

Ontwikkelingsplan aardwarmte Andijk

ECW Geo Andijk



Bijlage bij winningsplan: geotechnische onderbouwing

Datum: 11 april 2019
18 juli 2019 (V2)

1. Samenvatting

Dit document bevat een ontwikkelingsplan aardwarmte Andijk ECW Geoholding/ECW Geo Andijk. Dit ontwikkelingsplan is ondersteunend aan het winningsplan en geeft de geotechnische onderbouwing van het winningsplan. Het ontwikkelingsplan heeft betrekking op de wijze waarop de aardwarmte gewonnen wordt en gaat onder andere in op de wijze en duur van de winning, de verwachte of gewonnen hoeveelheden warmte en de verwachtingen ten aanzien van bodembewegingen. In dit plan wordt het (reservoir) voorkomen, de gerealiseerde putten en de mogelijke effecten van de winning beschreven en hoe eventueel nadelige effecten worden voorkomen of beheerst.

De aardwarmtewinningsinstallatie van ECW Geo Andijk bestaat uit 2 doubletten. Er is voor gekozen om het meekomend geogas te scheiden van het formatiewater en dit gas nuttig aan te wenden in stookinstallaties.

In Andijk zijn alle putten opgebouwd uit gelaste conductorpijpen die tot zo'n 90 m in de ondergrond zijn geheid. Deze conductors hebben een uitwendige diameter van 28" ofwel 71,1 cm. In alle gevallen is daar XC 70 staal voor gebruikt met een wanddikte van 2,22 cm. Alle putten hebben 3 verbuizingen die aan maaiveld lopen. Dit zijn de conductor, de 18^{3/8} en de 13^{3/8} casing. De 18^{3/8} betreft K55 en de 13^{3/8} betreft L80 staal. In beide productieputten is tot vlak boven het reservoir een 3/8" flatback gerund voor de dosering van corrosie inhibitor als mijnbouwhulpstof.

De jaarlijkse hoeveelheid water is gebaseerd op maximaal aantal draaiuren van 8760 per jaar en een debiet van 700 m³ per uur voor 2 doubletten. De hoeveelheid onttrokken energie (GJ) is gebaseerd op bovengenoemde debiet, draaiuren en een temperatuurverschil tussen productiewater en injectiewater van 50 graden Celsius en een dichtheid van 1,11 kg per liter formatiewater.

Deze getallen kunnen nog verbeterd worden, daardoor de winning doelmatiger, naarmate de winning vordert doordat verdere uitkoeling van temperatuur kan plaatsvinden en/of de debieten verhoogd, en/of verder stimuleringsplannen op het reservoir worden toegepast, zodat bovenstaande kern cijfers met een onzekerheid naar boven van 20% moeten worden geplaatst.

De hoeveelheid jaarlijkse gedoseerde inhibitor is gebaseerd op een concentratie van 10 ppm ofwel 10 ml per m³ formatiewater. De hoeveelheid meekomend geogas is gebaseerd op de gesigneerde gas-water ratio van 0,42 Nm³ per m³ formatiewater. De energieconsumptie is de elektriciteitsconsumptie gebaseerd op een gemiddeld totaal verbruik voor 2 doubletten van 1512 KWh per draaiuur. Er is geen sprake van meekomend olie.

Bij een toekomstige doelmatigere winning die op een aantal manieren kan worden bewerkstelligd, kan de waarde van het debiet 20% meer of minder zijn en daarmee ook de van het debiet afhankelijke en afgeleide waarden. Daarnaast is de hoeveelheid onttrokken energie direct afhankelijk van het verschil in temperatuur van productiewater en injectiewater zonder dat het debiet verandert en daarmee ook de energieconsumptie. Dit kan worden bereikt door een verdere uitkoeling bij de warmteafnemers. Op elke veervoud van vijf jaar is een onderhoud voorzien met mogelijk ESP wissel, logs en andere workovers/interventies.

Ten aanzien van de risico's op seismiciteit is conform het protocol ontwikkeld door IF Technology BV en Q-con een scoringsmatrix met 9 indicatoren ingevuld. In deze scoringsmatrix zoals opgenomen in hoofdstuk 6 is een genormaliseerde score van 0,30 te zien. Dit wordt geassocieerd met een laag risico. Ook op basis van de leidraad van SodM kan worden geconcludeerd dat het seismisch risico voor Andijk zeer klein is en er verder in de vorm van een SHA of SRA geen onderzoek vereist is.

Voor Andijk is het belangrijk een massabalans (gelijke injectie en productie) te handhaven en om te monitoren met de lokale seismometer. Daarnaast is het van belang om bij nieuwe putten, voornamelijk putten geboord in gebieden met 2D seismiek, interferentietesten uit te voeren om de verbindingen tussen de putten vast te stellen. Hiermee kan worden bepaald of er mogelijk onvoorzien drukverschillen in het reservoir kunnen optreden.

In een winningsplan wordt in het kader van de mijnbouwwet aandacht geschenken aan 4 aspecten:

1. Het belang van veiligheid voor omwonenden of het voorkomen van schade aan gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan.
2. Het belang van een planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen.
3. De nadelige gevolgen voor het milieu i.r.t. ondergrondse risico's
4. De nadelige gevolgen voor de natuur i.r.t. tot de ondergrondse activiteiten

Ad 1. Dit is gerelateerd aan bodembeweging (risico op seismiciteit). Voor de activiteiten in Andijk is op basis van reservoir parameters een verwachte bodemdaling na 30 jaar van zo'n 8 mm in het gebied van maximale daling, tussen de twee productieputten gesimuleerd. Deze mogelijke bodemdaling in relatie tot aardwarmtewinning is naar verwachting niet significant in die zin die het schade aan gebouwen of infrastructurele werken of veiligheidsrisico's zou kunnen veroorzaken

Ad 2. De duur van de winning is in het ontvangen besluit vastgesteld op 35 jaar. Er is vanuit deze mijnbouwinstallatie geen sprake van interferentie met aanpalende mijnbouwactiviteiten zoals gaswinning, oliewinning, gasopslag en aardwarmtewinning omdat geen van deze activiteiten op dit moment aanwezig is binnen een mogelijke invloedssfeer.

Ad 3. ECW gebruikt in relatie tot putintegriteit corrosie remmers. Dit zijn goedgekeurde mijnbouwhulpstoffen. De gebruikte dosering is afhankelijk van de flow en afgestemd op een optimale bescherming van de put en minimale belasting van het milieu.

Ad 4. De ondergrondse activiteiten van ECW aan de Nieuwe Dijk te Andijk hebben geen nadelige effecten op beschermde natuur zoals o.a. gerelateerd aan de instandhoudingsdoelstellingen van NNN of Natura2000 gebieden. De bodembeweging is over een periode van 30 jaar dermate klein dat dit geen nadelige effecten heeft op deze instandhoudingsdoelstellingen.

Inhoud

1. Samenvatting	2
2. Inleiding.....	5
2.1. Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu	5
3. Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem	7
3.1. Locatie van het geothermisch systeem	7
3.2. Beschrijving van geothermisch systeem.....	10
4. Beschikbare en gebruikte putten en seismische data	15
4.1. Keuze van de referentieputten en putinformatie.....	15
4.2. Seismische gegevens.....	15
4.3. Coördinaatsysteem en beschrijving van de putten	16
4.4. Aquifer karakteristieken	25
4.5. Formatiewater karakteristieken	36
4.6. Reservoir modellering.....	38
5. Wijze van winning	40
5.1. Beschrijving winning	40
5.2. Duur van winning	45
5.3. Toekomstige ontwikkeling	45
5.4. Interferentie.....	45
6. Bodembeweging	46
6.1. Bodemdaling/stijging	46
6.2. Bodemtrilling.....	53
6.3. Inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen- Quick-Scan.....	54
6.4. Resultaten Quick-scan.....	55
6.5. Deterministische risico analyse voor geïnduceerde seismiciteit (SodM)	63
6.6. Conclusie Quick Scan	65
6.7. Gebiedsbescherming en nadelige gevolgen	68
Referenties	73
Verklarende woordenlijst	74
Bijlagen	75
Bijlage 1. Voorbeeld Lithografische opbouw put ADK-GT-01-S1	75
Bijlage 2. P&ID van doublet 1.....	76
Bijlage 3. Historie ADK doublet 1+2	77

2. Inleiding

Andijk is een uitstekende locatie voor een geothermieproject: op de locatie zorgt een concentratie van glastuinbouw voor voldoende warmtevraag, en de geologie is gunstig voor productie van aardwarmte. In dit rapport wordt het ontwikkelingsplan omschreven, beginnende met de omschrijving van de locatie (zowel bovengronds als ondergronds), de data die beschikbaar is om het ontwikkelingsplan uit te werken, en uiteraard een omschrijving van de geplande ontwikkeling.

Dit ontwikkelplan bevat de volgende onderdelen:

- Een omschrijving van de locatie en formatie (hoofdstuk 3), en de hoedanigheid van de putten, seismische informatie en reservoir- en formatiewater karakteristieken (hoofdstuk 4).
- Een omschrijving van de wijze van winning (volumes/debit, bijvangst, reservoirstimulatie).
- Een beschrijving van de relevante potentiële risico's voor omgeving en milieu vanuit de Mijnbouwwet (bodemtrillingen) en mogelijke gevolgen voor omgeving en eventuele mitigerende maatregelen.

In hoofdstuk 3 is een korte omschrijving van de locatie en formatie weergegeven. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de hoedanigheid van de putten, seismische informatie en karakteristieken van het reservoir en het formatiewater. De risico's op seismiciteit bij geothermische exploitatie zijn omschreven en gekwantificeerd in hoofdstuk 6. Dit is gedaan op basis van het protocol ontwikkeld door IF Technology B.V. en Q-con GmbH, de leidraad opgesteld door SodM in 2016 [1].

2.1. Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu

ECW als operator van meerdere mijnbouwinstallaties draagt zorg voor een verantwoorde winning van aardwarmte. Voor het uitvoeren van een zo goed mogelijk arbeidsomstandighedenbeleid is een werkgever actief in de mijnbouw (operator) verplicht een veiligheids- en gezondheidszorgsysteem (vg-zorgsysteem) in de organisatie te implementeren en te onderhouden. Dit systeem ligt aan de basis van de uitvoering van ieder mijnbouwkundig proces - van boor- en testfase, bouwfase, productiefase en sluitingsfase – om de veiligheid en gezondheid van werknemers en omgeving te bevorderen. Dit systeem omvat het geheel van beleid, organisatie, planning, uitvoering, monitoring, evaluatie, bedrijfsinterne doorlichting en verbetering. Voor een doeltreffend vg-zorgsysteem is het vereist dat de mijnbouwkundige processen en de daarbij behorende procedures, taken, bevoegdheden, verantwoordelijkheden en middelen op consequente wijze in kaart worden gebracht en daadwerkelijk in de praktijk worden uitgevoerd.

ECW heeft een dergelijk systeem in de organisatie geïmplementeerd en ziet het als een continue taak dit systeem verder te ontwikkelen naar gelang nieuwe inzichten en eisen.

Een verantwoorde winning van aardwarmte betreft een juist ontwerp(proces), kwaliteitszorg bij de realisatie/bouw en een veilig opereren van de boven- en ondergrondse onderdelen van een aardwarmtewinningssinstallatie als mijnbouwwerk. Hierbij wordt gebruik gemaakt van o.a. veiligheidsprotocollen, werkinstructies en monitoringsprogramma's en zijn de installaties voorzien van alarmeringen en instrumentele en mechanische beveiligingen ten behoeve van het beheersen van put- en installatie integriteit.

De integriteit van een put omvat het geheel van technische, operationele en organisatorische maatregelen om het risico op (schadelijke) lekkage buiten de put te voorkomen. Het doel van bovengenoemde maatregelen is om de integriteit van de putten op een zodanig niveau te hebben zodat gebreken in of aan een put niet direct kunnen leiden tot schade aan mens en milieu. Het is dus belangrijk om eventuele defecten en gebreken aan elementen in de putconfiguratie te voorkomen dan wel te beheersen.

Deze elementen kunnen gezien worden als ‘barrières’. Een barrière fungeert als beschermende schil tegen lekkage. De putten van ECW bestaan qua barrières uit een geheide conductor en 2 maatvoeringen verbuizingen die aan het oppervlak komen en die beiden zijn gecementeerd.

Hiermee is er in de eerste 100 meter sprake van 3 verbuizingen en 2 cementeringen als barrières en vanaf 100 tot zo’n 600 m sprake van 2 verbuizingen en 2 cementeringen.

Als onderdeel van een WIMS vinden er monitoring en inspecties plaats. Op geregelde tijden worden de putten gelogd.

Voor alle geothermische putten heeft ECW een well integrity and operations manual opgesteld. In dit document wordt beschreven hoe put integriteit bewaakt en behouden wordt gedurende de levenscyclus van de put door een combinatie van technische, operationele en organisatorische processen. Dit betreft onder andere het bepalen en beschrijven van operationele limieten en een overzicht van de put barrières met wijze van monitoring. ECW verwijst voor de operationele invulling van de putintegriteit naar deze manuals.

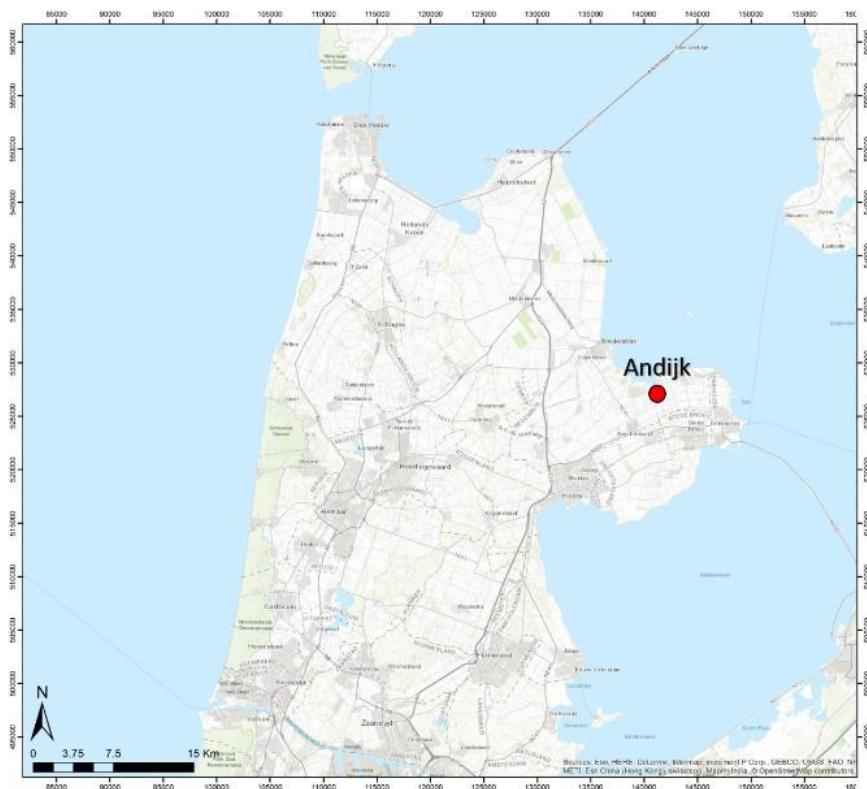
3. Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem

3.1. Locatie van het geothermisch systeem

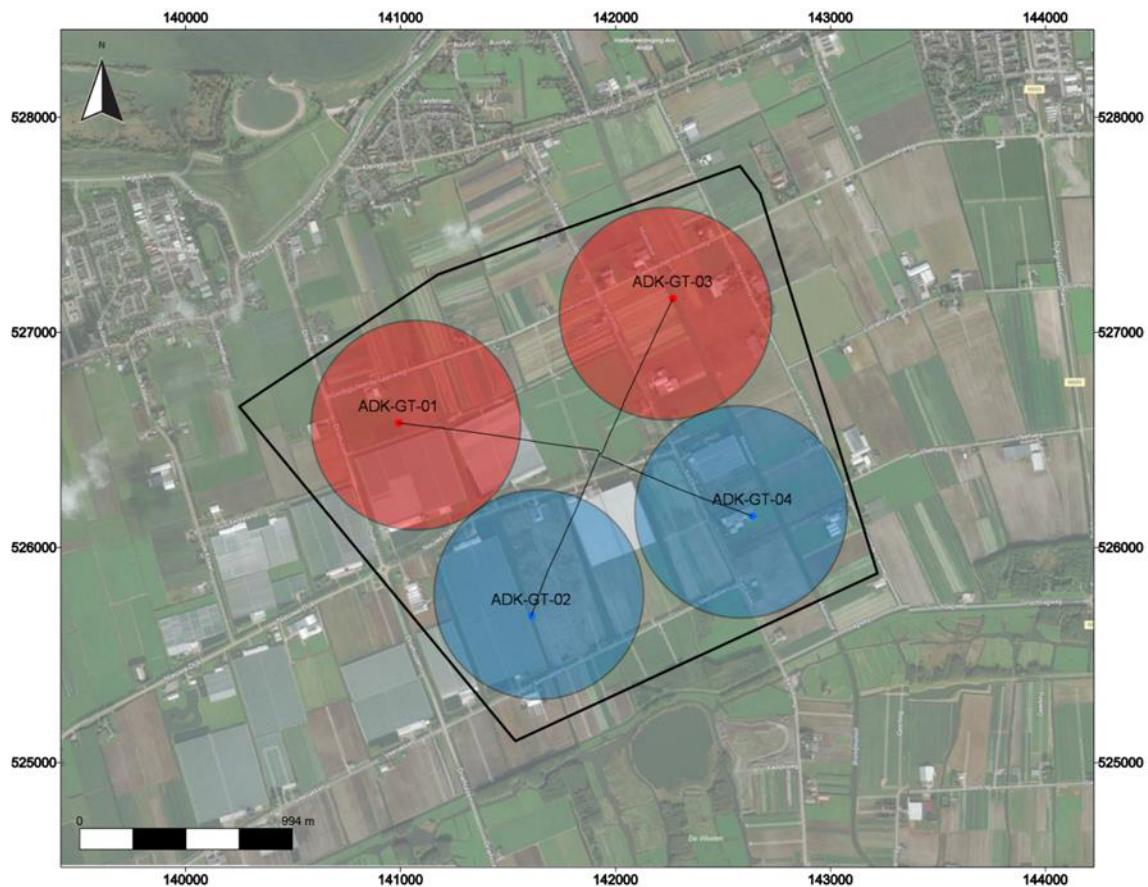
Op 20 maart 2018 is de winningsvergunning Andijk ingediend. De verwachting is dat in april 2019 er een besluit over de winningsvergunning door het bevoegde gezag genomen gaat worden. De winningsvergunning is aangevraagd voor een periode van 40 jaar.

De geothermieontwikkeling Andijk is gelegen in de provincie Noord Holland nabij de dorpskern Andijk in de gemeente Medemblik, in Polder Het Grootslag.

In de Polder Het Grootslag is een gebied van 370 ha ontwikkeld als glastuinbouwconcentratiegebied. Afgelopen jaren is in dit gebied 200 ha bouwrijp gemaakt voor glastuinbouw. Hiervan is ruim 140 ha met kassen bebouwd. Glastuinbouwgebied Het Grootslag bij Wervershoof groeide in 2018 met twintig hectare. Er is nog ruimte voor ongeveer 35 hectare nieuw glas op de locatie. Het gebied van de aangevraagde winningsvergunning (genaamd Andijk-1) is weergegeven in (*Figuur 2*). De winningslocatie ligt in het concentratiegebied voor glastuinbouw “Het Grootslag”. In *Figuur 3* en *Figuur 4* is de winningslocatie te zien op luchtfoto’s.



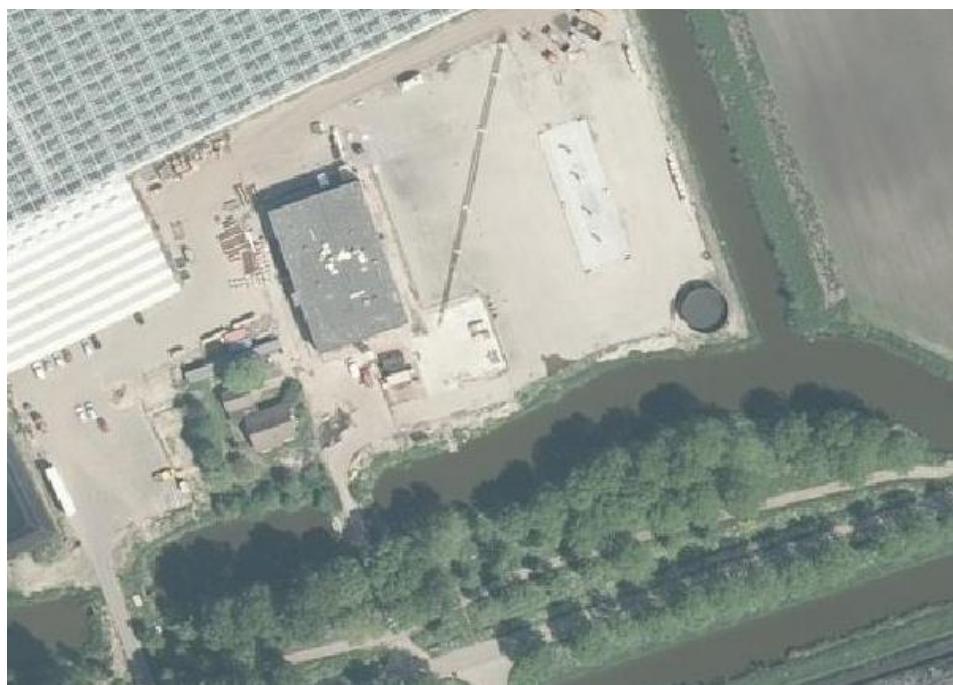
Figuur 1. Locatie van de Andijk geothermielocatie in glastuinbouwgebied Het Grootslag in de provincie Noord Holland, gemeente Medemblik.



Figuur 2. Begrenzing van het winningsgebied, met de locatie van de twee injectieputten (boortraject aangegeven in blauw), en de twee productieputten (boortraject aangegeven in rood).



Figuur 3. Luchtfoto van de locatie van de aardwarmtewinning (omkaderd) op Nieuwe Dijk 2-4 te Andijk. Onderaan is de Nieuwe Dijk te zien en aan de rechterkant loop de Kadijkweg te Andijk, gemeente Medemblik.

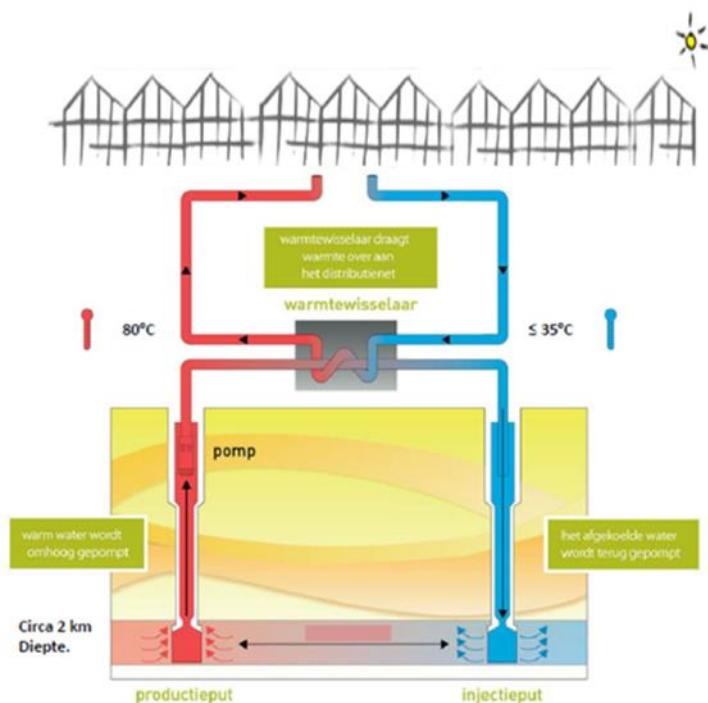


Figuur 4. Uitsnede van figuur 3, Locatie is in aanbouw, onder in het beeld loopt de Nieuwe Dijk

3.2. Beschrijving van geothermisch systeem

Diep in de bodem is warm water aanwezig dat is opgeslagen in poreuze gesteentelagen. Hoe dieper in de aarde, des te hoger de temperatuur. Met iedere kilometer diepte stijgt de temperatuur met ongeveer 30°C (de gemiddelde geothermale gradiënt, lokaal kan hier variatie in optreden), vanaf een grondtemperatuur van ca. 10°C. Op ruim twee kilometer diepte zit in de bodem onder Andijk water met een temperatuur van circa 80 °C. De energie die in dit warme water zit, wordt aardwarmte of geothermie genoemd. Het warme water kan worden opgepompt en de warmte is te gebruiken voor het verwarmen van woningen, gebouwen, industrie of kassen in de glastuinbouw.

Een aardwarmte winningsinstallatie bestaat uit een ondergrondse gedeelte en een bovengronds gedeelte. In *Figuur 5* is de aardwarmtewinning schematisch weergegeven, een foto van de mijnbouwwerken is te zien in *Figuur 6*. Vanuit de bodemlaag wordt het warme water opgepompt met een pomp geplaatst in de productieput. Als het water bovengronds komt, wordt de warmte gewonnen in warmtewisselaars. Daarna wordt het afgekoelde water teruggepompt in de bodem. Een combinatie van een productieput en een injectieput wordt een doublet genoemd. Op de aardwarmtewinning van ECW Geo Andijk betreft het twee doubletten.



Figuur 5. Principeschets van diepe aardwarmtewinning [2] (temperaturen en dieptes zijn indicatief).



Figuur 6. Foto van het mijnbouwwerk AWI Andijk (buitenterrein)

De inrichting bestaat uit een buitenterrein en een energiegebouw (ook wel geogebouw genoemd). De putkoppen (wellheads) staan op de boorplaats/buitenterrein. De putkoppen zijn met leidingwerk verbonden met de winningsinstallatie die deels op het buitenterrein en deels in het geogebouw is geplaatst. Het terrein is omsloten met een hek, zodat toegang tot de winningslocatie alleen mogelijk is voor bevoegd personeel van de winning. Nabij de locatie is een parkeerplaats voorzien voor personeel.

