041	Overige bijkomende kosten	5,0%	€	217.424	€ 10.871	3,5%	5,0%	6,5%	30%	30%					
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				**€ 10.871**										
OK0437	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten	15,0%	€	10.871	€ 1.631	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
OBK04	**Overige bijkomende kosten Centrale Slenk: Oost**	6%			**€ 12.502**										
INV04	**Totaal investeringskosten Centrale Slenk: Oost**				**€ 337.551**										
INV04	**Totaal investeringskosten (NCW) Centrale Slenk: Oost**				**€ 334.722**										

	LEVENSDUURKOSTEN	aantal keren	eenheid	kosten/keer	totaal levensduur	aantal x bij ingevoerde freq.					kosten / keer				
	Vervanging meet instrumentatie														
LK041	Vervanging glasvezel	10	keer	€ 1.500,00	€ 15.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK042	Vervanging EM/T-sensoren	10	keer	€ 1.000,00	€ 10.000	7	10	13	30%	30%	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	0%	0%
	Totaal Vervanging meet instrumentatie			**€ 25.000**											
	Monitoring / onderhoud														
LK0411	Locatiebezoek en onderhoud, incl. materialen (1 dag per 2jr)	25	keer	€ 1.200,00	€ 30.000	18	25	33	30%	30%	€ 1.200,00	€ 1.200,00	€ 1.200,00	0%	0%
LK0412	EM-meting en uitwerking	100	keer	€ 1.500,00	€ 150.000	70	100	130	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0413	Uitlezen glasvezelkabels en uitwerking	-	keer	€ 1.500,00	€ -	0	0	0	30%	30%	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	0%	0%
LK0419	Post benoemde directe levensduurkosten	-	keer	€ -	€ -	0	0	0	30%	30%	€ -	€ -	€ -	0%	0%
	Totaal Monitoring / onderhoud			**€ 210.000**											
	Benoemde directe levensduurkosten				**€ 235.000**										

Opdrachtgever:	Kennisagenda Aardwarmte	Prijspeil:	2019	Datum:	3-6-2019
Project:	Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen	Versie:	02	Projectcode:	109557
(Deel)raming:	Centrale Slenk: Oost	Status:	Concept	Auteur:	I. de Jong

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs		totaal	spreidingen hoeveelheden absoluut					spreidingen prijzen absoluut				
4							Lh	Th	Uh	Lh	Uh	Lp	Tp	Up	Lp	Up
LK0441	Nader te detailleren levensduurkosten	10%	€	235.000	€	23.500	7,0%	10,0%	13,0%	30%	30%					
	Directe levensduurkosten				**€**	**258.500**										
	Voorziene levensduurkosten				**€**	**258.500**										
LK0458	Niet benoemd objectrisico levensduurkosten	15%	€	258.500	€	38.775	10,5%	15,0%	19,5%	30%	30%					
	Risico's levensduurkosten				**€**	**38.775**										
	Opbrengst levensduurkosten				**€**	**-**										
LEV04	**Totaal (nominale waarde) Centrale Slenk: Oost**				**€**	**297.275**										
	Toerekening objectoverschrijdende risico's				€	-										
	Toerekening scheefte				€	-										
	Totaal levensduurkosten incl. toerekening (nominale waarde) Centrale Slenk: Oost				**€**	**297.275**										
LEV04	**Totaal (netto contant) Centrale Slenk: Oost**				**€**	**92.203**										