De aardwarmte winningslocatie (AWI) heeft een oppervlakte van ongeveer 1 hectare. Het buitenterrein is ten behoeve van het kunnen uitvoeren van de boringen bouwrijp gemaakt en daarvoor met een vloeistofdichte verharding ingericht als ‘boorplaats’. Het energiegebouw is direct aangrenzend aan de boorplaats opgericht.

De aardwarmtewinningsinstallatie dient om geothermische energie te winnen en beschikbaar te stellen aan de warmteafnemers. De installaties en de procesautomatisering worden zo ontworpen dat onder meer de volgende doelen ingevuld kunnen worden:

- stabiele operatie met een zo constant mogelijke warmteproductie en betrouwbare levering van warmte;
- fail safe ontwerp. Installaties gaan naar een veilige situatie in geval van bijzondere situaties/omstandigheden;
- minimale milieueffecten en hinder voor omwonenden.

Het ondergrondse gedeelde in Andijk bestaat uit twee injectieputten en twee productieputten, ofwel twee doubletten. Deze putten worden geboord tot de onderzijde van de beoogde gesteentelaag. Om de circulatietijd zo groot mogelijk te houden, worden de putten dusdanig geboord dat ze op reservoirdiepte ver van elkaar verwijderd zijn (typisch zo'n 1000 meter). In dit geval is de gesteentelaag de Slochteren Zandsteen, die hier een dikte heeft van 150-200 meter en een diepte van ruim 2 km onder het aardoppervlak.

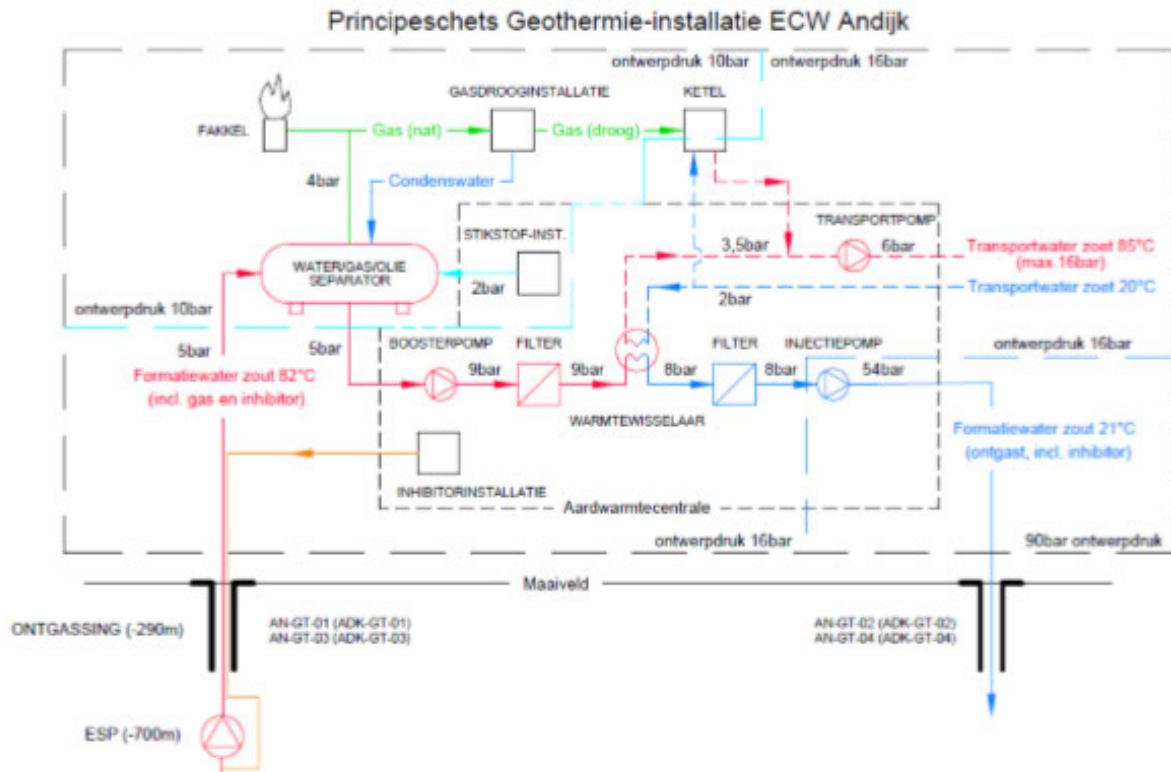
Nadat een put(sectie) is geboord, wordt deze afgewerkt met een stalen verbuizing en wordt achter deze verbuizing cement aangebracht. Op reservoir diepte is een buis gehangen met sleuven/gaten om formatiewater uit deze aardlaag te kunnen onttrekken, en na winning van de aardwarmte, te kunnen injecteren.

De verbuizing en cementering zorgen, samen met putkoppen (wellheads) geplaatst op de put op maaiveld, voor afscherming van de omstandigheden in de put naar de omgeving.

In een productieput is ondergronds een pomp geplaatst om het formatiewater op te pompen. *Figuur 7* geeft een schematisch overzicht van de geothermie installatie bij ECW.

Het warmtenet zelf maakt geen onderdeel uit van de inrichting. Op de AWI Andijk zijn wel pompen geplaatst om vanaf de AWI Andijk warmte via het warmtenet te kunnen transportereren naar de gebruikers. Deze pompen en bijbehorend filter en meetapparatuur maken wel onderdeel uit van de inrichting.

Bovengronds staan de wellheads met afsluiters om de put indien vereist veilig te kunnen afsluiten (deze afsluiters zijn niet afgebeeld in onderstaand schema). Van de wellheads wordt het warme water met leidingwerk gevoerd naar de winningsinstallaties geplaatst op de buitenplaats of in het energiebouw (aardwarmtecentrale). Installatiedelen zoals de wellheads, water/gas separatoren, gasdrooginstallatie, gasketel en fakkel staan op het buitenterrein. De pompen, filters, warmtewisselaars en voorzieningen zoals regelkasten, frequentieregelaars en transformatoren e.d. zijn inpandig geplaatst.



Figuur 7. Principeschema installatie AWI ECW Geo Andijk

Het hoofdproces omvat het volgende:

Met de pomp in een productieput (een “electric submersible pump” oftewel ESP) wordt zout formatiewater met een temperatuur van 80°C omhoog gepompt. In de productieput, voor de ESP, wordt een inhibitor gedoseerd om de gehele installatie te beschermen tegen corrosie door het zoute en hete water. In het opgepompte formatiewater in Andijk zit circa 0,4 m³ gas per m³ water opgelost. Als de druk daalt, komt dit geogas vrij. Het geogas komt vrij als de druk daalt tot onder de circa 30 bar. Het is bedrijfstechnisch niet haalbaar, en veiligheidstechnisch onwenselijk, bovengronds de systeemdruk van de hele winning boven deze druk te houden. Tevens kan door afscheiding van het geogas de risico’s voor de winningsinstallatie worden beperkt. Daarom wordt dit geogas uit het systeem gehaald in de water/gas separator. Dit is een tank waarin de druk dusdanig wordt afgesloten zodat het geogas vrijkomt uit het water. Het geogas gaat automatisch naar boven en verlaat de tank via een leiding aan de bovenzijde van de tank. Het water stroomt er aan de onderkant uit. Met een boosterpomp wordt het hete ontgaste formatiewater uit de separator doorgepompt naar een set van filters. Voordat de aardwarmte kan worden geoogst in de warmtewisselaars, wordt het hete formatiewater gefilterd om ongewenste vervuiling (en daarmee verlies van efficiency) van de wisselaars te voorkomen.

Na filtering stroomt het hete formatiewater door de warmtewisselaar waarbij er warmteoverdracht plaats vindt van zout formatiewater (aan de primaire zijde van de warmtewisselaars) naar zoet water (aan de secundaire kant van de warmtewisselaars). De twee waterkwaliteiten zijn van elkaar gescheiden door de stalen platen in de warmtewisselaars. Het afgekoelde formatiewater van 25-35°C gaat wederom door een filter, waarna dit m.b.v. een injectiepomp wordt verpompt naar de injectieputten. In de injectieputten wordt het formatiewater teruggebracht in dezelfde ondergrondse zandsteenlaag als waaruit het water met de productieput is onttrokken. Tussen de injectie- en productieput is meer dan 1 kilometer afstand voorzien, zodat koud water nabij de injectieput niet snel zal doorbreken met warm water bij de productieput. De doorbraaktijd bepaalt mede de verwachte termijn voor een haalbare productie van aardwarmte met de eerste vier gerealiseerde putten.

Hulpsystemen:

Ter ondersteuning van het hierboven beschreven aardwarmtewinning is een aantal hulpsystemen aangebracht, waaronder:

Procesbesturing en -beveiliging: Het controle- en veiligheidssysteem van de winning wordt zodanig ontworpen, dat het proces tijdens normaal bedrijf stabiel opereert zonder tussenkomst van de operator. Het controlesysteem bestaat uit een procesbesturingssysteem (Process Control System) en een veiligheidssysteem (Emergency Shut Down system).

Energievoorziening: De winning wordt grotendeels van energie voorzien door middel van elektriciteit. De elektriciteit is afkomstig van het openbare elektriciteitsnet.

Fakkelsysteem: Bij de aardwarmte winning komt geogas vrij. Dit geogas wordt normaal gesproken gedroogd en nuttig toegepast voor de warmtewinning. In de normale bedrijfsvoering wordt geen gas afgelazen. In bijzondere gevallen (bij storing) kan het echter noodzakelijk zijn om de installatie, of delen daarvan, van druk af te laten door middel van het afgelazen van gas of om het geogas via een gesloten afblaassysteem naar de fakkelinstallatie te leiden, waarin het afgelazen gas wordt verbrandt.

Hemel- en spoelwaterafvoer: Een belangrijk deel van de winning installatie staat in een gebouw. Het schone regenwater van het dak wordt op oppervlaktewater afgevoerd. Op de boorplaats nabij het winningsgebouw is een vloeistofdichte verharding aangebracht met een afvoersysteem dat het water naar de regenwateropvangtank leidt. Schoon water wordt afgevoerd op het oppervlaktewater. Als het water verontreinigd water mocht zijn (of preventief bij activiteiten op de bouwplaats) wordt het water per tankwagen afgevoerd naar een hiertoe bevoegde verwerker (in overleg met het waterschap).

Stikstof en perslucht: Voor de automatische bediening van installaties en voor de bedrijfsvoering/onderhoud zijn installaties geplaatst in het aardwarmtegebouw voor het maken van perslucht en stofstof. Op de aardwarmtewinning zijn verdeelnetwerken beschikbaar waarmee stikstof en perslucht worden getransporteerd naar de locaties waar hiervan gebruik gemaakt wordt.

Warmtenet: De gewonnen duurzame warmte wordt naar de gebruiker getransporteerd met een warmtenet. Op de aardwarmtewinningslocatie staan pompen om het warme (zoet) water vanaf de winning met het net te verpompen naar de gebruikers. Bij elke gebruiker staat een warmtewisselaar waarmee de aardwarmte wordt afgegeven aan de verwarmingsinstallatie van een bedrijf. Het koude water stroomt via het net in een gesloten systeem dan weer terug naar de winning. De leidingen voor het warmtenet zijn ondergronds gerealiseerd en de stalen buizen zijn goed geïsoleerd om het warmteverlies tijdens transport te beperken.

Het warmtenet kan worden beschouwd als het zoete gedeelte en valt formeel niet onder de mijnbouwlocatie. In hoofdstuk 4 worden het ondergrondse systeem gedetailleerder beschreven.

4. Beschikbare en gebruikte putten en seismische data

4.1. Keuze van de referentieputten en putinformatie

In deze paragraaf wordt beschreven welke boringen zijn gebruikt voor de seismische interpretatie, de aquifer karakterisering en de waterevaluatie. In het geval van Andijk zijn hiervoor de putten van het onderhavige geothermisch systeem gebruikt. Daarnaast wordt een beoordeling gegeven van de relevantie van de putten voor dit project en een oordeel over de kwaliteit van de putgegevens. De locatie van al deze gegevens wordt waar mogelijk op (een) kaart(en) weergegeven. Hierop zijn ook belangrijke topografische fenomenen (zoals steden, dorpen, hoofdwegen en rivieren) afgebeeld, evenals de begrenzing van de aardwarmtevergunning waarbinnen het project wordt uitgevoerd. Deze is reeds in figuur 2 weergegeven.

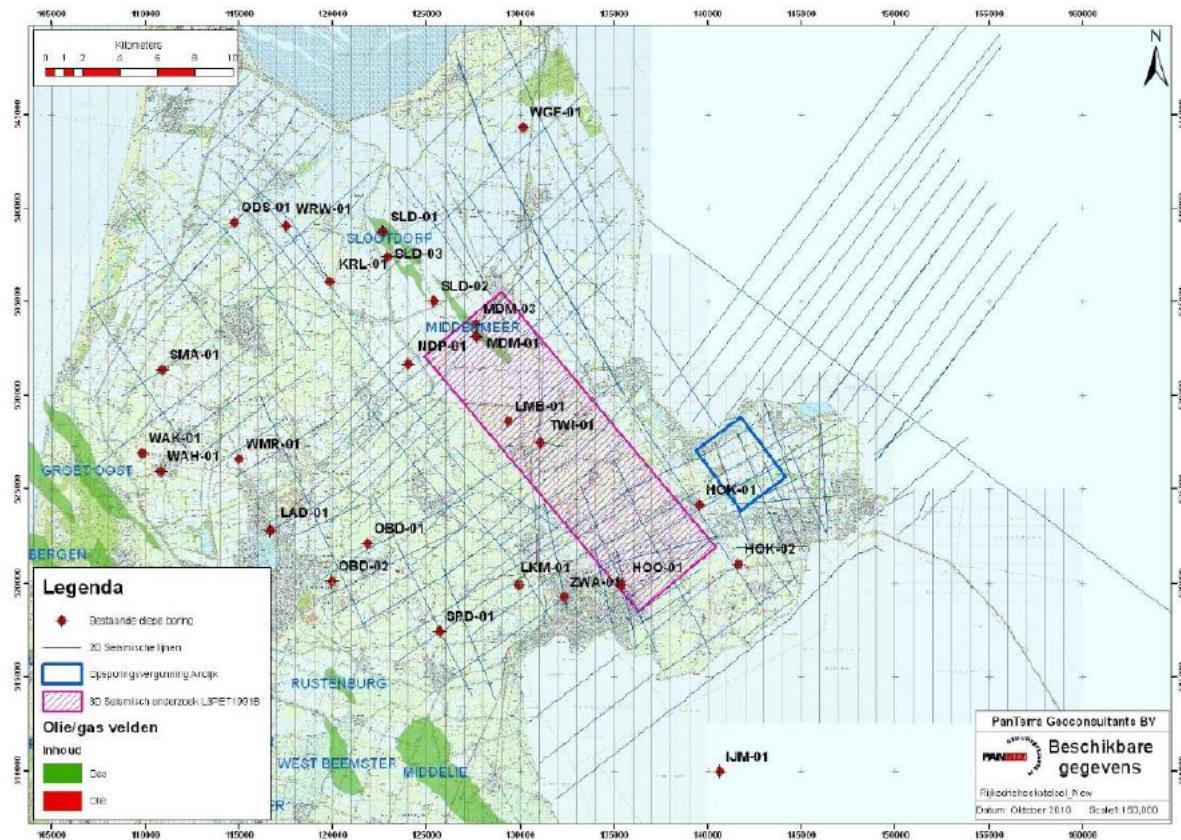
Gegevens en analyses van gegevens uit de putten van het geothermisch systeem en eventueel andere relevante referentie put(ten) zijn essentieel voor de inschatting van het geothermisch vermogen alsmede voor bepaling van de operationele condities en randvoorwaarden van het doublet en ook voor gevaar- en risicoanalyse. Deze gegevens en analyseresultaten zijn dan ook onderdeel van de geologische onderbouwing die in dit en navolgende hoofdstukken wordt gegeven.

4.2. Seismische gegevens

Voor deze studie zijn een 3D seismische survey en 123 2D seismische lijnen gebruikt. De 2D lijnen waren noodzakelijk omdat de 3D survey niet het gebied van de Andijk concessie dekte. De surveys hebben het Rijksdriehoekstelsel als coördinatensysteem. De locatie van de 3D survey en een selectie aan 2D lijnen zijn aangegeven in *Figuur 8*.

De data is (nagenoeg) nul-fase. Een positieve deflectie, geeft een toename van impedantie weer. De 2D data stamt uit 1979 en 1989, de 3D survey uit 1991. Verschillende bewerkingsmethoden zijn gebruikt voor de 2D lijnen, de oudste zijn in de jaren '80 bewerkt en gemigreerd. De seismische data is niet verder bewerkt.

De 3D data heeft een dominante frequentie van ongeveer 35 Hz en de 2D data van ongeveer 30 Hz. Deze frequenties zijn voldoende om de top en de basis van het Slochteren Formatie te karteren.



Figuur 8. De locatie van de 3D survey en een selectie aan 2D lijnen

4.3. Coördinaatsysteem en beschrijving van de putten

In Tabel 1 wordt de belangrijkste administratieve informatie gegeven voor putten ADK-GT-01-S1-ADK-GT-04.

Tabel 1. Algemene put informatie m.b.t. mijnbouwinrichting Andijk: (ADK-GT-01-S1- ADK-GT-04); dieptereferentie is vanaf grondniveau (maaveld).

Put naam	ADK-GT-01-S1	ADK-GT-02	ADK-GT-03	ADK-GT-04
Type put	productie	injectie	productie	injectie
Spud datum	18-11-2017	02-01-2018	04-02-2018	04-03-2018
End of operations	30-12-2017	02-02-2018	03-03-2018	30-03-2018
X (RD) oppervlaktelocatie	141,923.43	141,925.86	141,929.10	141,931.52
Y (RD) oppervlaktelocatie	526,448,44	526,441.34	526,431.85	526,424.71
X (RD) einddiepte	140,992.05	141,607.25	142,267.63	142,636.31
Y (RD) einddiepte	526,579.43	525,682.73	527,158.21	526,143.59
Eind diepte (m AH)	2349	2244	2275	2168
Eind diepte (m TVD)	2053	1999	2056	1958

Tabel 2 tot en met

Tabel 5 geven de verbuizingsschema's voor de Andijk putten weer, in *Figuur 9 tot en met Figuur 12* is de schematische put configuratie weergegeven. Put ADK-GT-01-S1 en ADK-GT-03 zijn de productieputten, ADK-GT-02 en ADK-GT-04 zijn de injectieputten.

Tabel 2. Verbuizingsschema ADK-GT-01-S1 (in meters).

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD (")	ID (")	roughness (mm) ¹	Staalsoort	Type koppelingen
Conductor 28"	0	91	0	91	28	26,250	0.15-4.0	X70	gelast
Production tubing	0	695	0	691	8.625	7.725	0.15-4.0	L80	HC-Pulseal ¹
Casing 1 18 5/8"	0	501	0	500	18,625	17,755	0.15-4.0	K55	BTC
Casing 2 13 5/8"	0	1322	0	1289	13,375	12,347	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 1 9 5/8"	1208	2102	1177	1865	9.625	8.535	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 2 7" (pre-perforated liner)	2051	2335	1844	2045	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck
Blind pipe	2335	2349	2045	2053	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck

¹ Range depending on lifetime well

Item Description Production well	ADK-GT-01-S1 ≥13 5/8" 5000psi WH	Depth bgl	Depth bgl	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID
		m ah	m tvd	in	in	in (nom)	in	in (drift)
28" casing, X70, welded		91	91	driven	28.000	welded	26.250	25.043
Theoretical top of tail cement		330	330					
18 5/8" casing, 87.5#, K55, BTC		501	500	24.000	18.625	20.000	17.755	17.568
8 5/8" coated production tbg. 40#, L80, HC Polseal1 ESP Intake Depth ESP WNE 1600 Bullnose dept.		695 699 722	691 695 717	12.347 12.347 12.347	8.625 10.750 12.200	9.650	7.725	7.600
Theoretical top of tail cement		1046	1032					
9 1/2" Liner Hanger/Packer + PBR		1208	1177	Top of liner				
13 3/8" casing, 72#, L80, VAM Top top of lead cement		1261 1322 1364	1222 1289 1300	17.500	13.375	14.236	12.347	12.250
top of tail cement		1897	1706					
3/8" Chemical injection line(flatpack 28x22mm) Chemical injection line Bullnose		2041	1821					
7" Liner with PBR 9 5/8" liner, 53.5#, L80, VAM Top Top Slochteren (Reservoir) HUD, with 4.55" Gauge cutter(09-2018) Base Slochteren (Reservoir) 7" pre-perforated liner, 26#, P110, VA Roughneck 8 1/2" (TD)		2051 2102 2107 2315 2347 2349 2349	1844 1865 1869 2031 2050 2053 2054	Top of liner 12.250	9.625	10.520	8.535	8.500

Figuur 9. Schematische put configuratie ADK-GT-01.

Tabel 3. Verbuizingsschema ADK-GT-02.

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD (")	ID (")	roughness (mm) ¹	Staalsoort	Type koppelingen
Conductor 28"	0	91	0	91	28	26,250	0.15-4.0	X70	gelast
Injectie tubing	0	49	0	49	8.625	7.725	0.15-4.0	L80	HC Polseal ¹
Casing 1 18 5/8"	0	513	0	512	18,625	17,755	0.15-4.0	K55	BTC
Casing 2 13 3/8"	0	1304	0	1271	13,375	12,347	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 1 9 5/8"	1198	1949	1175	1779	9.625	8.535	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 2 7" (pre-perforated liner)	1887	2219	1724	1974	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck
Blind pipe	2219	2243	1974	1998	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck

¹ Range depending on lifetime well

Rotary table to NAP

6.73 m

Item Description	ADK-GT-02 ≥13 5/8" 5000psi WH	Depth	depth	Hole ID	Pipe OD	Collar	Pipe ID	Pipe ID	
		bgl	bgl	m	in	in	in	in	
		m	m	tvd		(nom)		(drift)	
8 5/8" killstring, 40#, L80, HC Polseal1 with WEG 28" casing, X70, welded		49.12 91	49.12 91	12.347 driven	8.625 28.000	9.650 welded	7.725 26 250	7.600 25.043	
Theoretical Tail cement top		366	366						
18 5/8" casing, 87.5#, K55, BTC		513	512	24.000	18.625	20.000	17.755	17.568	
Theoretical Tail cement top		1145	1125						
9 5/8" Liner Hanger/Packer + PBR		1198	1175	Top of liner					
13 3/8" casing, 72#, L80, VAM Top		1304	1271	17.500	13.375	14.236	12.347	12.250	
Theoretical Tail cement top		1618	1525						
7" Liner with PBR 9 5/8" liner, 53.5#, L80, VAM Top Top Slochteren (Reservoir)		1887 1949 1955	1729 1779 1783	12.250	9.625	10.520	8.535	8.500	
HUD, with 4.55" gaugecutter(07-2018) Base Slochteren (Reservoir)		2227 2228	1986 1987						
7" pre-perforated liner, 29#, L80, VAM Top 8 1/2" (TD)		2244	1999	8.500	7.000	7.644	6.184	6.059	

Figuur 10. Schematische put configuratie ADK-GT-02.

Tabel 4. Verbuizingsschema ADK-GT-03.

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD ("")	ID ("")	roughness (mm) ¹	Staalsoort	Type koppelingen
Conductor 28"	0	90	0	90	28	26,250	0.15-4.0	X70	gelast
Productie tubing	0	798	0	793	8.625	7.725	0.15-4.0	L80	HC Polseal1
Casing 1 18 5/8"	0	524	0	523	18,625	17,755	0.15-4.0	K55	BTC
Casing 2 13 5/8"	0	1312	0	1279	13,375	12,347	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 1 9 5/8"	1208	1993	1185	1833	9.625	8.535	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 2 7" (pre-perforated liner)	1942	2248	1792	2034	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck
Blind pipe	2248	2274	2034	2056	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck

¹Range depending on lifetime well

Rotary table to NAP		6.73 m								
Item Description Production well	ADK-GT-03 ≥13 5/8" 5000psi WH	Depth BGL	Depth BGL	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID		
		m ah	m tvd	in	in	in (nom)	in	in (drift)		
28" casing, X70, welded		90	90	driven	28.000	welded	26.250	25.043		
Theoretical tail cement top		352	352							
18 5/8" casing, 87.5#, K55, BTC		524	523	24.000	18.625	20.000	17.755	17.568		
8 5/8" coated production tbg. 40#, L80, HC Polseal1 ESP Intake Depth ESP WNE 1600 Bullnose dept.		798 803 826	793 797 820	12.347 12.347 12.347	8.625 10.750 12.200	9.650	7.725	7.600		
Theoretical tail cement top		1033	1020							
9 5/8" Liner Hanger/Packer + PBR		1208	1185	Top of liner						
13 3/8" casing, 72#, L80, VAM Top		1312	1279	17.500	13.375	14.236	12.347	12.250		
Theoretical tail cement top		1676	1581							
3/8" Chemical injection line(flatpack 28x22mm) Chemical injection line Bullnose		1938	1790	9.625	4.000					
7" Liner Hanger/Packer + PBR 9 5/8" liner, 53.5#, L80, VAM Top Top Slochteren (Reservoir)		1942 1993 2047	1792 1833 1876	Top of liner						
Base Slochteren (Reservoir) HUD, with 4.55" gauge cutter (07-2018)		2255 2257 2274 2275	2040 2042 2055 2056							
7" pre-perforated liner, 29#, L80, VAM Top 8 1/2" (TD)				8.500	7.000	7.644	6.184	6.059		

Figuur 11. Schematische put configuratie ADK-GT-03.

Tabel 5. Verbuizingsschema ADK-GT-04.

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD ("")	ID ("")	roughness (mm) ¹	Staalsoort	Type koppelingen
Conductor 28"	0	92	0	92	28	26,250	0.15-4.0	X70	gelast
Injectie tubing	0	50	0	50	8.625	7.725	0.15-4.0	L80	HC Polseal1
Casing 1 18 $\frac{5}{8}$ "	0	524	0	523	18,625	17,755	0.15-4.0	K55	BTC
Casing 2 13 $\frac{3}{8}$ "	0	1310	0	1268	13,375	12,347	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 1 9 $\frac{5}{8}$ "	1203	1979	1175	1802	9.625	8.535	0.15-4.0	L80	VAM TOP
Liner 2 7" (pre-perforated liner)	1920	2134	1755	1928	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck
Blind pipe	2134	2159	1928	1949	7.000	6.184	0.15-4.0	P110	VA Roughneck

¹Range depending on lifetime well

Rotary table to NAP

6.73 m

Item Description Injection well	ADK-GT-04 ≥13 5/8" 5000psi WH	Depth bgl	Depth bgl	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID
		m ah	m tvd	in	in	in (nom)	in	in (drift)
8 1/4" killstring, 40#, L80, HC Polseal1 with WEG 28" casing, X70, welded		49.61 92	49.61 92	12.347	8.625	9.650	7.725	7.600
Theoretical tail cement top		367	367					
18 5/8" casing, 87.5#, K55, BTC		524	523	24.000	18.625	20.000	17.755	17.568
Theoretical tail cement top		1135	1114					
9 1/4" Liner Hanger/Packer + PBR		1203	1175	Top of liner				
13 3/8" casing, 72#, L80, VAM Top		1310	1268	17.500	13.375	14.236	12.347	12.250
Theoretical tail cement top		1681	1566					
7" Liner with PBR 9 5/8" liner, 53.5#, L80, VAM Top Top Slochteren (Reservoir)		1920 1974 1979	1755 1798 1802	Top of liner 12.250				
Base Slochteren (Reservoir) HUD, with 4.55" gaugecutter(06-2018) 7" pre-perforated liner, 29#, L80, VAM Top 8 1/2" (TD)		2138 2146	1932 1940	9.625	10.520	8.535	8.500	
		2159	1949	8.500	7.000	7.644	6.184	6.059

Figuur 12. Schematische put configuratie ADK-GT-04.

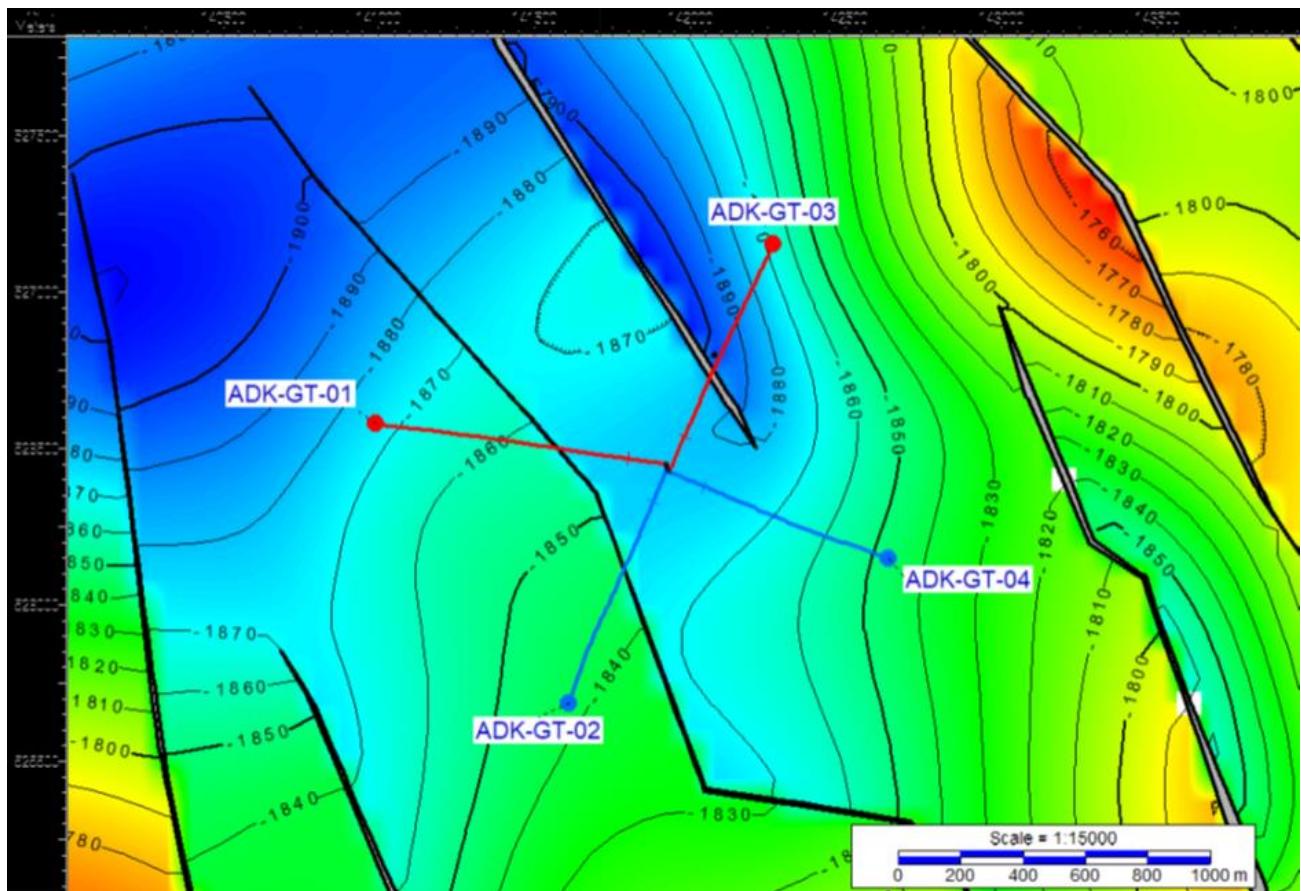
4.4. Aquifer karakteristieken

In dit hoofdstuk zijn de volgende elementen met betrekking tot aquifer karakteristieken opgenomen en waar mogelijk geïllustreerd met figuren en tabellen:

- Diepteligging aquifer of aquifers geïllustreerd met:
 1. Een correlatie diagram waarbij alle putten van het geothermisch systeem zijn opgenomen;
 2. Seismische sectie door de geothermisch systeem putten loodrecht op de as van het systeem;
 3. Seismische sectie door de geothermisch systeem putten parallel aan de as van het geothermisch systeem.
- Bruto dikte per aquifer geïllustreerd met een kaart en correlatie diagram.
- Identificatie en beschrijving van breuken
- Per put van de installatie de resultaten van Petro fysische evaluatie van opgenomen logs van de aquifer(s) (gemiddelde aquifer porositeit, netto-bruto en permeabiliteit)
- Resultaten van interferentie tests tussen de putten van de installatie.
- Verhandeling over de connectiviteit tussen de putten
- Aquifer temperatuur en de daaruit afgeleide geothermische gradiënt.

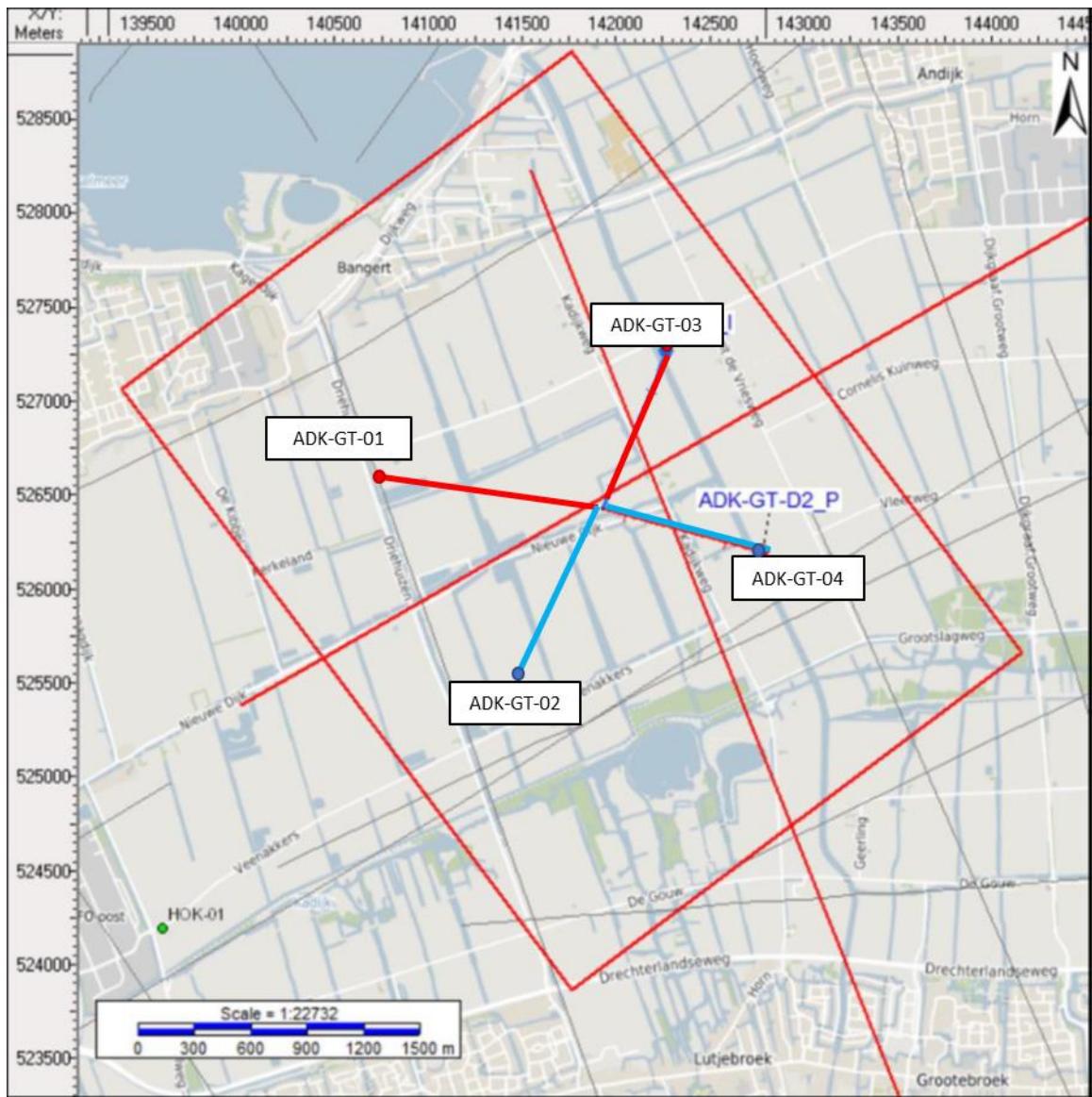
Structuur en breuken

Het doelreservoir voor de Andijk ontwikkeling is de Slochteren Zandsteen. In *Figuur 13* is de diepte van het top Reservoir weergegeven, alsmede de twee injectie- en productieputten. De Slochteren Zandsteen bevindt zich in het winningsgebied op een diepte van 1850-1900 meter (top reservoir). *Figuur 13* laat ook zien dat er verschillende breuken aanwezig zijn in de omgeving, met een dominante NNW-SSE oriëntatie, parallel aan de Texel-IJsselmeer hoog structuur.

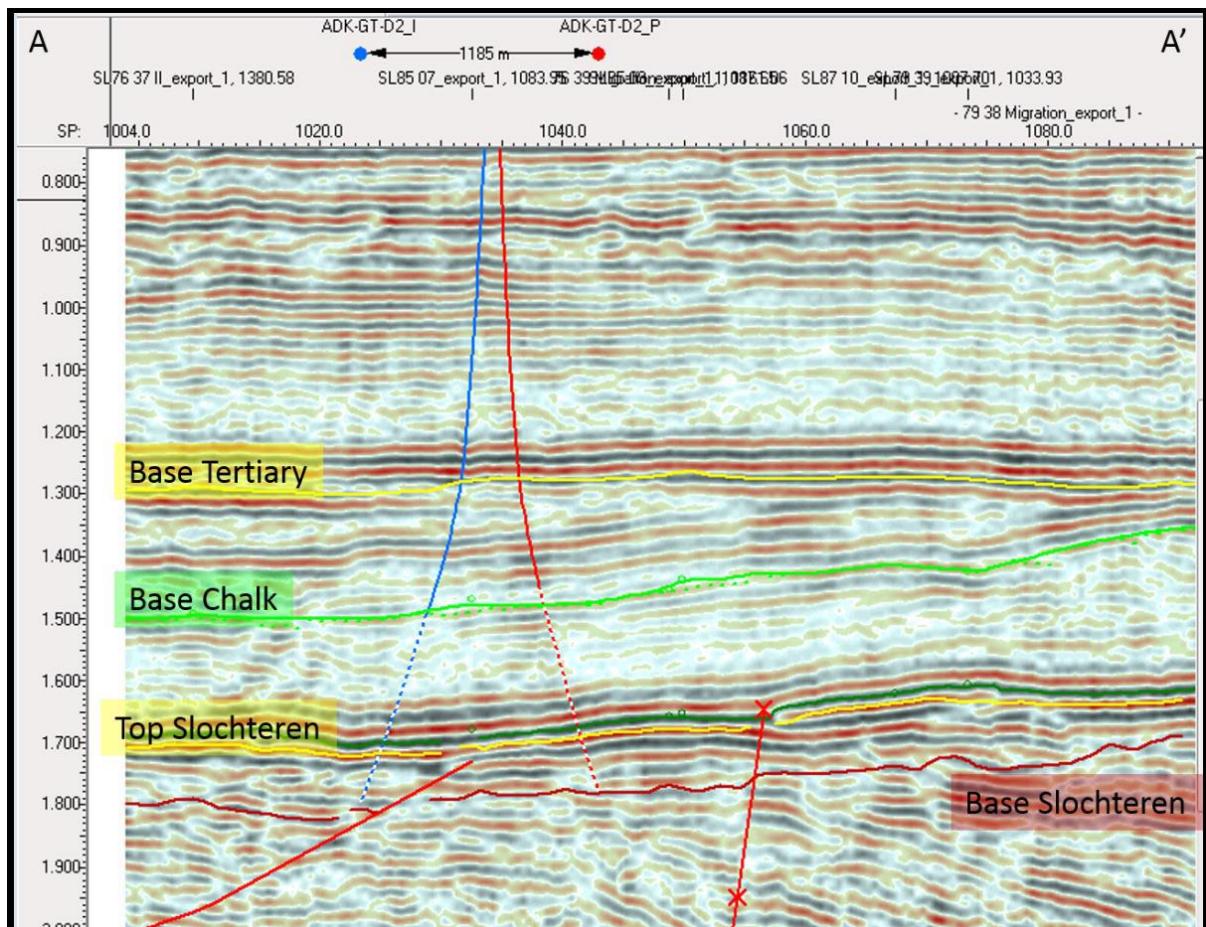


Figuur 13. Diepte kaart van de top aquifer met breuken en ondergrondse locaties van het productie en injectie interval.

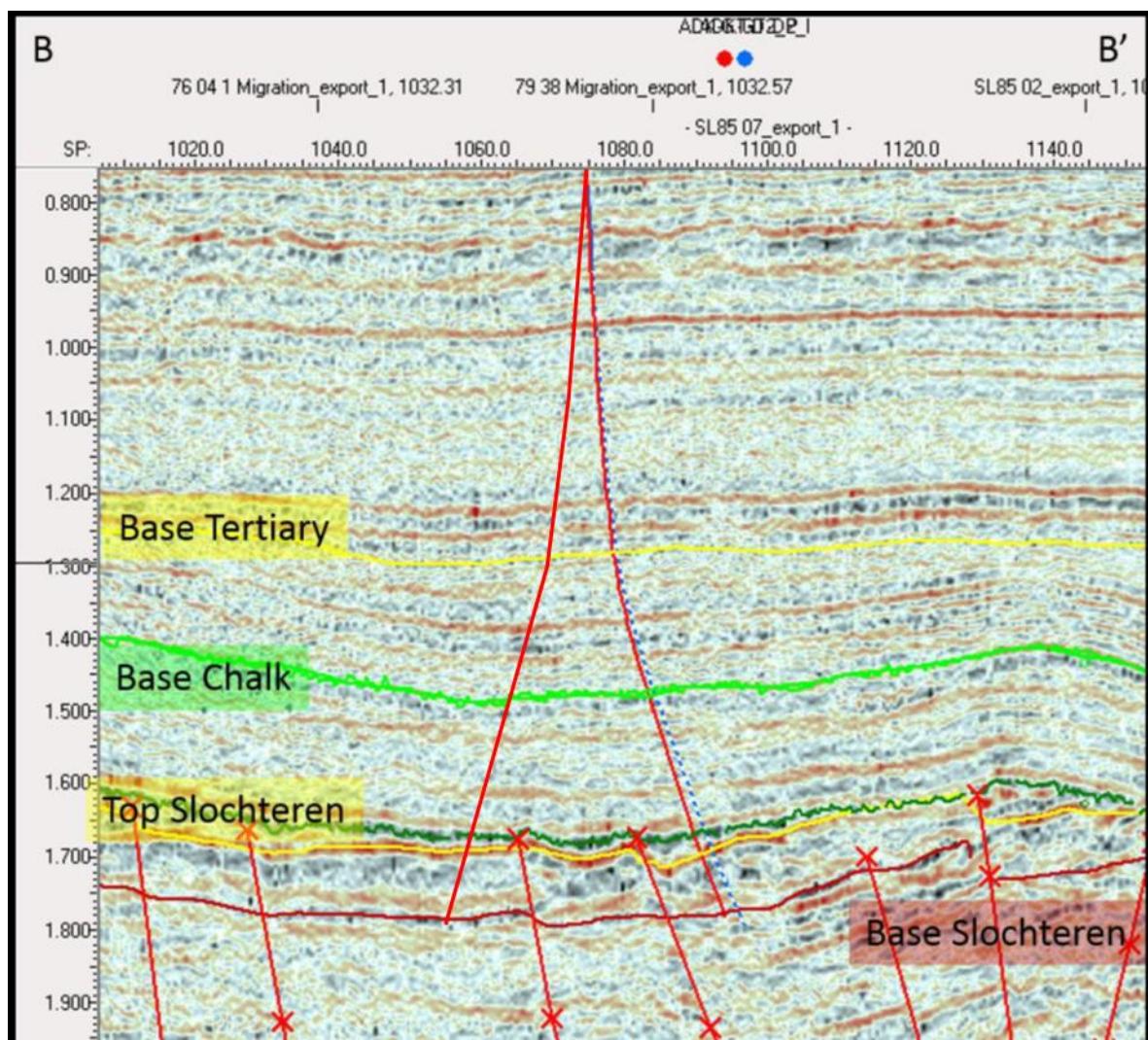
Aangezien in het gebied enkel 2D seismiek aanwezig was, is het echter moeilijk om in te schatten hoe compleet deze set is. Op basis van de geïnterpreteerde breuken zijn de putten op minimaal 350 meter afstand geboord. In *Figuur 14* is te zien dat het winningsgebied twee 2D seismische lijnen bevat, A-A' (sub)parallel aan de dominante breukrichting (zie ook *Figuur 15*), en B-B' ongeveer loodrecht op de dominante breukrichting (*Figuur 16*). De breuken binnen het winningsgebied Andijk hebben een verzet van maximaal 60 meter.



Figuur 14. Locatiekaart voor seismische lijnen parallel en loodrecht op de doubletten.



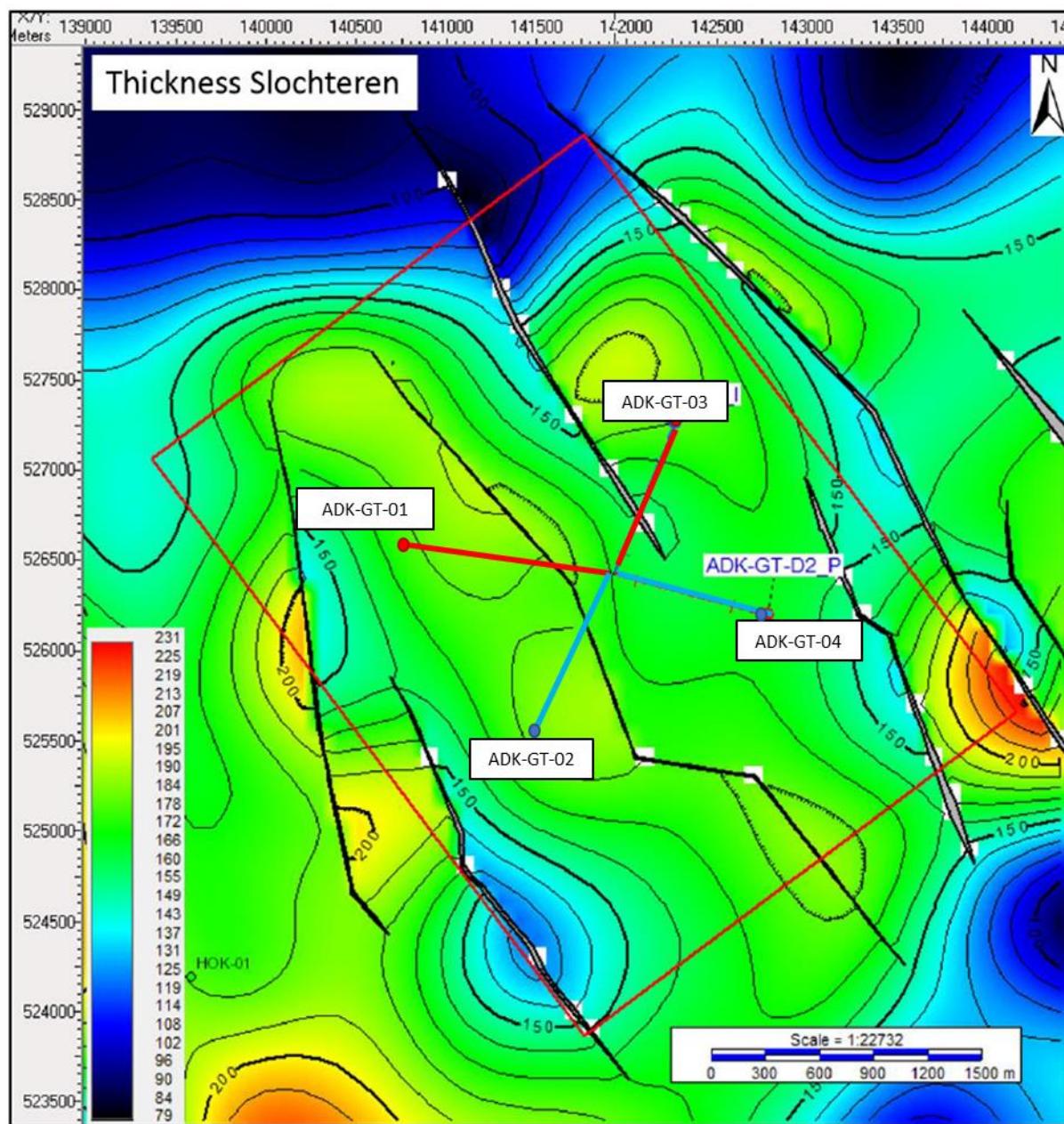
Figuur 15. Seismische sectie A-A' parallel aan de belangrijkste breuktrend.



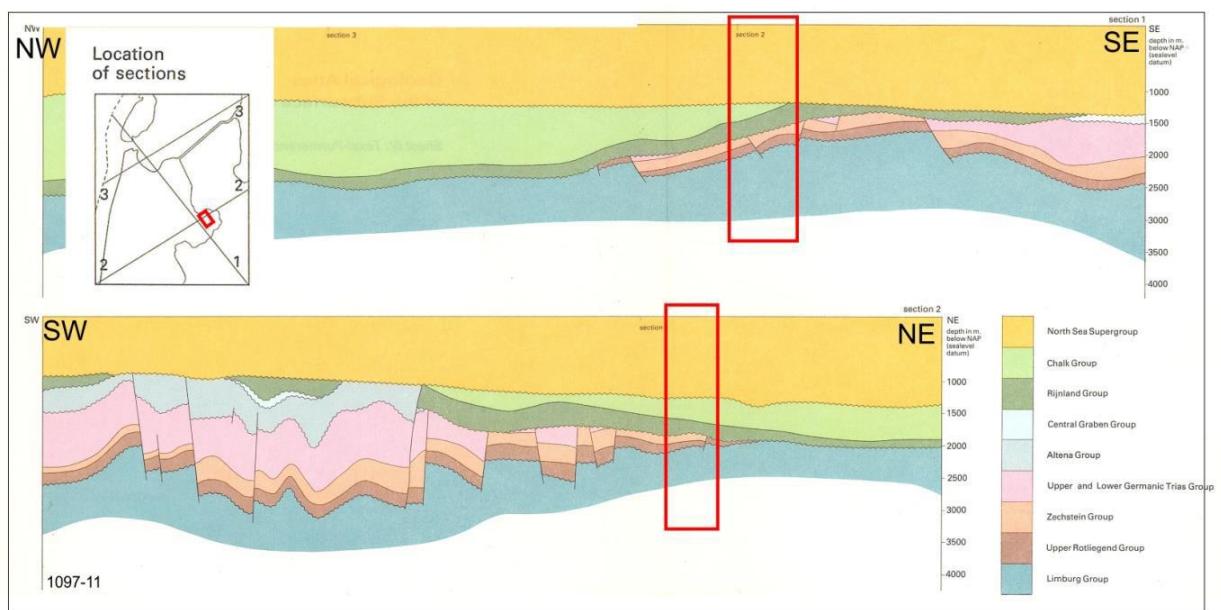
Figuur 16. Seismische sectie B-B' loodrecht belangrijkste breuktrends.

Dikte van de Slochteren zandsteen in het winningsgebied.

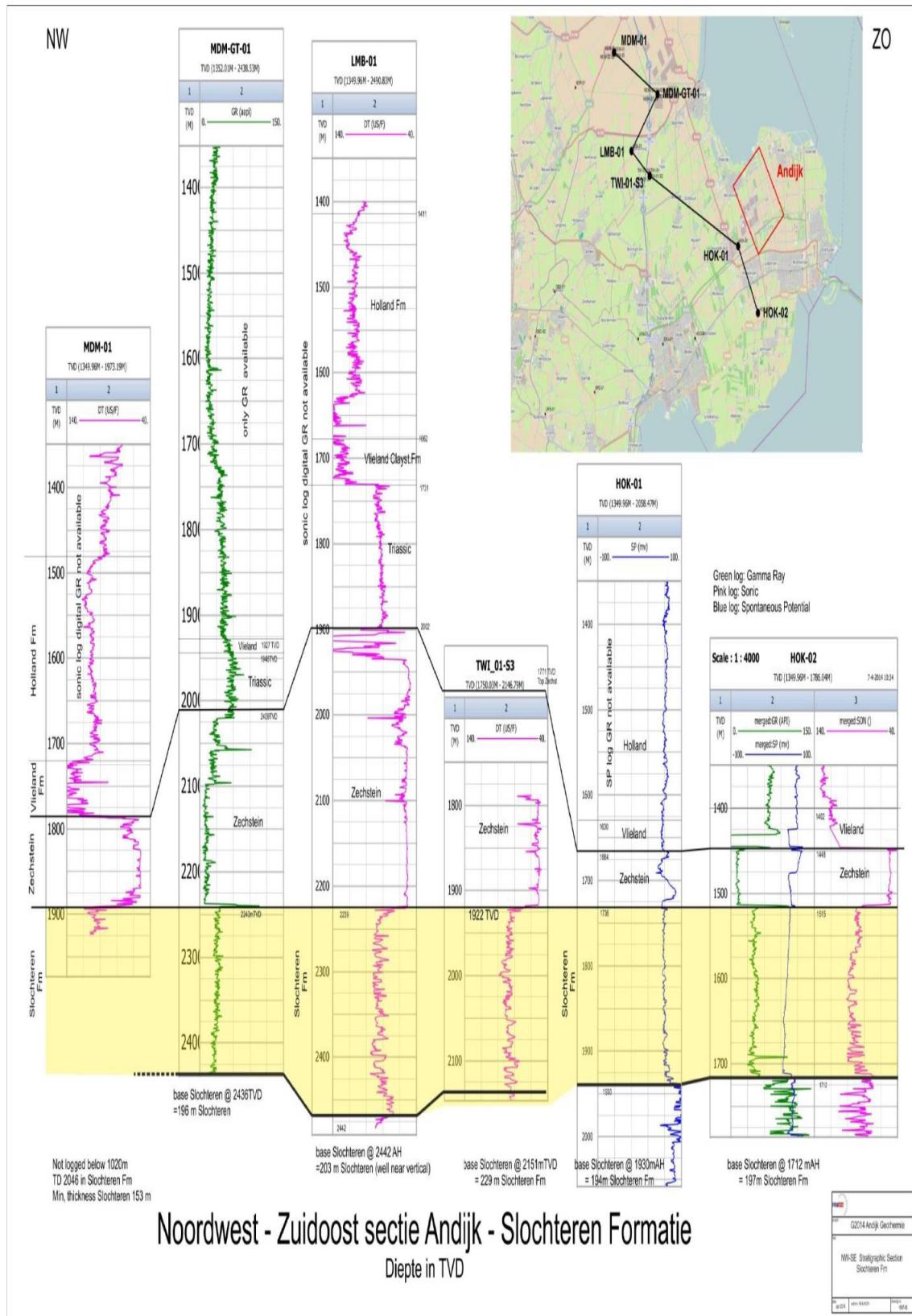
De Slochteren zandsteen heeft een dikte van zo'n 150-200 meter in het winningsgebied (*Figuur 17*). Wel is het bekend dat de dikte richting het in het Noorden gelegen Texel-IJsselmeer Hoog snel afneemt zoals aangegeven in *Figuur 18*. Het correlatiepaneel in *Figuur 19* laat zien dat in de directe omgeving van het winningsgebied geen grote diktevariaties verwacht worden.



Figuur 17. Dikte kaart voor Slochteren Zandsteen in het winningsgebied.



Figuur 18. Geologische secties die de regionale trends tonen in het winningsgebied [3].



Figuur 19. Correlatie-diagram van nabijgelegen putten die de Slochteren Zandsteen aangeboord hebben.

Reservoir eigenschappen van de Slochteren Zandsteen in het winningsgebied Andijk.

De Slochteren Zandsteen is een uitstekend reservoir in dit gebied, met een dikte tussen de 130 en 200 meter, een Netto-bruto ratio van 98%, een porositeit tussen de 21.5 en 22%, en een permeabiliteit tussen de 200 en 1000 mD (zie ook *Tabel 6*).

De putten hebben allemaal een zeer kleine (zelfs negatieve) skin, en de reservoir druk is in lijn met verwachting (hydrostatisch), en de temperatuur van het productiewater varieert tussen de 81 en 84 graden Celsius. Op deze waarden zit uiteraard nog een onzekerheidsmarge, aangegeven in *Tabel 7*.

Tabel 6. De resultaten van de puttesten in een aantal parameters per onderscheiden put.

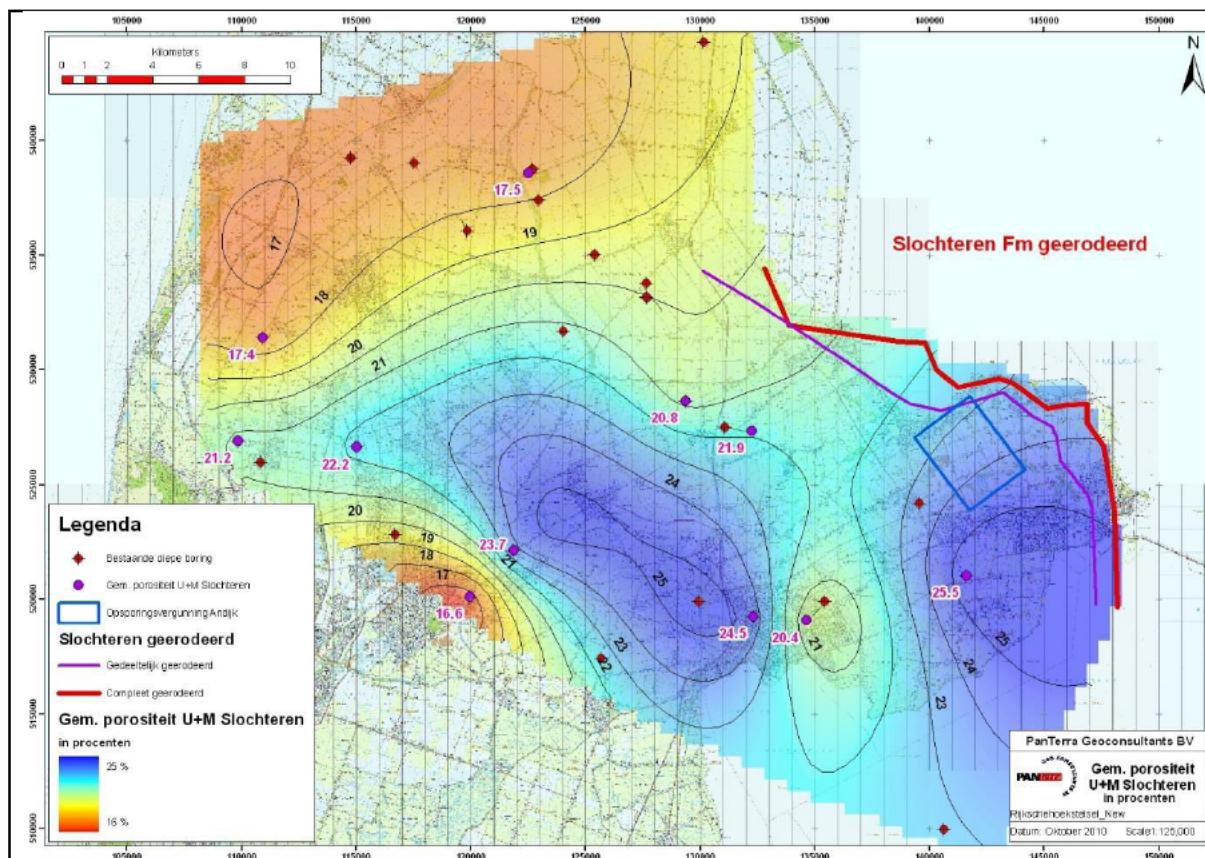
Parameter	ADK-GT-01	ADK-GT 02	ADK-GT-03	ADK-GT-04
Aquifer stratigrafie	ROSL	ROSL	ROSL	ROSL
Diepte top aquifer (m MD)	2107	1955	2047	1979
Diepte top aquifer (m TVD)	1869	1783	1876	1802
Diepte basis aquifer (m MD)	2347	2228	2255	2139
Diepte basis aquifer (m TVD)	2050	1987	2040	1932
Bruto Dikte (m)	181	204	164	130
Netto-Bruto (%)	98	98	98	98
Porositeit (%)	21.5	22	21.5	22
Permeabiliteit (mD) uit petrofysica	200-1000	200-1000	200-1000	200-1000
Permeabiliteitsdikte (Dm) uit puttest	22,4	21,4	20,3	16,1
Permeabiliteit (mD) uit puttest	118	270-335	130-229	130-350
Permeabiliteit uit interferentie test (mD)		300-400	300-400	300-400
Skin welltest (-)	-2,5	-1/-2	-2	-3
Temperatuur mid-reservoir (°C)	84	81	82	81
Reservoir druk top aquifer (bar)	205,2	194	205,2	195
Reservoir druk mid aquifer(bar)	212	205	212	203
Mid reservoir depth (m) TVD	1964	1893	1966	1876

Dieptes zijn ten opzichte van groundlevel (gl) (Maaiveld).

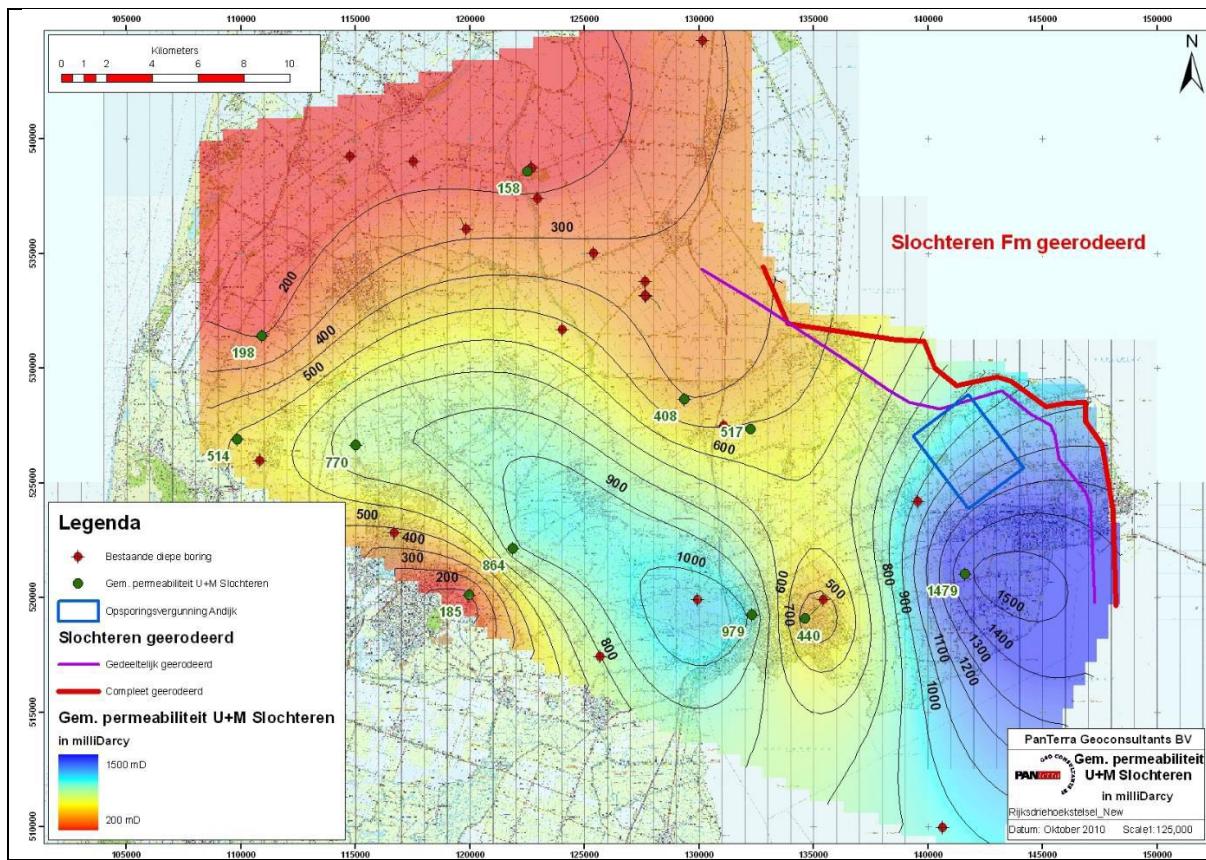
Tabel 7. Geobserveerde variatie aantal gemiddelde aquiferparameters.

Parameter	Laag	Midden	Hoog
Diepte top aquifer (m TVD)	1783	1830	1876
Diepte basis aquifer (m TVD)	1932	1991	2050
Bruto Dikte (m)	130	167	204
Netto-Bruto (%)	98	98	98
Porositeit (%)	21	21.5	22
Permeabiliteit (mD) uit petrofysica	200	600	1000
Permeabiliteitsdikte (Dm) uit puttest	16,1	20,3	22,4
Permeabiliteit (mD) uit puttest	118	235	350
Geothermisch gradiënt	3,4	3,5	3,6
Gemiddelde oppervlakte temp. (°C)	0	15	30

Regionale kartering van porositeit en permeabiliteit (respectievelijk Figuur 20 en Figuur 21), de permeabiliteit wordt homogeen geacht op 98%.



Figuur 20. Porositeitskaart.



Figuur 21. Permeabiliteitskaart

4.5. Formatiewater karakteristieken

In Tabel 8 en Tabel 9 wordt een beschrijving van de samenstelling van het formatie water gegeven op basis van watermonsters die genomen zijn bij de puttest of tijdens de extended systeemtest of tijdens de productie.

Tabel 8. Samenstelling formatiewater op basis van welltest per onderscheiden put.

Parameter	ADK-GT-01	ADK-GT-02	ADK-GT-03	ADK-GT-04
TDS (NaCl eq in ppm)	189.000	189.000	189.000	189.000
Dichtheid (g/l)	1,12	1,11	1,11	1,11
Bubblepoint pressure (bar)	27-33	27-33	27-33	27-33
GWR (m ³ /m ³)	0.4	0.4	0.4	0.4
OWR (m ³ /m ³)	0	0	0	0

1 at 20°C

Tabel 9. Analyse (Kationen, Anionen, Alkaliteit, Fosfaten en andere analyses) van formatiewater ADK-GT-02.

Analytical Report

Dit monster is geanalyseerd zoals het is ontvangen, de resultaten zijn als volgt:

Monsternamepunt: Geothermal Well 2

Water

Kationen - Metalen	Analysemethode	Gefiltreerd	Totaal
Aluminium (Al)	AMW0013	<0.5 mg/L	<0.5 mg/L
Antimoon (Sb)	AMW0013	<0.5 mg/L	<0.5 mg/L
Barium (Ba)	AMW0013	3.5 mg/L	4.1 mg/L
Boor (B)	AMW0013	38 mg/L	38 mg/L
Cadmium (Cd)	AMW0013	<0.1 mg/L	<0.1 mg/L
Calcium (Ca)	AMW0013	10000 mg/L	10000 mg/L
Calcium (CaCO ₃)	AMW0013	26000 mg/L	26000 mg/L
Chroom (Cr)	AMW0013	<0.1 mg/L	<0.1 mg/L
Koper (Cu)	AMW0013	<0.1 mg/L	<0.1 mg/L
IJzer (Fe)	AMW0013	41 mg/L	60 mg/L
Lood (Pb)	AMW0013	1.0 mg/L	1.2 mg/L
Lithium (Li)	AMW0013	3 mg/L	3 mg/L
Magnesium (Mg)	AMW0013	1200 mg/L	1200 mg/L
Magnesium (CaCO ₃)	AMW0013	5100 mg/L	5100 mg/L
Mangan (Mn)	AMW0013	2.8 mg/L	2.8 mg/L
Molybdeen (Mo)	AMW0013	<0.5 mg/L	<0.5 mg/L
Nikkel (Ni)	AMW0013	<0.1 mg/L	<0.1 mg/L
Kalium (K)	AMW0013	890 mg/L	890 mg/L
Silicium (Si)	AMW0013	12 mg/L	14 mg/L
Silica (SiO ₂)	AMW0013	25 mg/L	30 mg/L
Natrium (Na)	AMW0013	48000 mg/L	48000 mg/L
Natrium (CaCO ₃)	AMW0013	110000 mg/L	110000 mg/L
Strontium (Sr)	AMW0013	520 mg/L	520 mg/L
Vanadium (V)	AMW0013	1.2 mg/L	1.3 mg/L
Zink (Zn)	AMW0013	8.4 mg/L	8.4 mg/L
Arsen (As)	*NEN-EN-ISO 17294-2		28 µg/L
Kwik (Hg)	*NEN-EN-ISO 12846		<0.02 µg/L

Anionen	Analysemethode: AMW0002	Gefiltreerd
Fluoride (F)		<50 mg/L
Chloride (Cl)		110000 mg/L
Nitriet (NO2)		<50 mg/L
Bromide (Br)		250 mg/L
Nitraat (NO3)		<50 mg/L
Ortho Fosfaat (PO4)		<50 mg/L
Sulfaat (SO4)		500 mg/L

Alkaliteit	Analysemethode: AMW0111	Totaal
Totale Alkaliteit (CaCO3)		150 mg/L
Phenolphthalein Alkaliteit (CaCO3)		<100 mg/L
Bicarbonaat (CaCO3)		150 mg/L

Fosfaten	Analysemethode: AMW0121	Totaal
Totaal Fosfaat (PO4)		<1 mg/L

Andere Analyses	Analysemethode	Gefiltreerd	Totaal
Geleidbaarheid bij 25°C	AMW0111		270000 µS/cm
Ammoniak (NH3-N)	AMW0120	58 mg/L	
pH @ 25°C	AMW0111		6.4 pH Units
Total Suspended Solids @ 105°C	AMW0007		110 mg/L
Total Dissolved Solids @ 180°C	AMW0024		180000 mg/L

Note that the pH and Conductivity were measured on a diluted sample. Conductivity has been calculated back to the original sample and reported. Measuring in this way could affect the result and should be borne in mind for result interpretation.

Tabel 10. Karakterisatie van meekomend geogas.

Component	Mole%	Weight%
H ₂ Hydrogen	0.000	0.000
H ₂ S Hydrogen Sulphide	0.000	0.000
CO ₂ Carbon Dioxide	8.849	18.971
N ₂ Nitrogen	14.794	20.189
C1 Methane	75.511	59.014
C2 Ethane	0.597	0.874
C3 Propane	0.028	0.060
C4 i-Butane	0.019	0.054
C4 n-Butane	0.023	0.065
C5 i-Pentane	0.018	0.063
C5 n-Pentane	0.037	0.129
C6 Hexanes	0.029	0.118
MC Pentane	0.004	0.015
Benzene	0.005	0.018
Cyclohexane	0.007	0.029
C7 Heptanes	0.018	0.084
MC Hexane	0.000	0.000
Toluene	0.031	0.140
C8 Octanes	0.020	0.107
E-Benzene	0.000	0.001
M/P Xylene	0.001	0.003
O-Xylene	0.000	0.001
C9 Nonanes	0.003	0.016
1,2,4 TMB	0.000	0.003
C10 Decanes	0.002	0.013
C11+ Undecanes +	0.005	0.034
Total	100.000	100.000

Calculated Gas Properties	
Gas Density (kg m ⁻³ @ 15°C)	0.918
Gas Mole Weight (g mol ⁻¹)	20.528
Real Relative (to air) Density of Gas	0.710
Mole weight of Heptanes Plus (g mol ⁻¹)	99.175
Density of Heptanes plus (g cm ⁻³ at 60°F)	0.789
Mole Weight of Undecanes plus (g mol ⁻¹)	147.000
Density of Undecanes plus (g cm ⁻³ at 60°F)	0.789
Calorific Value (MJ m ⁻³)	30.902

Air Content: 0.76%

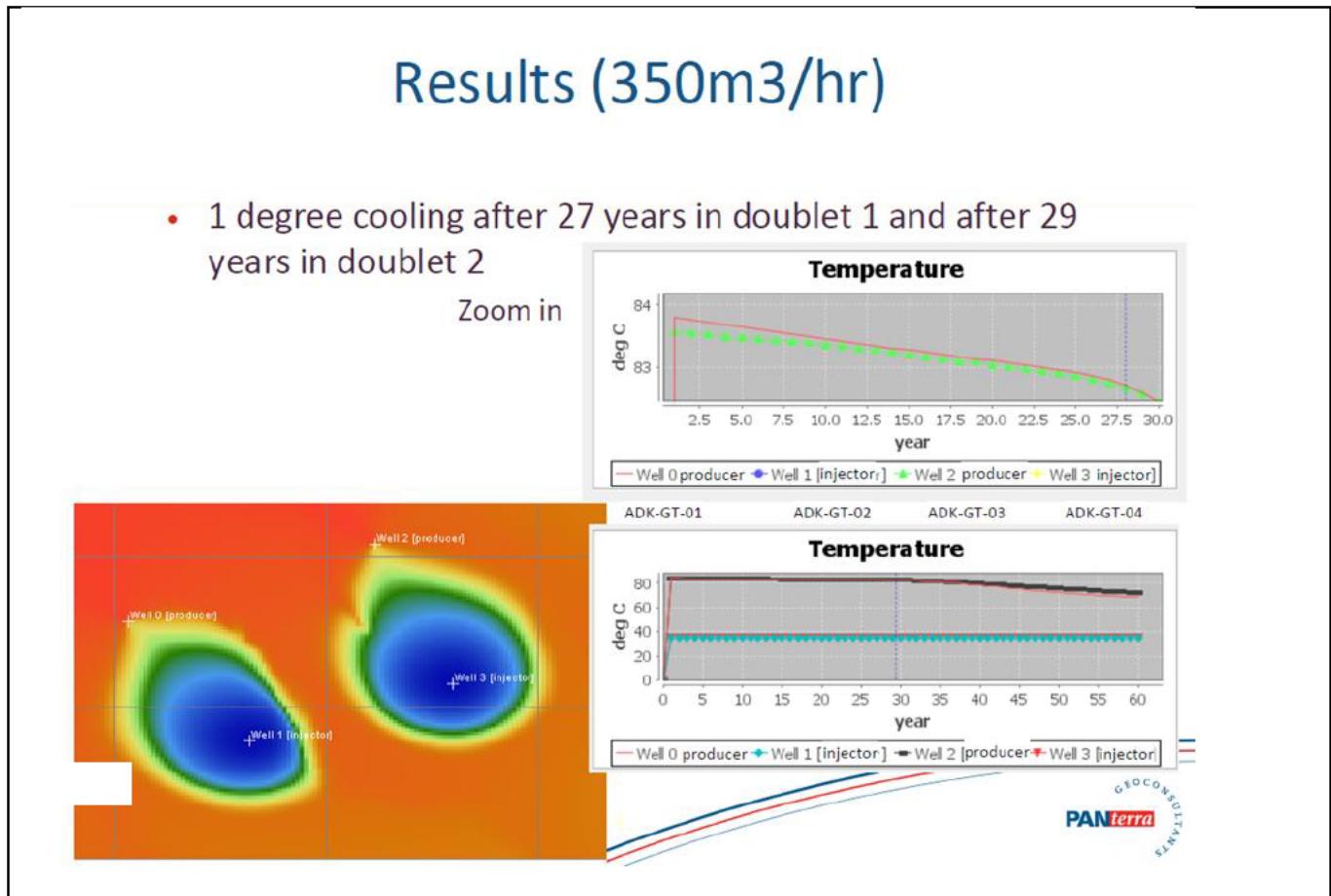
Gas Water Ratio: 0.4392 sm³/m³

4.6. Reservoir modellering

Op basis van de aquifer karakteristieken beschreven in voorgaande paragrafen is een reservoir model gemaakt. Met dit reservoir model wordt een simulatie uitgevoerd en de resultaten worden hier gepresenteerd. Voor de reservoirsimulatie wordt DoubletCalc2D gebruikt [4].

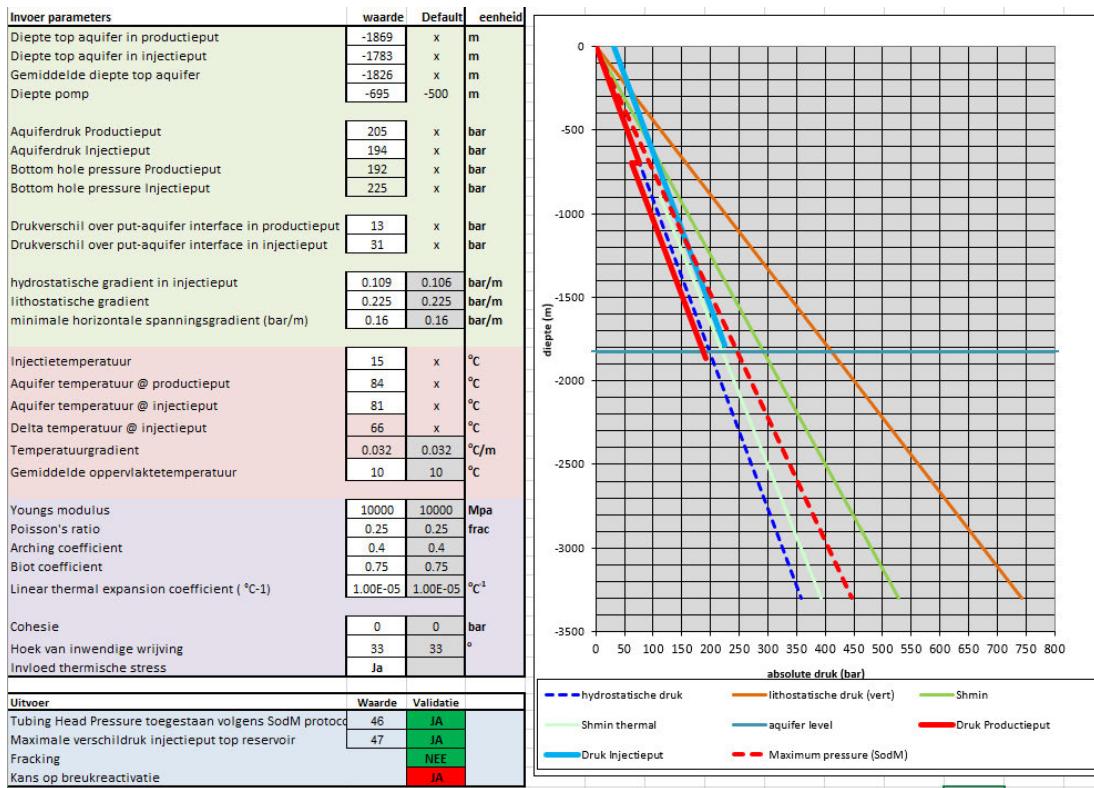
In *Figuur 22* is bij een debiet van 350 m^3 per uur in doublet 1 na 27 jaar en in doublet 2 na 29 jaar 1 graad Celsius afname in de temperatuur te zien.

In *Figuur 23* en *Figuur 24* zijn de resultaten van de geomechanische berekeningen op basis van het TNO/SodM protocol te zien.

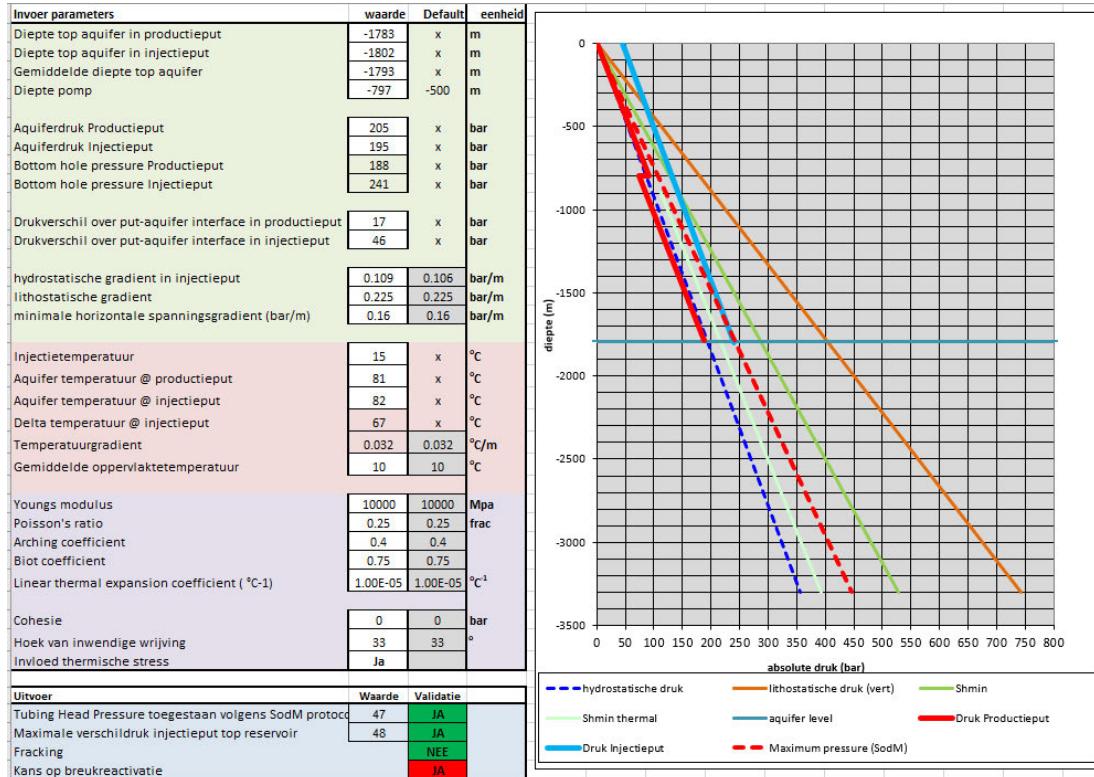


Figuur 22. Kaart met verwachte temperatuur verdeling aan het eind van de winning.

Met inachtneming van de invloed van thermische stress neemt het risico op breukactivatie aanzienlijk toe in de put zelf toe. Aangezien de dichtstbijzijnde breuken zich meer dan 100 meter bevinden wordt het risico op breukreactivatie aanzienlijk verkleind.



Figuur 23. Resultaten van geomechanische berekeningen voor Andijk doublet 1.



Figuur 24. Resultaten van geomechanische berekeningen voor Andijk doublet 2.

5. Wijze van winning

5.1. Beschrijving winning

De Andijk ontwikkeling omvat twee geothermie doubletten. De productie prognose voor doublet 1 en 2 is weergegeven in

Tabel 10, de operationele begrenzing is weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** voor injector ADK-GT-02, en in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** voor injector ADK-GT-04. De prognose van toekomstige debieten, drukken, onttrokken warmte en gebruikte energie is te vinden in

Tabel 13 (voor ADK-GT-01), Tabel 14 (voor ADK-GT-02), Tabel 15 (voor ADK-GT-03) en Tabel 16 (voor ADK-GT-04).

Tabel 10. Productie prognose: Jaarproductieprofiel. GJ, Temp, debiet per maand.

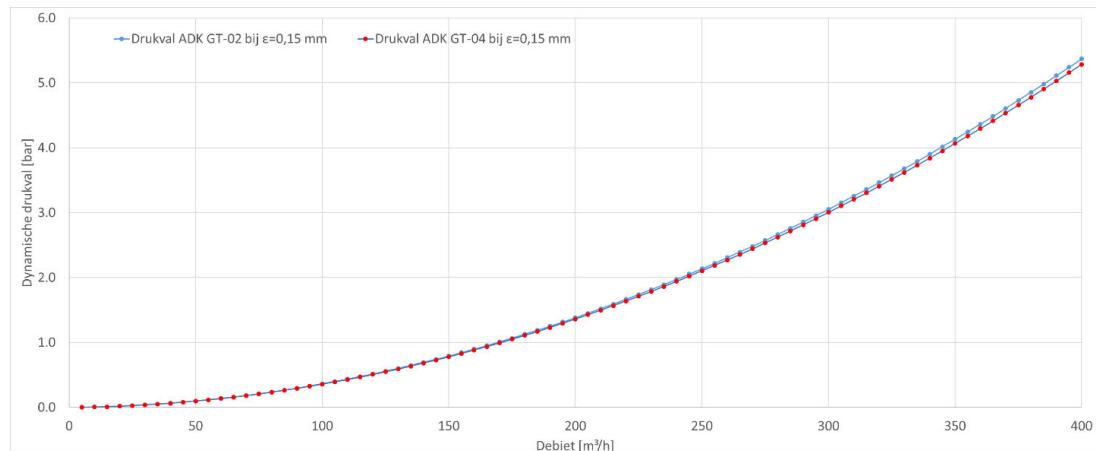
	DB 1(m3/h) (ADK-GT-01 & ADK-GT-02)	DB 1 (h) (ADK-GT-01 & ADK-GT-02)	DB 1 (GJ) (ADK-GT-01 & ADK-GT-02)	DB 2 (m3/h) (ADK-GT-03 & ADK-GT-04)	DB 2 (h) (ADK-GT-03 & ADK-GT-04)	DB 2 (GJ) (ADK-GT-03 & ADK-GT-04)
januari	350	744	60410	350	744	60410
februari	350	672	54564	350	672	54564
maart	350	744	60410	350	744	60410
april	350	720	58461	350	720	58461
mei	350	744	60410	350	744	60410
juni	350	720	58461	350	720	58461
juli	350	744	60410	350	744	60410
augustus	350	744	60410	350	744	60410
september	350	720	58461	350	720	58461
oktober	350	744	60410	350	744	60410
november	350	720	58461	350	720	58461
december	350	744	60410	350	744	60410
Som	4200	8760	711278	4200	8760	711278
Gem	350			350		

* prognose van te verwachten debieten en draai uren in enig jaar, zonder geplande of ongeplande stops voor onderhoud.

** maand debieten en tijden kan 20% meer of minder zijn in een bepaald jaar, naar gelang voortgang van productie en onderhoud

De maximale injectiedruk gebaseerd op het huidige SodM protocol houden geen rekening met dynamische drukval over de verbuizing, waardoor de genoemde kopdrukken conservatief zijn. In het genoemde SodM-TNO-AGE protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning wordt als opmerking 1 aangegeven dat het verlies aan druk door dynamische weerstand bij lage debieten relatief klein is en daarom niet (standaard) als correctie opgenomen is in de formule van THP max. Bij grotere debieten is dit verlies aan druk echter wel substantieel.

Om deze reden is per put berekend wat de dynamische drukval is. In deze berekening zijn de binnendiameters van de verschillende verbuizingen meegenomen, de dynamische viscositeit van de vloeistof, de stromingssnelheid en de ruwheidsfactor berekend vanaf de putkop tot de bovenkant van de pre perforated liners. In deze berekening is uitgegaan van een relatief lage ruwheidsfactor (0.15 mm, hetgeen overeenkomt met nieuw verbuizing). In Figuur 25 is te zien dat de twee injectieputten een vergelijkbaar gedrag hebben, waarbij bij een debiet van 350 m³/h leidt tot een dynamische drukval van 4.4 Bar voor ADK-GT-02 en 4.3 Bar voor ADK-GT-04.



Figuur 25: Dynamische drukval berekend over injectieputten ADK-GT-02 en ADK-GT-04 als functie van injectiedebiet.

Voor de berekening van de dynamische drukval is gekozen om de drukval tussen de putkop en de top van de pre perforated liner aan te houden. De drukval over het geperforeerde gedeelte wordt niet meegenomen, hetgeen in lijn is met het TNO/SodM protocol. Daarnaast is gekozen voor een ruwheidsfactor van 0.15 mm, hetgeen overeenkomt met een nieuw geplaatste verbuizing. Beide keuzes zorgen ervoor dat de uitkomst lager is dan in de praktijk verwacht kan worden (de drukval over de pre perforated liner draagt uiteraard ook bij aan de totale drukval, en de ruwheid zal toenemen naarmate de verbuizing ouder wordt).

Om de warmte optimaal te kunnen benutten zonder gevaren voor de ondergrond handhaven wij de uit het TNO/SodM voortkomende maximale injectiedruk met daarbij de dynamische drukval opgeteld (zie *Tabel 11* en *Tabel 12*), waardoor de maximum kopdruk in de injectieputten uitkomt op 51.0 Bar voor ADK-GT-02 en 51.3 Bar voor ADK-GT-04.

Tabel 11. Operationele begrenzingen van het systeem.

Operationele begrenzing ADK-GT-02	waarde	dimensie
Max debiet WABO	n.v.t.	m ³ /h
Max injectiedruk SodM protocol	46.6	Bar
Max injectiedruk met dyn. drukval	51.0	Bar
Max injectiedruk o.b.v. verbuizingsterkte (75 % sterkte at 1175 m TV)	278 – density fluid when well is full(128) = 150 bar	Bar (thp)

Tabel 12. Operationele begrenzingen van het systeem.

Operationele begrenzing ADK-GT-04	waarde	dimensie
Max debiet WABO	n.v.t.	m ³ /h
Max injectiedruk SodM protocol	47.0	Bar
Max injectiedruk met dyn. drukval	51.3	Bar
Max injectiedruk o.b.v. verbuizingsterkte (75% sterkte at 1175 m TV)	278 – density fluid when well is full(128) = 150 bar	Bar (thp)

Tabel 13. Prognose toekomstige debieten, drukken, ontrokken warmte en gebruikte energie.

ADK-GT-01	Prognose waarde
Debiet geproduceerd water (m ³ /h)	350
Gemiddelde temperatuur van het productiewater, gewogen per volume, gemeten voor de warmtewisselaar (°C)	80
Gemiddelde druk direct onder de pomp in productieput (bar)	55
Laagste druk direct onder de pomp in productieput (bar).	30
Druk aan de putmond van de productieput (bar)	5
Verhouding hoeveelheid olie uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Sm ³ /m ³)	n.v.t.
Verhouding hoeveelheid gas uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Nm ³ / m ³)	0.42
Verhouding hoeveelheid condensaat uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Sm ³)	n.v.t
Hoeveelheid in de productieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	0,01 l/m ³ (10 ppm)

Tabel 14. Prognose toekomstige debieten, drukken, ontrokken warmte en gebruikte energie.

ADK-GT-03	Prognose waarde
Debiet geproduceerd water (m ³ /h)	350
Gemiddelde temperatuur van het productiewater, gewogen per volume, gemeten voor de warmtewisselaar (°C)	80
Gemiddelde druk direct onder de pomp in productieput (bar)	65
Laagste druk direct onder de pomp in productieput (bar).	30
Druk aan de putmond van de productieput (bar)	5
Verhouding hoeveelheid olie uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Sm ³ /m ³)	n.v.t.
Verhouding hoeveelheid gas uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Nm ³ / m ³)	0.42
Verhouding hoeveelheid condensaat uit productieput indien ontrokken uit de aquifer (Sm ³)	n.v.t
Hoeveelheid in de productieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	0,01 l/m ³ ontrokken formatiewater (10 ppm)

Tabel 15. Prognose toekomstige debieten, drukken, ontrokken warmte en gebruikte energie.

ADK-GT-02	Prognose waarde
Debiet geïnjecteerd water (m ³ /h)	350
Gemiddelde temperatuur van het injectiewater, gewogen per volume, gemeten tussen warmtewisselaar en de putmond (°C)	30
Gemiddelde druk aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	20
Gemiddelde operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	205.5
Maximale druk van aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	46.6+5=51.6
Maximale operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	247
Hoeveelheid in de injectieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	0
Aantal vollasturen per jaar (d)	8760
Prognose ontrokken warmte per jaar (GJ)	711281
Hoeveelheid benodigde elektrische energie (MWh)	6622,6
Geïnstalleerd vermogen installatie (MW _{th})	23 MW

Tabel 16. Prognose toekomstige debieten, drukken, ontrokken warmte en gebruikte energie.

ADK-GT-04	Prognose waarde
Debiet geïnjecteerd water (m^3/h)	350
Gemiddelde temperatuur van het injectiewater, gewogen per volume, gemeten tussen warmtewisselaar en de putmond ($^\circ\text{C}$)	30
Gemiddelde druk aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	43
Gemiddelde operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	239
Maximale druk van aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	47+5=52
Maximale operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	257
Hoeveelheid in de injectieput ingebrachte inhibitor (l/m^3)	0
Aantal vollasturen per jaar	8760
Prognose ontrokken warmte per jaar (GJ)	711281
Hoeveelheid benodigde elektrische energie (MWh)	6622,6
Geïnstalleerd vermogen installatie (MW_{th})	23 MW

In Tabel 17 is de prognose van de systeemperformance over de komende 10 jaar weergegeven. Het betreft hier gegevens van beide doubletten.

Tabel 17 : Karakterisatie geothermisch systeem (2 doubletten) performance onder beoogde standaard operationele condities.

Jaar Vanaf status 2019	Prod. Temp. ($^\circ\text{C}$)	Hoeveelheid water(mln m^3)	Energie (GJ)	Inhibitor (m^3)	Gas (m^3)	Olie (m^3)	Aantal vollast uren (hrs)	Energie-consumptie (kWh)
1	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
2	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
3	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
4	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
5	80	5.6	1299144	56	2352000	n.v.t.	8000	12096000
6	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
7	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
8	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
9	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
10	80	5.6	1299144	56	2352000	n.v.t.	8000	12096000
11	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
12	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120
13	80	6.1	1422562	61	2575440	n.v.t.	8760	13245120

De jaarlijkse hoeveelheid water is gebaseerd op maximaal aantal draaiuren van 8760 per jaar en een debiet van 700 m^3 per uur voor 2 doubletten. De hoeveelheid ontrokken energie (GJ) is gebaseerd op bovengenoemde debiet, draaiuren en een temperatuurverschil tussen productiewater en injectiewater van 50 graden Celsius en een dichtheid van 1,11 kg per liter formatiewater.

De hoeveelheid jaarlijkse gedoseerde inhibitor is gebaseerd op een concentratie van 10 ppm ofwel 10 ml per m^3 formatiewater. De hoeveelheid meekomend geogas is gebaseerd op de gesigneerde gas-water ratio van $0,42 \text{ Nm}^3$ per m^3 formatiewater. De energieconsumptie is de elektriciteitsconsumptie gebaseerd op een gemiddeld totaal verbruik voor 2 doubletten van 1512 kWh per draaiuur. Er is geen sprake van meekomend olie.

Op elke veelvoud van vijf jaar is een onderhoud voorzien met mogelijk ESP wissel, logs en andere workovers/interventies. Het aantal vollasturen is in die jaren gesteld op zo'n 92% van het maximale aantal uren per jaar.

Het mee geproduceerde gas wordt na behandeling (droging) nuttig aangewend in ketels als stookinstallatie. Indien de stookinstallatie in storing staat, wordt het gas op een veilige manier in een gesloten ecofakkel afgefakkeld. De hoeveelheid gas bedraagt naar verwachting per jaar ruim 2,5 miljoen Nm³. Een zo klein mogelijk deel hiervan, zou bij een storing in de fakkel verbrand kunnen worden.

5.2. Duur van winning

De duur van de winning betreft van het moment van het verkrijgen van de vergunning 35 jaar.

5.3. Toekomstige ontwikkeling

Het uitbreiden van de winningsinstallatie in de zin van het boren van extra putten is vooralsnog op de betreffende locatie niet aan de orde. Ook stimuleringsmaatregelen op de bestaande putten zoals hydraulische stimulatie of zuurbehandeling is op korte termijn niet voorzien.

5.4. Interferentie

Er is vanuit deze mijnbouwinstallatie geen sprake van interferentie met aanpalende mijnbouwactiviteiten zoals gaswinning, oliewinning, gasopslag en aardwarmtewinning omdat geen van deze activiteiten op dit moment aanwezig is binnen een mogelijke invloedssfeer.

6. Bodembeweging

In dit hoofdstuk wordt ten aanzien van het thema bodembeweging informatie gegeven over de subthema's bodemdaling/stijging en bodemtrilling. Door middel van een Quick Scan is een inventarisatie van het gevaar op bodemtrilling uitgevoerd. Deze Quick Scan is het eerste niveau van een totaal van 3 niveaus die een progressieve zwaarte in de studie laat zien. De Quick Scan geeft een eerste schatting van de kans op geïnduceerde seismisch potentieel door geothermische activiteiten. Als de Quick Scan een indicatie van een gemiddeld of hoge kans op geïnduceerde seismiciteit laat zien zal in niveau 2 een locatie specifieke Seismic Hazard Assessment (SHA) en op niveau 3 een locatie-specifieke Seismic Risk Assessment (SRA) worden uitgevoerd.

De resultaten van deze Quick Scan zijn weergegeven in paragraaf 6.4. Hieruit blijkt dat het risico voor het project Andijk laag is. De gewogen score is 0.31 welke lager is dan de 1/3 grens voor gemiddeld risico. Uitvoeren van een SHA (Seismic Hazard Analysis) en daarmee ook SRA (Seismic Risk Analysis) is daarmee niet aan de orde.

In paragraaf 6.7. worden mogelijke nadelige gevolgen in relatie met de bodembeweging van de activiteit voor natuur en milieu aangeduid.

6.1. Bodemdaling/stijging

Bij aardwarmtewinning in Andijk wordt warm water uit de bodemlaag ontrokken en koud water in dezelfde laag teruggebracht. Er is daarmee geen netto onttrekking, waardoor de overall reservoir druk gelijk blijft. Wel zal rondom de productieputten een drukdaling optreden door onttrekking van warm water, en rondom de injectieputten een drukstijging door injectie.

De drukverandering kan een rol spelen bij bodemdaling, maar het is ook van belang dat afkoeling van het reservoir kan leiden tot compactie. Gezien de dikte van het Slochteren reservoir in deze regio (150-200 m) is het de moeite waard de daling door afkoeling verder te onderzoeken. De door TNO ontwikkelde simulatieprogramma DoubletCalc2D is in staat om een inschatting te geven van de te verwachten bodemdaling.

Het model bestaat uit 200x200 gridcellen en beslaat een gebied van 4000x4000 meter. Temperatuurs-, diepte- en temperatuurkaarten van het reservoir zijn gebruikt, dikte, porositeit en N/G zijn constant, en er wordt 30 jaar gesimuleerd (*Figuur 26*).

REGION OF INTEREST			
xmin	140000.0	m	nx
xmax	144000.0	m	ny
ymin	525000.0	m	
ymax	529000.0	m	
grid geometry	none	use grid	view
AQUIFER PROPERTIES			
initial temperature	65.0	C	temp_midSlocht use value view
aquifer depth	1500.0	m	Depth_topSlocht_wellmatch use value view
(cell) thickness	165.0	m	none use grid view
porosity	0.21	-	none use grid view
net to gross	0.98	-	none use grid view
actnum	1.0	-	none use grid view
permeability in xdir	200.0	mDarcy	perm_Slocht use value view
permeability in ydir	200.0	mDarcy	perm_Slocht use value view
water salinity	143000.0	ppm	
CALCULATION SETTINGS			
time end production	30.0	yrs	
time end analysis	30.0	yrs	
output interval	1.0	yrs	
output/calculation interval after production	250.0	yrs	

Figuur 26: Invoer parameters in het tabblad “Input Aquifer” gebruikt voor DoubletCalc2D berekening Andijk, ten behoeve van inschatting van mogelijke bodemdaling.

Bij gebrek aan lokale parameters voor de Slochteren formatie worden de initiële geavanceerde aquifer parameters gehandhaafd, en het model wordt uitgevoerd met koeling 3D en bodemdaling, voor een grid met open begrenzing (*Figuur 27*).

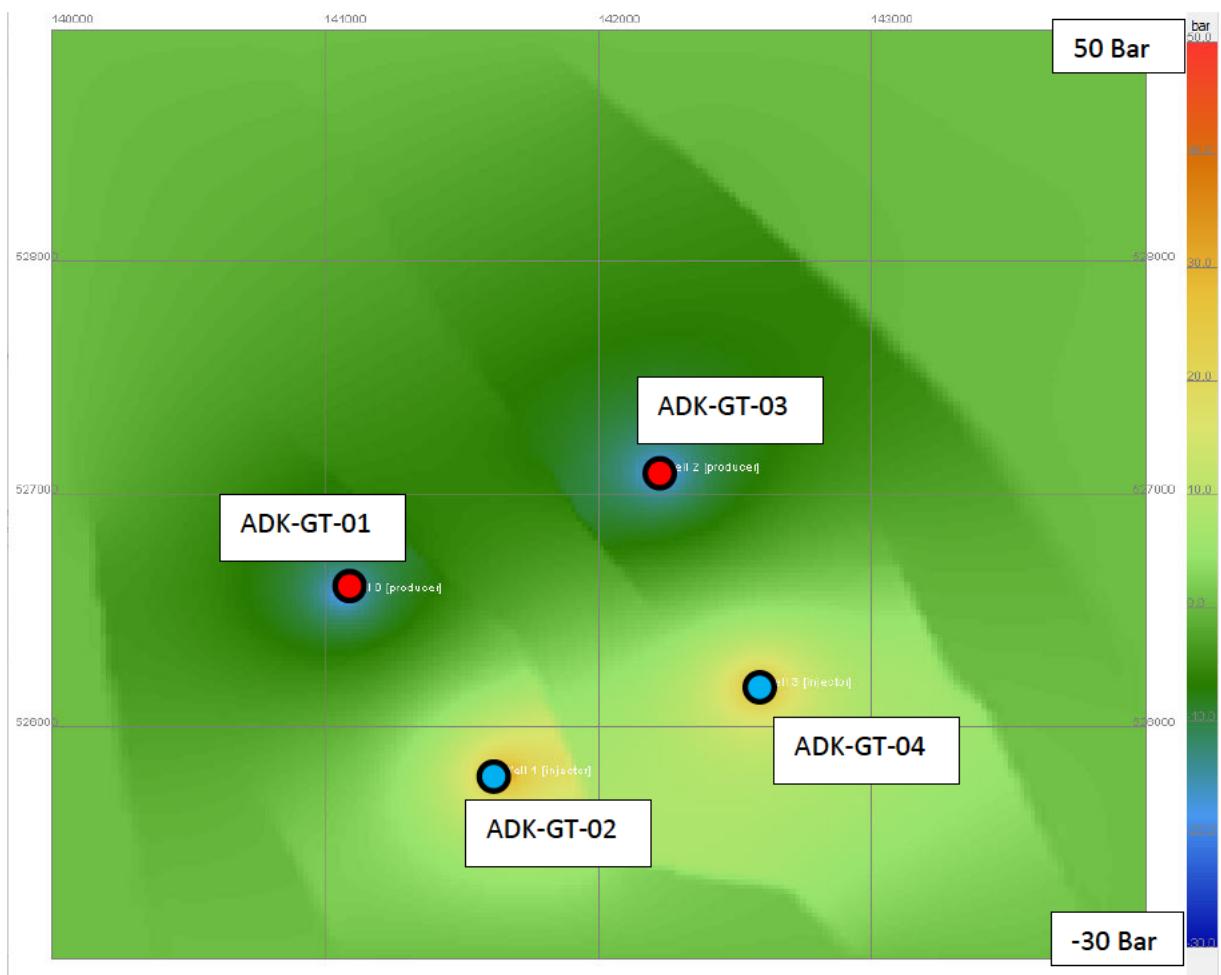
ADVANCED AQUIFER PROPERTIES	
storage capacity	1.0E-9 m ³ Pa ⁻¹
water conductivity	0.6 W K ⁻¹ m ⁻¹
temperature dependent viscosity	yes
viscosity	0.001 Pa s
temperature dependent density	yes
ADVANCED ROCK PROPERTIES	
rock conductivity	4.0 W K ⁻¹ m ⁻¹
heat capacity	1000.0 J kg ⁻¹ K ⁻¹
rock density	2700.0 kg m ⁻³
Young's modulus	9.0E9 Pa
Poisson's ratio	0.35 -
compaction coefficient	1.0E-5 bar ⁻¹
thermal compaction coefficient	2.0E-5 C ⁻¹
OUTPUT SETTINGS	
output fileformat	SURFER
output VTK (ParaView) fileformat	no
write debug output grids	no
CALCULATION SETTINGS	
cooling 3D	yes
calculate subsidence	yes
no flow boundary	no

Figuur 27: Invoer parameters in het tabblad “Advanced Settings” gebruikt voor DoubletCalc2D berekening Andijk, ten behoeve van inschatting van mogelijke bodemdaling.

De ontwikkeling bestaan uit vier putten met allen een skin van 0, een putdiameter van 7 inch en een injectie/productiesnelheid van 350 m³/uur (*Figuur 28*).

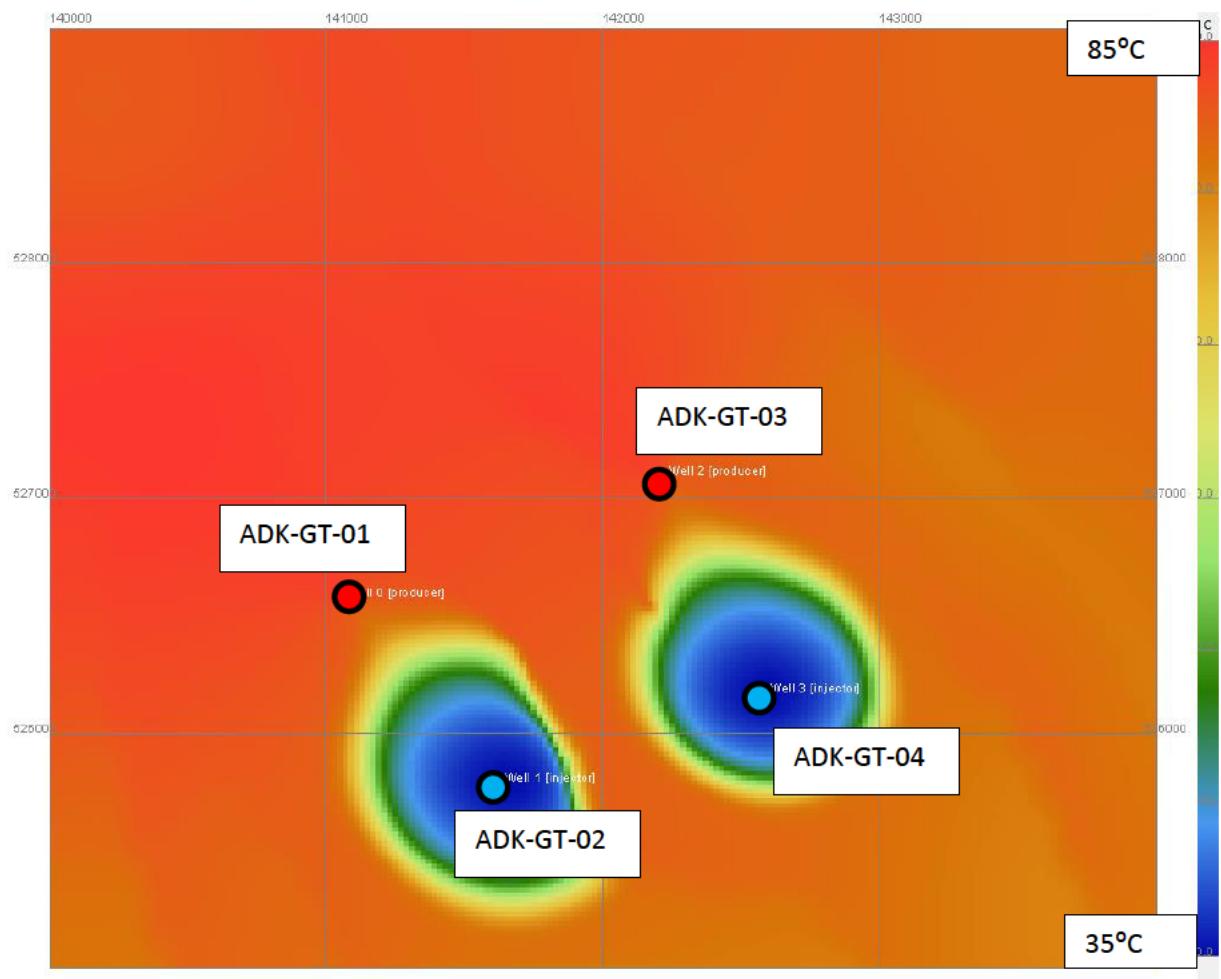
name	Well 0	Well 1	Well 2	Well 3	
					remove well add well
x	141072.0	141644.0	142234.0	142599.0	m
y	526569.0	525781.0	527088.0	526160.0	m
well diameter	7.0	7.0	7.0	7.0	inch
well skin	0.0	0.0	0.0	0.0	-
well excess pressure	30.0	-30.0	30.0	30.0	bar
well (inj) temperature	-1.0	35.0	-1.0	35.0	C
well flow rate	-350.0	350.0	-350.0	350.0	m ³ /h
pressure constraint	no				

Figuur 28: Invoer parameters in het tabblad “Input Wells” gebruikt voor DoubletCalc2D berekening Andijk, ten behoeve van inschatting van mogelijke bodemdaling.



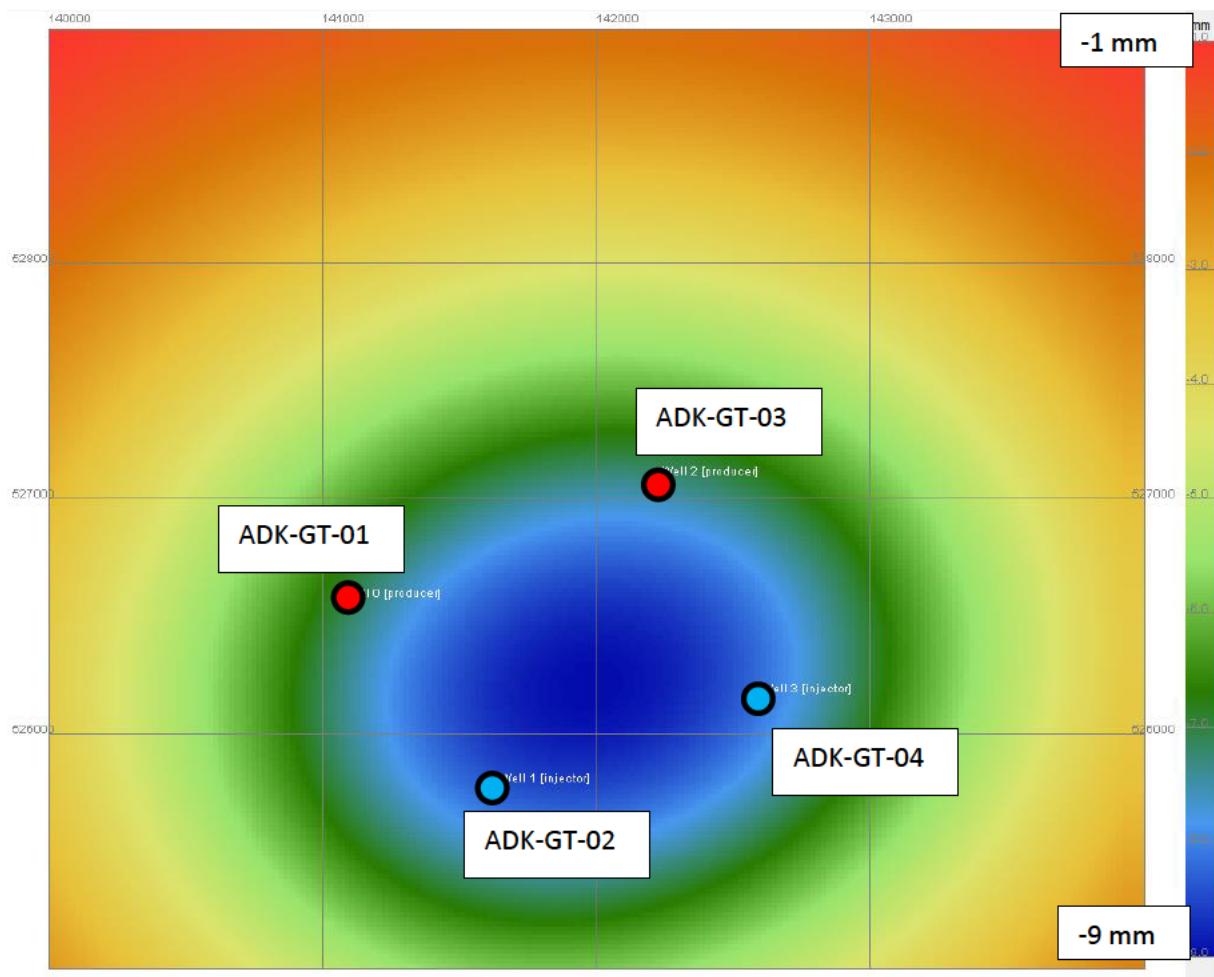
Figuur 29: Drukverandering na 30 jaar.

De drukverandering in het veld is na 30 jaar stabiel en wordt in enige mate gestuurd door de aanwezigheid van breuken (Figuur 29). Aangezien er geen grote afsluitende breuken zijn, heeft het model geen gesloten grenzen. Na 30 jaar heeft het injectiewater de productieputten nog niet bereikt (Figuur 30).



Figuur 30: temperatuur verdeling in het reservoir na 30 jaar.

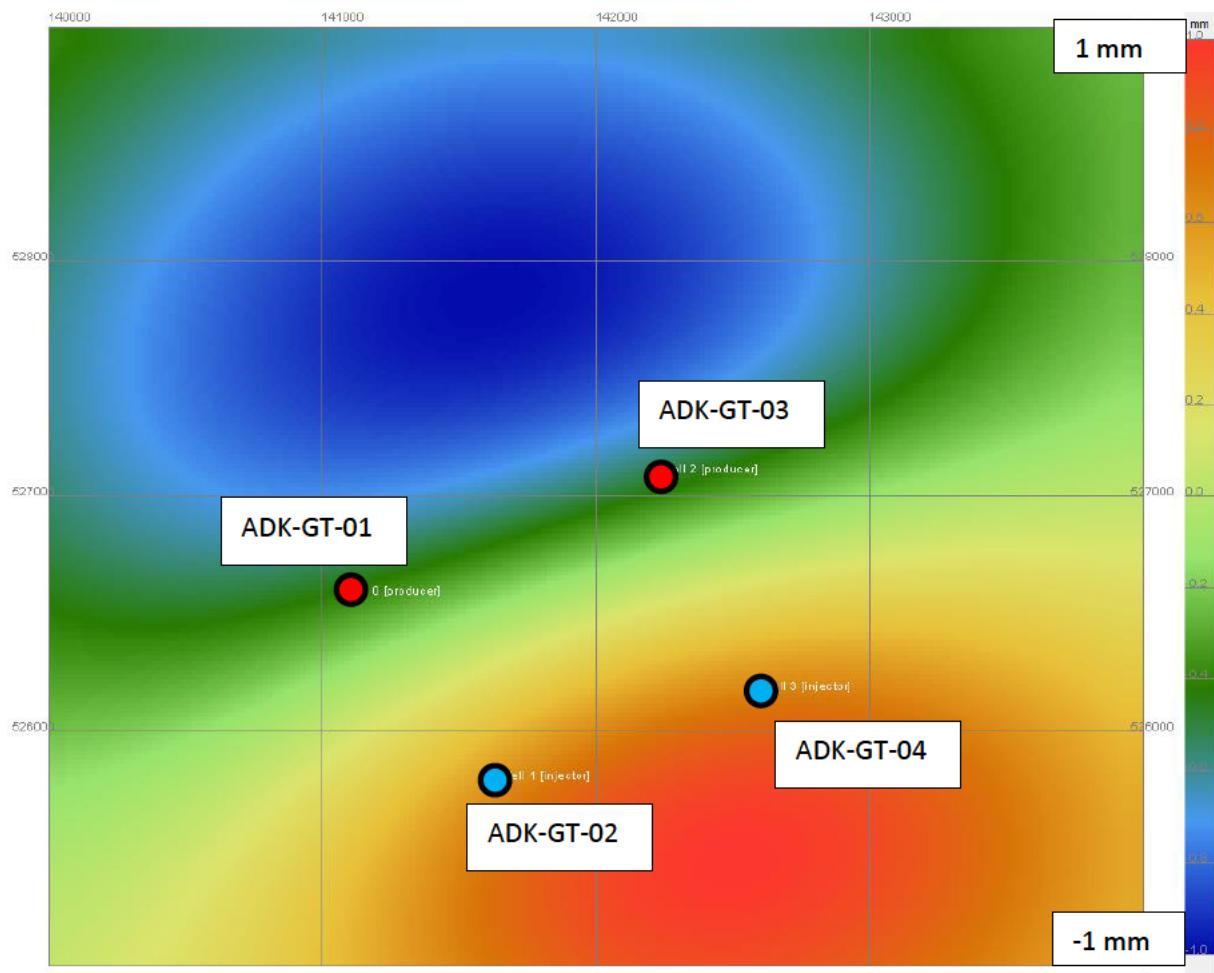
De resulterende bodemdaling is weergegeven in Figuur 31, en vormt een ellipsoïde gebied waarvan het middelpunt zich tussen de twee punten bevindt, met een lichte verschuiving richting de injectieputten. De maximale bodemdaling bedraagt ca. 9 mm na 30 jaar productie.



Figuur 31: Gesimuleerde bodemdaling voor Andijk na 30 jaar aardwarmte winning.

Dit is in lijn met een door TNO in 2015 gemaakte beoordeling van de bodemdaling (Fokker, 2015). Er is op diepte rond de putten een bodemdaling bepaald en vertaald naar de maximale daling op maaiveld. Voor een aardwarmtewinning zoals de winning te Andijk is de maximale bodemdaling na een termijn van 40 jaar winning dan circa 1 cm op maaiveld.

Het resultaat in *Figuur 31* geeft aan dat er competitie is tussen bodemdaling door drukverandering en bodemdaling die te wijten is aan bodemdaling door afkoeling van het reservoir. Als koeling dominant zou zijn, zou de ellipsoïde veel meer geconcentreerd zijn op de injectieputten. Om enig onderscheid te maken tussen het bodemdaling effect van koeling en drukverandering is het mogelijk om een simulatie uit te voeren waarbij geen uitkoeling optreedt (de injectietemperatuur is gelijk aan de reservoirtemperatuur). In dit geval is alleen de bodemdaling door drukverandering zichtbaar (*Figuur 32*). Door de drukopbouw in de injectoren vindt hier een lichte bodemstijging plaats (tot 1 mm ten zuiden van de injectoren), terwijl aan de productiekant een lichte bodemdaling (ca. 1 mm ten noorden van de productieputten) plaatsvindt. Deze trend verklaart waarom de totale bodemdaling niet geconcentreerd is op de injectieputten, maar iets richting de productieputten verschoven is. Een vergelijking tussen de daling in *Figuur 31* en *Figuur 32* geeft wel duidelijk aan dat de bodemdaling sterker beïnvloed wordt door thermische effecten dan door drukeffecten. Gezien de netto volume neutrale injectie (er wordt evenveel geïnjecteerd als er geproduceerd wordt) ligt dit in lijn van de verwachtingen.



Figuur 32: gesimuleerde bodemdaling voor Andijk na 30 jaar injectie van water op dezelfde temperatuur als het reservoir.

De verwachte bodemdaling/stijging is daarmee gering (over groot oppervlak zeer geringe daling) en een effect aan maaiveld is naar verwachting niet significant, in die zin dat het zou kunnen resulteren in schade voor gebouwen, infrastructuur, of nadelige gevolgen voor natuur en milieu.

Mogelijke gevolgen door bodemdaling/ stijging worden dan ook niet verwacht en aanvullende (extra) maatregelen om deze te voorkomen of te beperken zijn dan ook niet vereist anders dan maatregelen die in kader van een verantwoorde winning al worden genomen zoals:

- De injectie overdruk zal worden beperkt tot een injectiedruk zoals moet worden bepaald overeenkomstig het door TNO opgestelde protocol (zie www.nlog.nl onder ‘tools’). Hiermee wordt voorkomen dat een te hoge injectiedruk wordt gebruikt gegeven de sterkte van de ondergrond.
- Bij het beperken of staken van de watercirculatie herstelt de druk zich naar de oorspronkelijk druk in het reservoir binnen een beperkt aantal dagen, ook nabij de productieput en injectieput. En, bij beëindiging van de winning zal, zoals dus de kans op bodemdaling/stijging nihil zijn. Afwijkingen van de werkdrukken gedurende de bedrijfsvoering worden gemonitord.
- Onttrekking en injectie capaciteit en volume worden eveneens gemonitord. Indien er geen sprake is van materiële netto onttrekking of injectie, zal er in principe ook geen sprake kunnen zijn van een drukdaling, compactie of bodemdaling of stijging.

De bodemdaling of bodemstijging van de aardwarmtewinning is naar verwachting niet significant in die zin die het schade zou kunnen veroorzaken. Voor de aardwarmte voorkomens betrokken in deze winning is geen nulmeting uitgevoerd.

6.2. Bodemtrilling

In dit hoofdstuk wordt het mogelijk seismisch gevaar en risico evaluatie geadresseerd. Als leidraad is het rapport Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal projects [6] gebruikt.

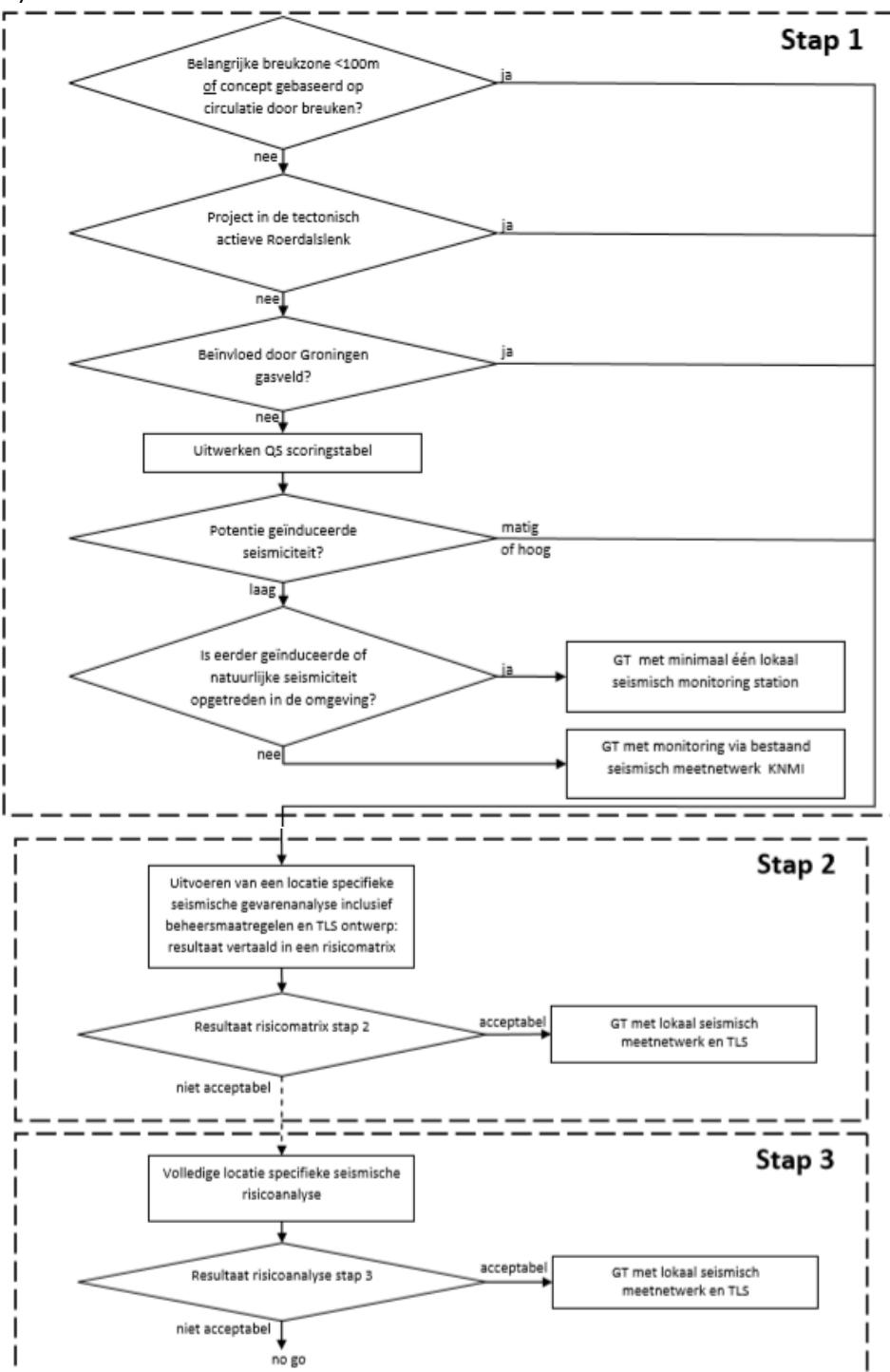
In het kader van kennisontwikkeling voor de sector geothermie is een studie uitgevoerd waarin invloedsfactoren zijn benoemd die de kans bepalen op een aardbeving ten gevolge van aardwarmtewinning (zie [6]). De kans op een aardbeving door aardwarmtewinning is in het algemeen voor de Nederlandse situatie beperkt. Er wordt geen water ontrokken. En omdat de kans op bodemdaling of bodemrijzing niet significant is, kan ook redelijkerwijs gesteld worden dat hierdoor geen geïnduceerde seismiciteit optreedt.

Het reservoir waaruit worden ontrokken en geïnjecteerd is een continuüm en dit wordt bevestigd middels interferentiemetingen die worden uitgevoerd in de testfase (waarvan in kader van de exploratiefase de rapportages aan o.a. de toezichthouder en TNO worden verstrekt). Daarmee wordt deze mogelijk invloedsfactor voor de kans op bevingen ondervangen.

Op basis van het vooronderzoek en de daarvoor gebruikte seismiek was vast te stellen waar breuken liggen en de putten zijn op afstand van de breukvlakken geprojecteerd, omdat dit mede als een invloedsfactor voor de bevingskans is onderkend. Daarnaast is hierboven al aangegeven dat de injectiedruk wordt beperkt overeenkomstig het door TNO daarvoor opgestelde protocol. Ook dit beperkt de kans op een beving. Voor het bepalen van het risico van aardbevingen is tevens van belang of de winning in een gebied ligt waar natuurlijke of geïnduceerde aardbevingen in het verleden zijn voorgekomen. Deze invloedsfactoren zijn in onderstaande paragrafen nader beschreven

6.3. Inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen- Quick-Scan

De Quick Scan is bedoeld om na te gaan of er aanleiding is om een uitgebreidere gevaren- en risicoanalyse uit te voeren. Er zijn 3 situaties die op voorhand bepalen of stap 2 noodzakelijk is. Dit zijn de vragen die gesteld worden in het rapport *Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects* om tot een SRA score te komen. (zie de eerste 3 vragen in *Figuur 33*).



Figuur 33. Stappenplan seismische gevaren en risicoanalyse geothermische projecten

In voorgaande hoofdstukken zijn de gegevens, geologische en operationele onderwerpen die betrekking hebben op het geothermische systeem uitgebreid beschreven en gedocumenteerd. Voor het beantwoorden van de bovenstaande vragen kan voor onderbouwing en argumentatie naar die relevante voorgaande hoofdstukken en paragrafen worden verwezen.

6.4. Resultaten Quick-scan

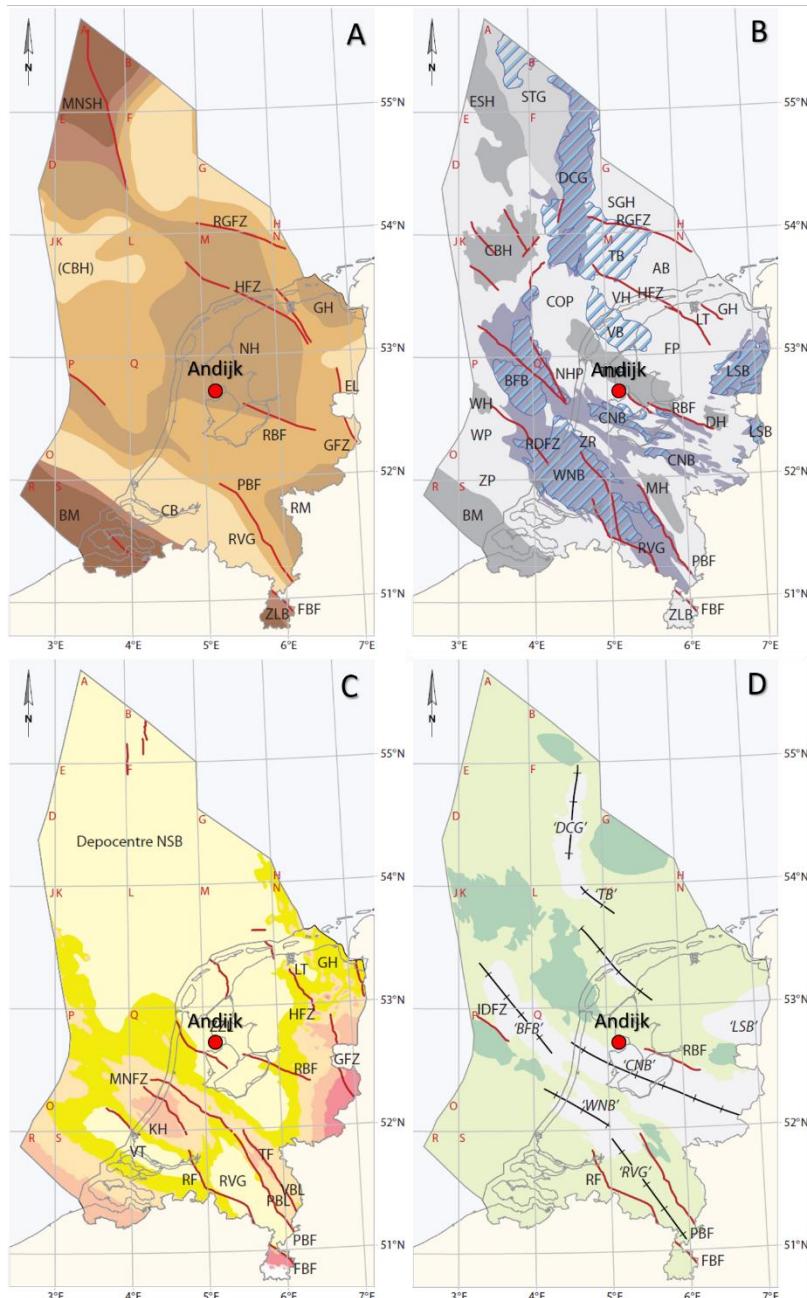
In eerste instantie worden dus de 3 genoemde vragen (*Figuur 33*) beantwoord alvorens de QS-scoring tabel vragen worden beantwoord.

Op basis van de geologische en operationele onderwerpen die betrekking hebben op het geothermische systeem waarvan gegevens uitgebreid beschreven en gedocumenteerd zijn in voorgaande hoofdstukken, kunnen de vragen uit de beslisboom (*Figuur 33*) worden samengevat zoals in onderstaande tabel beschreven:

Tabel 18. Eerste set van vragen uit de beslisboom.

Beslisboom vraag	Antwoord (J/N)	Argumentatie/referentie
Afstand tot belangrijke breukzone < 100 m of circulatie door bestaande breuken	N	Zie Figuur 33
Project gerealiseerd in tektonisch actieve Roerdalslenk in het Zuidoosten van Nederland	N	Zie Figuur 33.
Beïnvloed door Groningen gasveld?	N	Zie Figuur 33.

Uit *Figuur 34* is af te leiden dat er geen grote breukzones binnen de 100 m binnen de doubletten zijn, en het Roerdalslenk en het Groningen gasveld zich op grote afstand vinden van de locatie Andijk.



Figuur 34. Structurele elementen en belangrijkste breuk zones tijdens het Variscisch (A), Laat Jura tot Vroeg Krijt (B), Laat Krijt tot Vroeg Tertiair (C) en Cenozoicum (D) [7].

Als een van bovenstaande vragen in *Tabel 18* met ja is beantwoord, dan is uitvoeren van een “Location specific Seismic Hazard Assessment (SHA)” de volgende evaluatie stap. In de Quick Scan wordt verder aan de hand van 9 parameters de potentie van geïnduceerde seismiciteit afgeleid. Deze parameters volgen uit de geologische omstandigheden, het ontwerp en/of eigenschappen van het geothermie systeem en de nabijheid van eventueel eerder waargenomen seismiciteit. Op basis hiervan kan de DGR voor de geothermische installatie worden opgesteld.

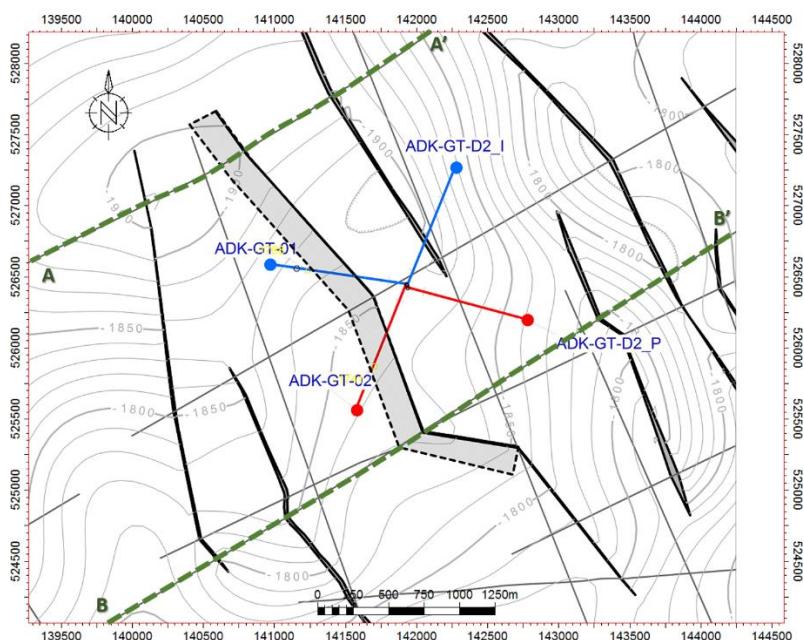
daarvan wordt de QS scoringstabel verder uitgewerkt (de 9 vragen). Alle vragen in *Tabel 18* kunnen in de situatie voor Andijk dus met nee beantwoord worden. De antwoorden op de vragen voor de QS scoring tabel zijn hieronder toegelicht.

De vragen voor de QS scoring tabel zijn:

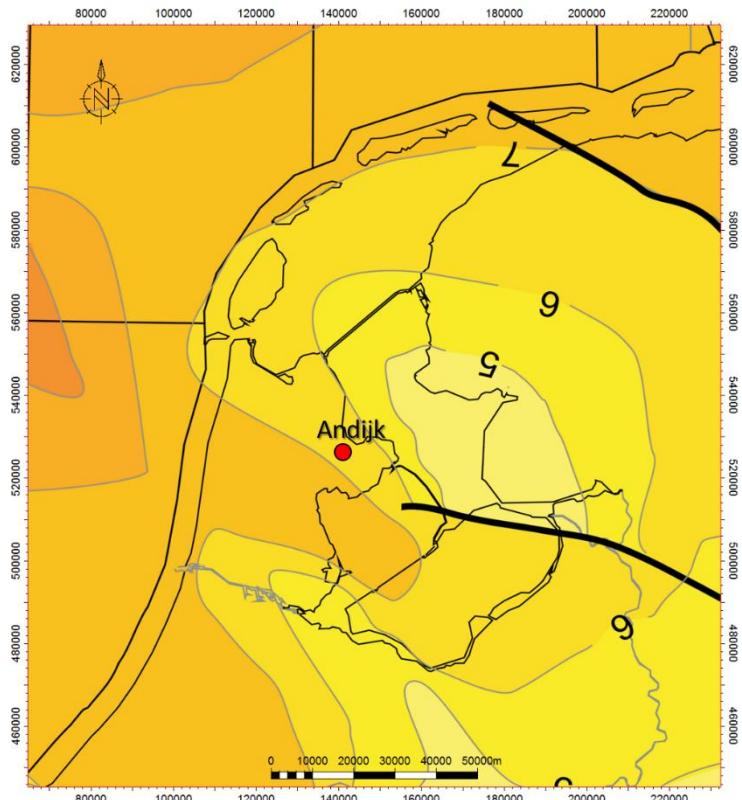
Vraag
1. Verbinding met de kristallijnen basis
2. Afstand tot bestaande breuken
3. Oriëntatie van de breuk in het heersende stressveld
4. Afstand tot natuurlijke aardbevingen
5. Afstand tot geïnduceerde seismiciteit
6. Netto geïnjecteerd volume
7. Drukcommunicatie tussen de putten
8. Injectiedruk
9. Systeemdebiet

Ad 1. Verbinding met de kristallijnen basis.

In Nederland is er tot op heden geen geothermisch project met putten geboord in de kristallijne basis (basement or crystalline crust). De diepte van reservoir in Andijk (Slochteren formatie) is ongeveer rond de 1900 m TVD (*Figuur 35*). Een kaart van de top van het pre-silesien (systeem Carboon) (zie *Figuur 36*) laat zien dat de basis bij Andijk op een diepte van tenminste 6.5 km TVD is. Een directe hydraulische connectie door/via breuken kan niet worden waargenomen in de seismiek. In ieder geval zal de meer dan 4 km dikke scheiding tussen het reservoir en de basis drukcommunicatie via een directe hydraulische connectie onwaarschijnlijk maken. Om deze reden is de score op deze parameter 0.



Figuur 35. Top Slochteren reservoir kaart voor Andijk.



Figuur 36. Top van het pre-silesian [8]. De contouren geven diepte in km aan.

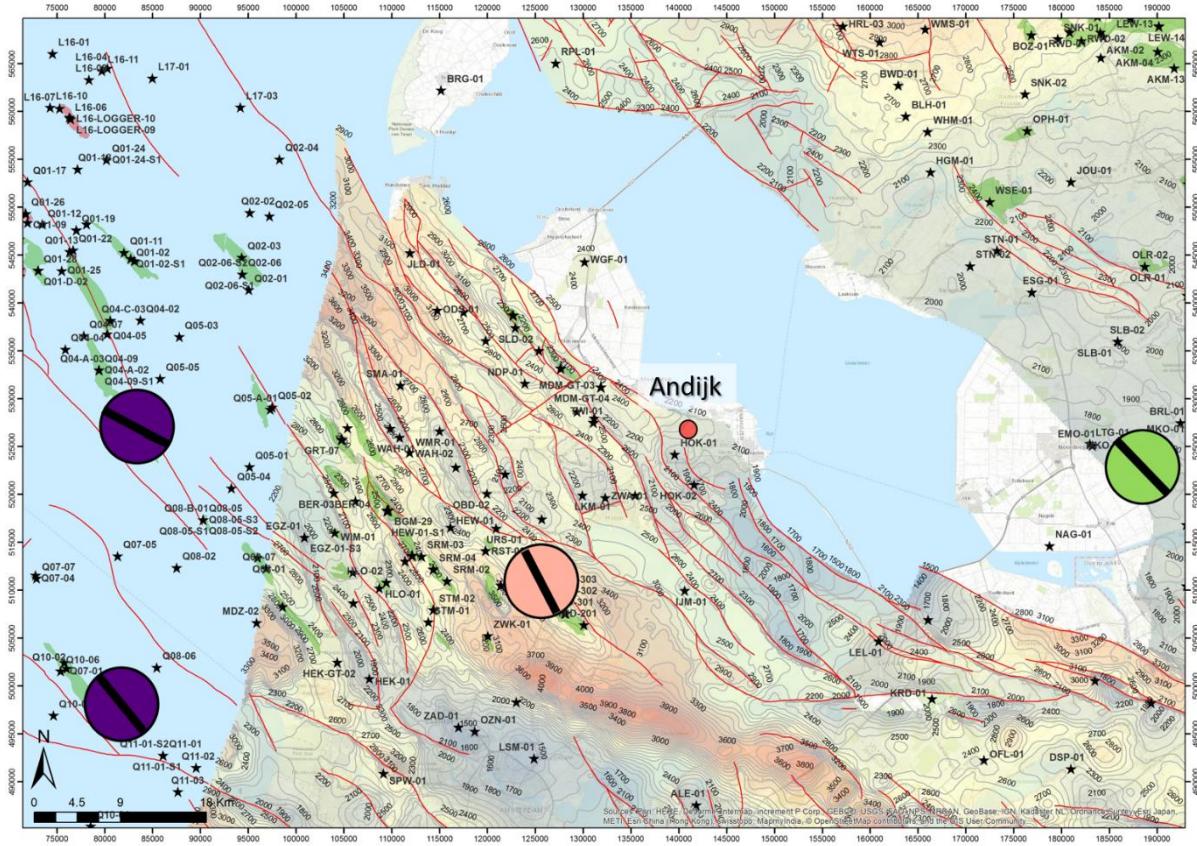
Ad.2. Afstand tot bestaande breuken.

De Andijk putten zijn geboord in een gebied met alleen seismische data in 2D. De afstand tussen de open hole secties en natuurlijke breuklijnen (met een laterale grootte van meer dan 1 km) is een criterium in de Quick Scan. De putten ADK-GT-03 en ADK-GT-04 (doublet 2) zijn ongeveer 450 m van de meest nabij gelegen breuk. De ADK-GT-01 en ADK-GT-02 putten zijn respectievelijk ongeveer 370m en 390 m verwijderd van de meest nabijgelegen breuk. Deze afstanden zijn gebaseerd op interpretatie van 2D seismiek en hebben daarom een kleine onzekerheid. Puttesten kunnen aanvullende inzichten m.b.t. breuken brengen en ADK-GT-01 kan omgezet worden naar een productieput, in plaats van een injectieput.

Op basis van bovenstaande analyse is de score op dit criterium 7, hetgeen aan de hoge kant van het bereik zit.

Ad 3. Oriëntatie van de breuk in het heersende stressveld.

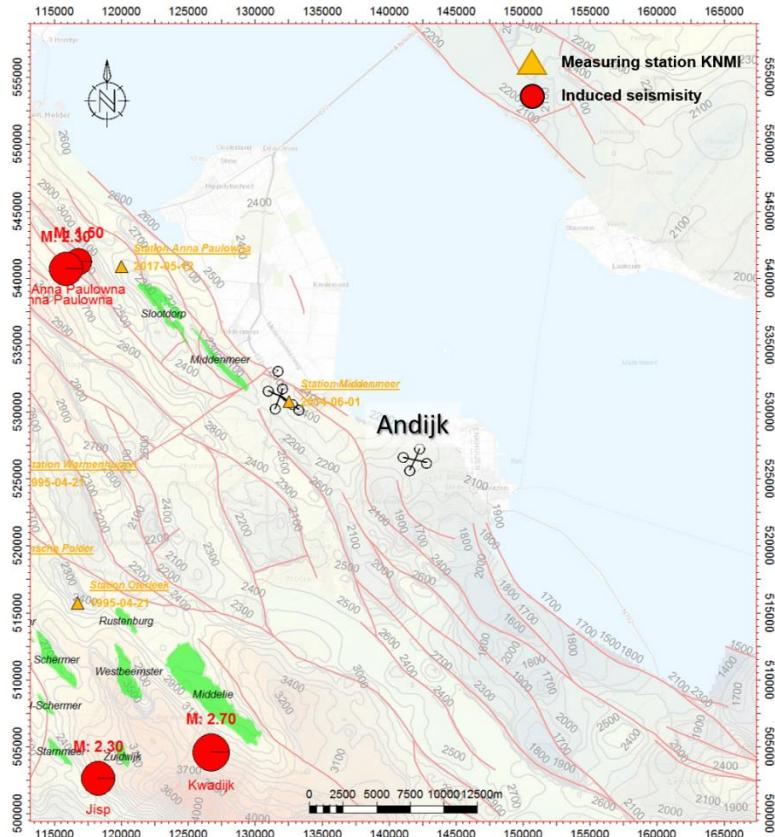
In *Figuur 37* is de locatie van Andijk uitgezet in relatie tot het stressveld per groep met breukstructuren aanwezig op Slocsteren niveau aangegeven. De oriëntatie van het stressveld is afgeleid uit de Dutch Stress Map (Mechelse, 2017), en gebaseerd op de dichtstbijzijnde meting, ten Zuiden van Andijk. Er zijn geen lokale metingen van de oriëntatie van het stressveld beschikbaar. In het gebied rond Andijk geldt een NW-ZO oriëntatie van de maximale horizontale stress. De meerderheid van de breuken in het gebied hebben een vergelijkbare oriëntatie maar de hoek lijkt lichtelijk schuin. Een lokale meting van de maximale horizontale stress is mogelijk op basis van onder andere puttesten. Op basis van de regionale breukdata zit er een kleine hoek tussen de oriëntatie van het stressveld en de heersende breuken in het veld, waardoor bezwijken mogelijk wordt geacht.



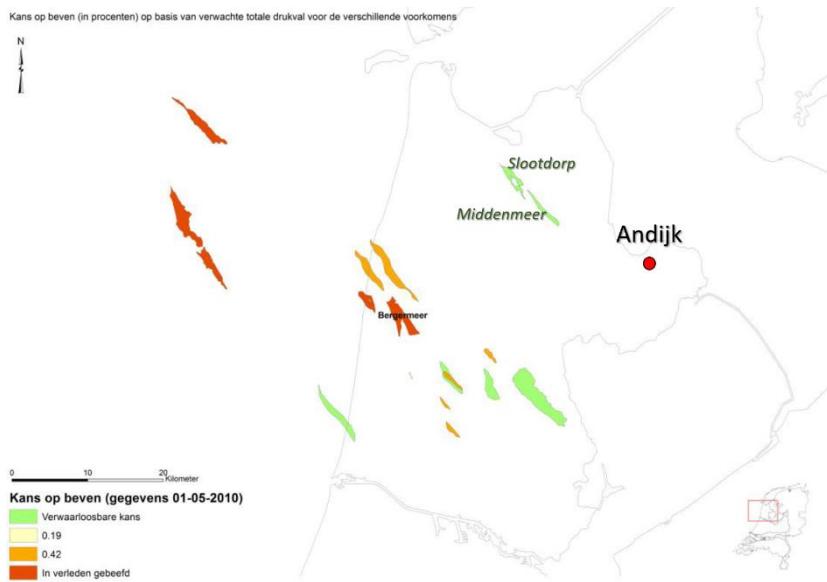
Figuur 37. Top Slochteren kaart met breuk interpretatie met data van de Dutch Stress Map (DSM) [9]. De gekleurde cirkels laten de oriëntatie van de gemiddelde S_H per Groep zien waarbij groen Krijt, roze Zechstein en paars lager Germaans Trias aangeeft. Top Slochteren en de breuken zijn gebaseerd op DGM 2.0 [10].

Ad 4 en 5. Afstand tot natuurlijke aardbevingen en afstand tot geïnduceerde seismiciteit.

Seismiciteit in de regio kan zowel geïnduceerd zijn als van nature voorkomen. De kaart in *Figuur 38* bestrijkt een groot gebied rond de geothermische doubletten op de locatie Andijk. Binnen dit gebied is de enige vastgelegde seismiciteit als geïnduceerd geklassificeerd nabij Anna Paulowna op zo'n 30 km van de geothermische systemen en nabij Purmerend (Kwadijk), zo'n 27 km van Andijk. Bij Anna Paulowna kwamen er 2 gebeurtenissen in korte tijd (23 juni 2015) voor met magnitudes van 1,5 en 2,3. Alhoewel de seismiciteit in beide gebeurtenissen is aangeduid als geïnduceerd, is de bron niet goed geduid. De gebeurtenissen waren verder vrij opmerkelijk omdat het gebied nog niet eerder onderwerp van seismiciteit was geweest. Een mogelijke verklaring kan de gasproductie uit de Slochterenformatie vanuit het gasveld Slootdorp zijn dat zo'n 2,5 km oostelijk is gelegen. De regionale breuken zoals in *Figuur 37* te zien, laten niet direct een connectie met de geothermische doubletten of het gasveld zien. Opgemerkt wordt dat TNO voor de Slootdorp en Middenmeer gasvelden een indicatie van verwaarloosbaar risico op geïnduceerde seismiciteit gaf (*Figuur 39*). De gebeurtenis rond Purmerend vond plaats rond 1 december 1989 en is geklassificeerd als geïnduceerd maar dit is nooit bevestigd. Het zou ook van natuurlijk oorsprong kunnen zijn geweest. Gebaseerd op het IF/Q-CON schema, valt de afstand tot de geïnduceerde en natuurlijke seismiciteit in de laagste categorie met een afstand van meer dan 10 km. De afstand tot de plaatsen van de gebeurtenissen is dermate groot dat extrapolatie geen betekenis heeft.



Figuur 38. Kaart met de seismische epicentra in het gebied. De rode cirkels geven geïnduceerde seismiciteit aan. In het oranje de meetstations en ook zichtbaar top Slockteren met bijbehorende breuklijnen. Opgemerkt wordt dat er in het weergegeven gebied geen natuurlijke seismiciteit is waargenomen.



Figuur 39. Kans op geïnduceerde seismiciteit voor gasvelden in Noord-West Nederland gebaseerd op data tot 1 mei 2010 [11].

Ad 6. Netto geïnjecteerde volume.

De doubletten in Andijk zijn gebaseerd op massa gebalanceerde vloeistof circulatie. Netto is het geïnjecteerde volume nul. Ook is de druk communicatie tussen de putten in de doubletten goed. De volumes gerelateerd aan het ontgassen van het formatiewater en de toevoeging van corrosie remmers zijn verwaarloosbaar. Het productiewater met opgelost gas wordt door een dalende druk gaandeweg ontgast. Dit gas wordt opgevangen, gedroogd en in een stookinstallatie nuttig aangewend. Het ontgaste formatiewater geeft zijn warmte af in de warmtewisselaars en wordt weer geïnjecteerd. Bij gelijke druk en temperatuur zal eenzelfde massa ontgast water een ietwat kleiner volume innemen maar dit is verwaarloosbaar klein. De inhibitor wordt gedoseerd op een concentratie van 10 ppm. Dit komt overeen met 10 ml per m³ formatiewater ofwel 0,001% van het volume aan formatiewater. Ook dit is verwaarloosbaar klein. Het zijn qua effecten tegengestelde fenomenen.

Ad 7. Drukcommunicatie tussen de putten.

De betreffende breuken zoals in Figuur 35 weergegeven doorkruisen of doorsnijden geen van de doubletparen. De dominante breuk oriëntatie is parallel aan de circulatierichting. Het kan zijn dat er sub-seismic breuken aanwezig zijn die niet in het 3D gebied zijn weergegeven. De Slochteren formatie is een relatief homogeen zandsteen formatie in laterale en verticale zin. Significante, niet structurele hydrogeologische barrières zijn daarom minder waarschijnlijk in het geval van de doubletten op Andijk. Drukcommunicatie tussen de putten is daarom zeer waarschijnlijk. Er is een aantal interferentie testen uitgevoerd op de putten op Agriport, zo'n 10 km ten noordwesten van Andijk in 2013 en 2014. Deze interferentietesten lieten (zeer) goede communicatie tussen de putten zien. Als gevolg van de nabijheid en overeenkomsten tussen deze geothermische projecten, is de aannname (geweest) dat de drukcommunicatie in Andijk ook goed is. Uitgevoerde interferentietesten bevestigen deze aanname. Hierop is de score gebaseerd.

Ad 8. Injectiedruk.

Fit testen Andijk

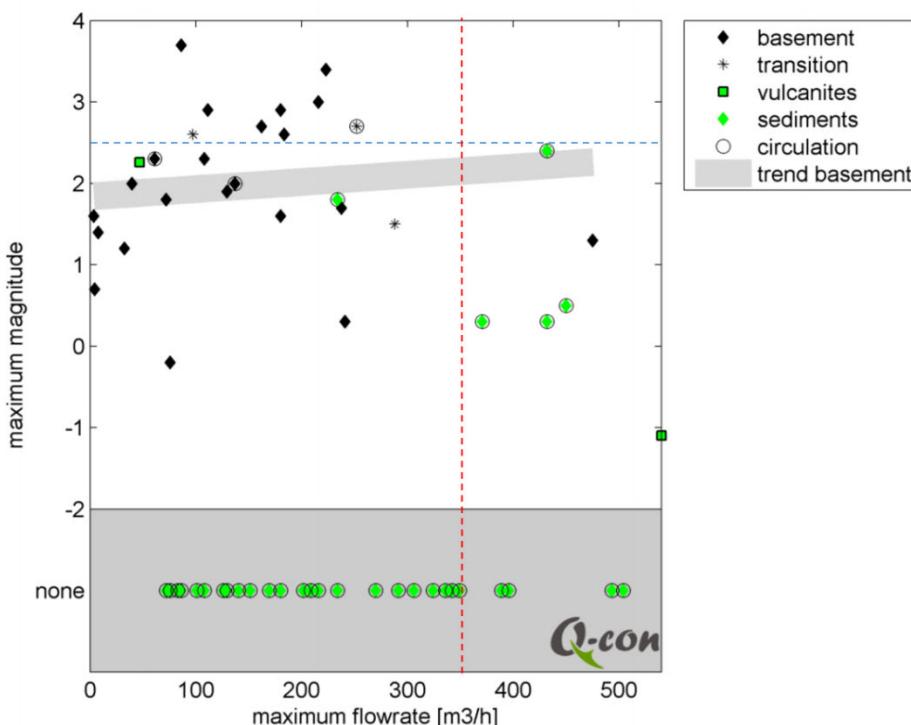
De gebruikte injectiedruk voor de Andijk doubletten zullen in lijn zijn met een separaat protocol, opgesteld door SodM [12]. Tijdens boring zullen Repeated Formation Integrity Tests uitgevoerd worden die aantonen hoeveel druk de formatie boven het reservoir aankan. Voor de doubletten wordt een piek volume van 350 m³/uur verwacht. Het bijbehorende drukverschil bij de injectieput (tussen reservoir en putbasis) ligt beneden de 20 Bar (~2 MPa). Dit plaatst de Andijk doubletten in de 1-4 MPa categorie, met een bijbehorende score van 3.

ECW werkt op dit moment aan een verruiming van het standaard protocol op basis van geomechanische studies. Hiervoor zullen wij apart een aanvraag indienen bij SodM, en een update geven voor het winningsplan.

Ad 9. Systeemdebiet.

Het nominale (winter) en ontwerpdebiet is 350 m³/uur per doublet. Hiermee wordt een score verkregen van 7 voor deze parameter zoals voorgesteld in het IF/QCON protocol. Op basis van analyse van deze onderbouwing lijkt dit pessimistisch. In *Figuur 40* is een figuur uit dat protocol opgenomen. Hier moet opgemerkt worden dat de meerderheid van de projecten met circulatie in sedimentaire gesteenten (zoals in Andijk het geval is) op het ‘none’ niveau plotten, en de trend plot hoger dan nagenoeg alle (op één na) sediment circulatie punten. De trend wordt benoemd als zijnde voor basement gesteente.

Voorts laat *Figuur 40* zien dat alle sediment circulatie punten beneden de 2.5 magnitude (de grenswaarde die door SodM gesteld is) plotten, en dat voor de flow rates in Andijk maar één punt boven ‘none’ uitkomt. Hoewel wellicht niet volledig representatief, is gekozen voor een rating van 7.



Figuur 40. Maximale magnitude van geïnduceerde gebeurtenissen als functie van injectie debiet voor aardwarmte projecten.

6.5. Deterministische risico analyse voor geïnduceerde seismiciteit (SodM)

De SodM richtlijnen voor risico analyse voor geïnduceerde seismiciteit is specifiek opgesteld voor gas exploratie en is gericht op depletie en compactie. Hierdoor is de toepassing voor geothermie beperkt. De “afkoeling” van het reservoir als gevolg van geothermische activiteit kan echter ook resulteren in compactie en kan met depletie vergelijkbare scenario’s geven. De SodM richtlijnen passen de waarschijnlijkheidsklassen toe zoals door TNO opgesteld (zie *Tabel 19*).

In deze tabel zijn de volgende parameters opgenomen:

- DP/Pini: De verhouding tussen het drukverschil (DP) en initiële druk (Pini) in het reservoir op een bepaald tijdstip
- E: De verhouding tussen de Young's Moduli van het bovenliggende gesteente en het reservoir gesteente
- B: Een maat voor de reservoir breuk intensiteit

Tabel 19. Risico's van seismiciteit in de aanwezigheid van olie en gas (TNO 2012).

Seismicity has already occurred	
DP/P _{ini} ≥ 28%	B > 0,86 en E ≥ 1,34: P _h = 0,42 ± 0,08 B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P _l = 0,19 ± 0,05 B < 0,86 en/of E < 1,01 Risk Negligible
DP/P _{ini} < 28%	Risk Negligible

B is als volgt gedefinieerd:

$$B = \frac{\text{fault surface area}^{3/2}}{\text{gross rock volume}} = \frac{l_b^{3/2} h^{1/2}}{A}$$

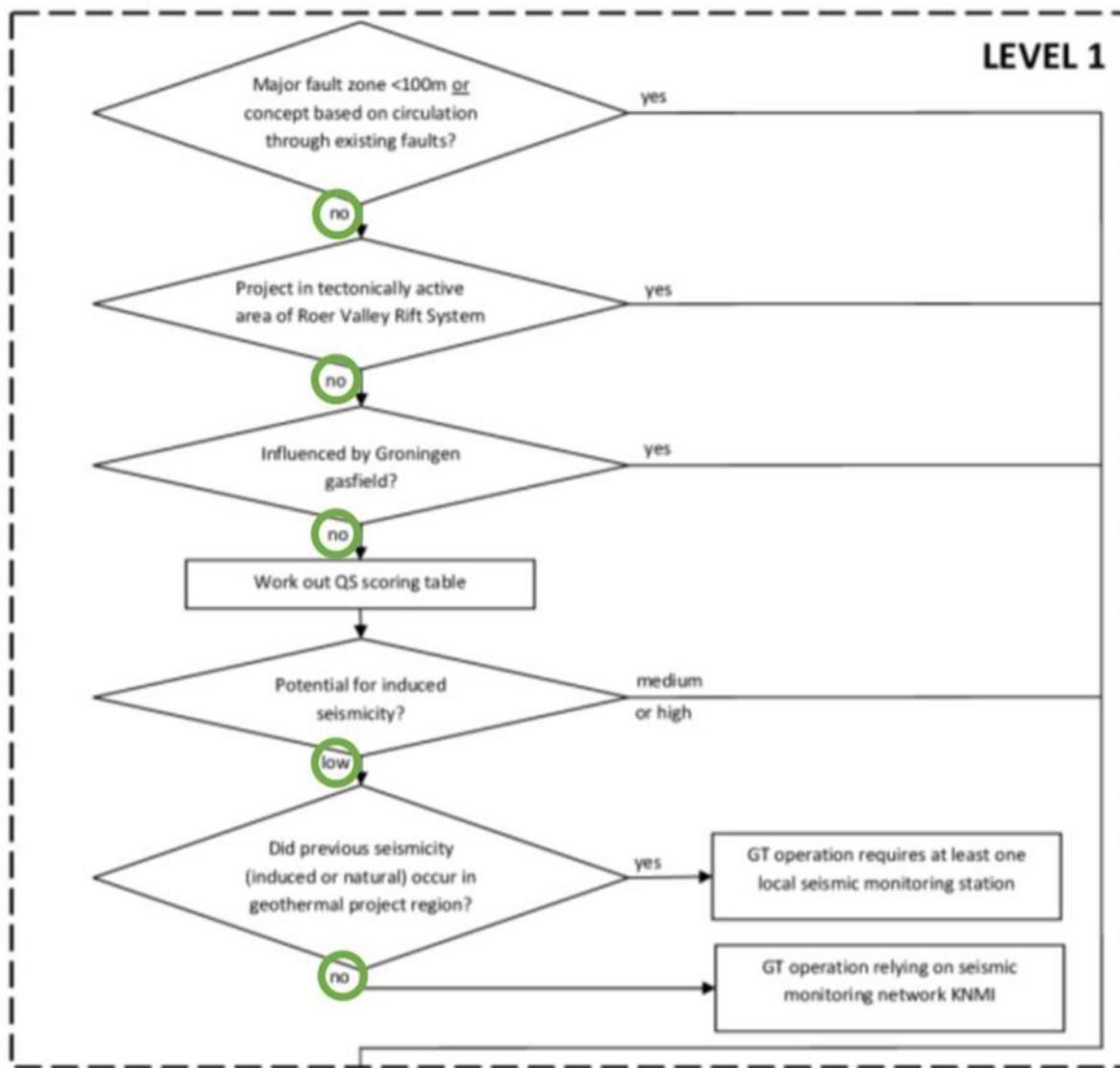
Hierbij is h de maximale dikte van de gaskolom. l_b is de totale lengte van de intra reservoir breuken en reservoir begrenzende breuken en A is de oppervlakte van de accumulatie.

De reservoir drukverschillen die tijdens geothermale productie in Andijk verwacht worden zijn klein, hoofdzakelijk omdat de injectievolumes gelijk zijn aan de injectievolumes. Ook, zoals besproken in paragraaf 4.2.1 zijn er geen significante reservoir begrenzende breuken geïdentificeerd. Het verwachte drukverschil is in de orde van 2 Bar (zie paragraaf 4.2.4 en Brouwer et al., 2005), hetgeen zich vertaalt naar een dP/P_{ini} van zo'n 1% (P_{ini}-191 Bar), hetgeen ruim beneden de <28% grens is. Daarom wordt het risico op basis van de SodM richtlijnen omschreven als verwaarloosbaar.

6.6. Conclusie Quick Scan

De genormaliseerde score wordt bepaald op basis van de methodiek en is 0.31 en wordt geassocieerd met een laag risico. Ook op basis van de leidraad van SodM kan worden geconcludeerd dat het risico voor Andijk zeer klein is (*Figuur 41*).

De kans op bevingen is daarmee in te schatten in de laagste categorie (categorie I). Gegeven de lage kans op bevingen is er geen aanleiding een seismische risico analyse uit te voeren. De kans op bodemtrilling van de aardwarmtewinning is dusdanig laag dat er geen nadelige effecten of schade van de winning bovengronds zijn te verwachten.



Figuur 41. Uitkomst Stappenplan seismische gevaren en risicoanalyse geothermische projecten, niveau 1.

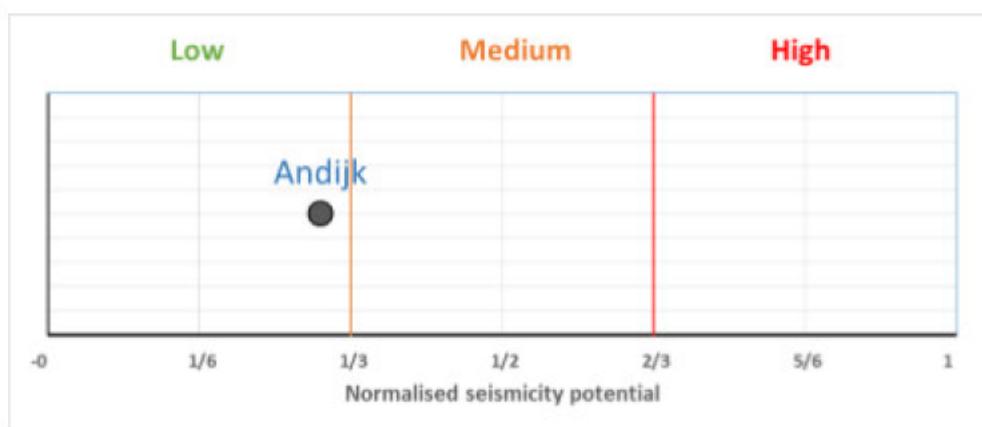
Tabel 20. QS-scoring tabel.

score	basement connected	inter-well pressure communication	re-injection pressure [MPa]	circulation rate [m ³ /h]	epicentral distance to natural earthquakes [km]	epicentral distance to induced seismicity [km]	distance to fault [km]	orientation of fault in current stress field	net injected volume [1000 m ³]	Sum of column scores
10	yes	no	> 7	> 360	< 1	< 1	< 0.1	favourable	> 20	
7	possible	unlikely	4 - 7	180-360	1 - 5	1 - 5	0.1 - 0.5	shearing possible	5 - 20	
3	unlikely	likely	1 - 4	50-180	5 - 10	5 - 10	0.5 - 1.5	shearing unlikely	0.1 - 5	
0	no	yes	< 1	< 50	> 10	> 10	> 1.5	locked	< 0.1	
Column score	0	3	3	7	0	0	7	7	0	Σ 28
										90

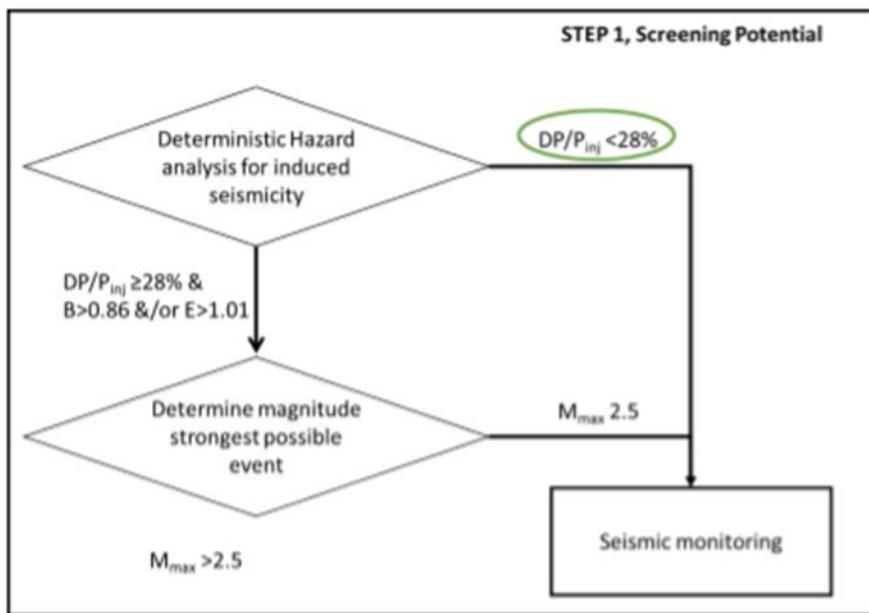
De genormaliseerde score (S) is als volgt berekend: de som van kolomscores gedeeld door aantal scores maal tien ($S = \frac{\Sigma(\text{kolomscores})}{(\text{aantal scores} \times 10)}$). Bij het volledig invullen van de tabel is de som van de kolomscores een getal tussen 0 en 90 en het aantal scores x 10 is 90. De "seismiciteitspotentieel" is een getal tussen 0 en 1.

Tabel 21. Resultaat Q- scoring.

	Normalised score	Seismicity potential	Hazard level and risk assesment procedure
Geothermisch project Andijk (ECW)	0,31	0,31	



Figuur 42. Resultaten van de Quick Scan.



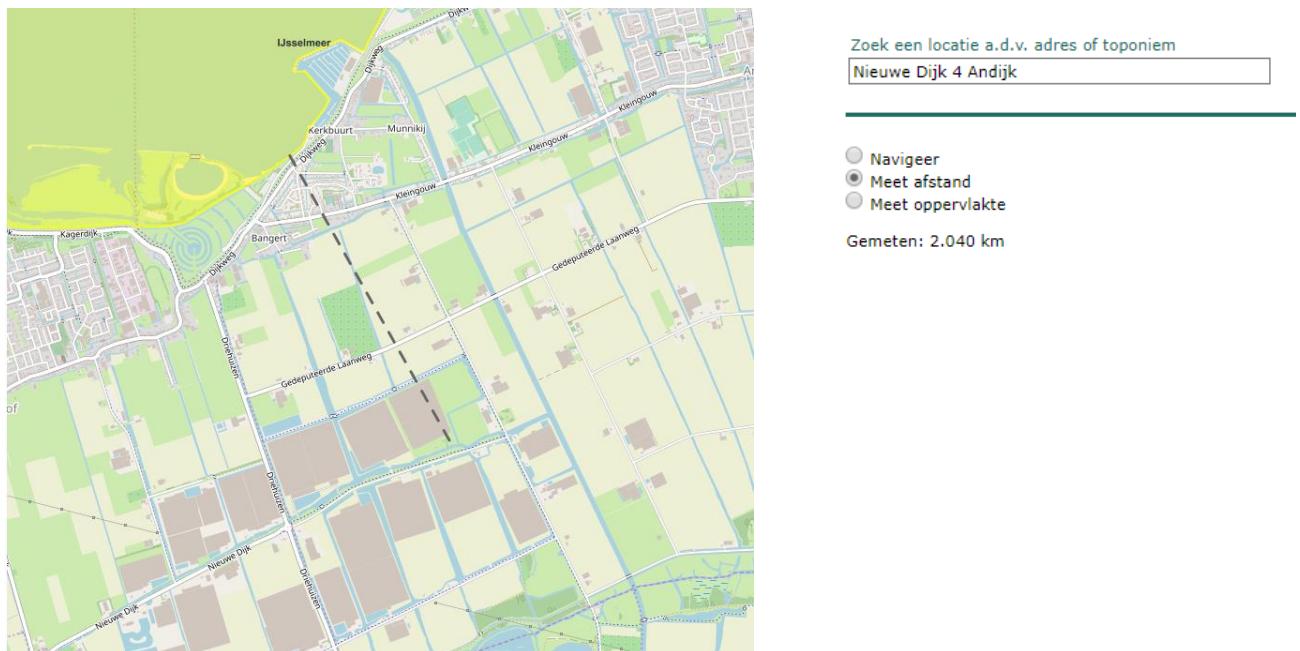
Figuur 43. Uitkomst stap 1 voor Andijk gebaseerd op SodM raamwerk.

Uit de analyse die in de Quick Scan is beschreven (*Figuur 41, Tabel 20, Tabel 21*), volgt dat het project Andijk in de klasse laag “seismicity potential” valt (*Figuur 42*) en er derhalve geen Locatie specifiek Seismisch gevaar analyse (Location specific Seismic Hazard Assessment (SHA)) en Locatie specifiek Seismisch Risico Analyse (Location specific Seismic Risk Assessment (SRA)) uitgevoerd hoeft te worden.

6.7. Gebiedsbescherming en nadelige gevolgen

Gebiedsbescherming en nadelige effecten

Gebieden die in de wetgeving van de lidstaten zijn aangeduid of door die wetgeving worden beschermd zijn speciale beschermingszones en zijn door de lidstaten aangewezen krachtens Richtlijn 79/409/EEG (Vogelrichtlijn) en Richtlijn 92/43/EEG (Habitatrichtlijn). Gebieden die vallen onder beide genoemde richtlijnen moeten uitgroeien tot een Europees netwerk van natuurgebieden. Dit netwerk is het Natura 2000 netwerk. Het IJsselmeer is het meest nabij gelegen Natura 2000 gebied op circa 2 km afstand, zie *Figuur 44*.



Figuur 44. Kleinste afstand van aardwarmte locatie tot het IJsselmeer als Natura 2000 gebied.

Andere gebieden met deze status, zoals de Waddenzee, liggen op grotere afstand zodat een eventueel negatieve invloed van de activiteiten op voorhand is uit te sluiten.

In *Figuur 45* is in een kaart de contouren van het aangevraagde gebied in de winningsvergunning in een kaart te zetten in relatie tot kwetsbare gebieden.

In onderstaande figuur is dit in een kaartlaag met natuurbeheerplannen weergegeven. In deze kaart (Bron Portaal Kaart en Data, provincie Noord Holland, kaartlaag Natuurbeheerplannen) zijn de gebieden in het natuurnetwerk (lichtgroen) en natura 2000 (blauw is IJsselmeer) weergegeven. De contouren van het winningsgebied zijn aangeduid met blauwe lijn en de locatie zelf als gele stip.



Figuur 45. De contouren van het aangevraagde gebied in de winningsvergunning in een kaart in relatie tot kwetsbare gebieden

Natuurnetwerk Nederland (NNN)

Het Natuurnetwerk Nederland is het Nederlands netwerk van bestaande en nieuw aan te leggen natuurgebieden. Tot het netwerk behoren o.a. de Natura 2000 gebieden (zoals het IJsselmeer), nationaal (natuur)parken en gebieden van de provinciale ecologische Hoofdstructuur c.q. provinciale ecologische verbindingszones.

Voor elk Natura 2000-gebied zijn instandhoudingsdoelstellingen geformuleerd voor alle beschermde soorten en habitattypen die daar in niet-verwaarloosbare hoeveelheden aanwezig zijn. Voor elk Natura 2000-gebied moet een beheerplan worden opgesteld. In die beheerplannen worden de instandhoudingsdoelstellingen uitgewerkt in ruimte en tijd.

De instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd in termen van behoud of verbetering van omvang en/of kwaliteit van bepaalde habitattypen en behoud of uitbreiding van kwaliteit leefgebied en draagkracht voor bepaalde aantalen van met naam genoemde soorten. In het beheerplan worden de instandhoudingsdoelstellingen beschreven per ruimtelijke eenheid. Binnen het IJsselmeer gaat het om: open water, ondiep water, oeverzone, kale of schaars begroeide gronden, moeras en nat grasland. Voor de verschillende ruimtelijke eenheden wordt beschreven wat de huidige situatie is van soorten en habitattypen (verspreiding, belang van de ruimtelijke eenheid, aantalen en trends). Daarnaast wordt benoemd wat de beoogde situatie is voor deze soorten en

habitattypen om hun leefgebieden en het natuurlijke habitat in een gunstige staat van instandhouding te behouden of herstellen. Vervolgens worden de belangrijkste ecologische vereisten benoemd van de soorten en habitattypen en wordt aangegeven of er zich knelpunten voordoen ten aanzien van de ecologische vereisten

Naast het IJsselmeer op ongeveer 2 km bevindt zich op meer dan 0,8 km afstand ten zuiden van de locatie een ecologische verbindingszone. Dit is een te behouden landschapslint in het hart van het glastuinbouwgebied met waterlopen voor de afwatering (en waterberging) van dit deel van West Friesland. De waterlopen Kadijk, Het Vlakje en de plas Lutjebroekerweel (de Weelen) en de daarbij behorende groenstructuur zijn onderdelen van deze ecologische verbindingszone. Het is een complex van waterlopen, dijkdoorbraken en polders die zijn gespaard bij de ruilverkaveling. Combinatie van open water, riet en ruigte, spontaan en aangeplant bos en vochtig en kruidenrijk grasland. Het gebied De Weelen is een overblijfsel van het oorspronkelijke cultuurlandschap van het Grootslag, zoals dit er uitzag voordat het gebied in het kader van de ruilverkaveling werd heringericht. Door middel van een hoog waterpeil en een aangepast beheer van de gras- en rietlanden wordt getracht de ecologische en landschappelijke waarden van het gebied te behouden en waar mogelijk te versterken. De beoogde aardwarmtelocatie ligt dus op aanzienlijke afstand van dit gebied en bij de inrichting van het glastuinbouwgebied ten noorden en zuiden van deze ecologische verbindingszone is rekening gehouden met de bedrijvigheid in het gebied.

De aardwarmtewinning heeft door zijn karakter en afstand tot het IJsselmeer geen nadelige effecten op bovengenoemde instandhoudingsdoelstellingen.

Drinkwaterwinning en grondwaterbescherming:

Het project ligt niet in een gebied dat op basis van de provinciale milieuvverordening Noord-Holland is aangewezen als grondwaterbeschermingsgebied. De drinkwaterwinning in dit deel van Nederland maakt gebruik van oppervlaktewater (uit het IJsselmeer).

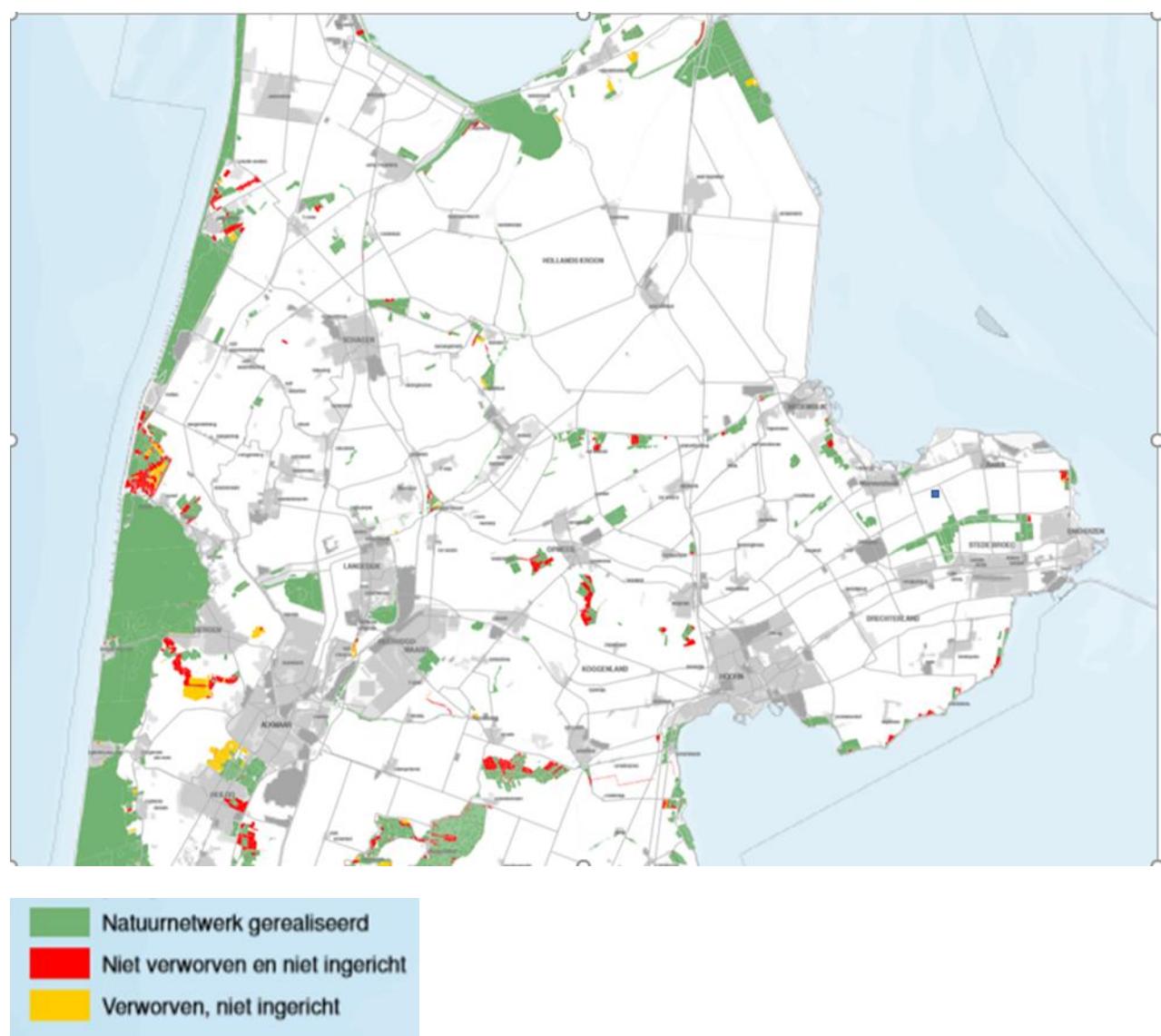
Er bevinden zich geen grondwaterbeschermingsgebieden in de omgeving van de werklocatie ECW Geo Andijk BV voor de winning van drinkwater of anderszins. Er wordt op de glastuinbouwlocatie geen grondwater gebruikt voor de productie van drinkwater of anderszins water waaraan hoge kwaliteitseisen worden gesteld. Wel wordt voor suppletie van gietwaterbereiding grondwater ontrokken, maar de aardwarmteputten zijn geen belemmering voor dit gebruik van de bodem. Zoals eerder in dit document vermeld, wordt in de verbuizing voor de put een conductor aangebracht door de scheidende kleilagen van de bovenste watervoerende pakketten. Samen met de andere gecementeerde verbuizing wordt het bodemrisico voor de leeflaag daarmee beperkt.

De N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland (kortweg PWN) is een waterleidingbedrijf in de Nederlandse provincie Noord-Holland. Het bedrijf produceert drinkwater voor bijna 800.000 aansluitingen in de provincie Noord-Holland en beheert het waterleidingnet. Daarnaast beheert PWN duingebieden in Noord-Holland. De drinkwatervoorziening in Noord-Holland is in verschillende gebieden onderverdeeld. In het oostelijk deel boven het Noordzeekanaal wordt water dat in Andijk uit het IJsselmeer wordt gehaald, direct gezuiverd tot drinkwater.

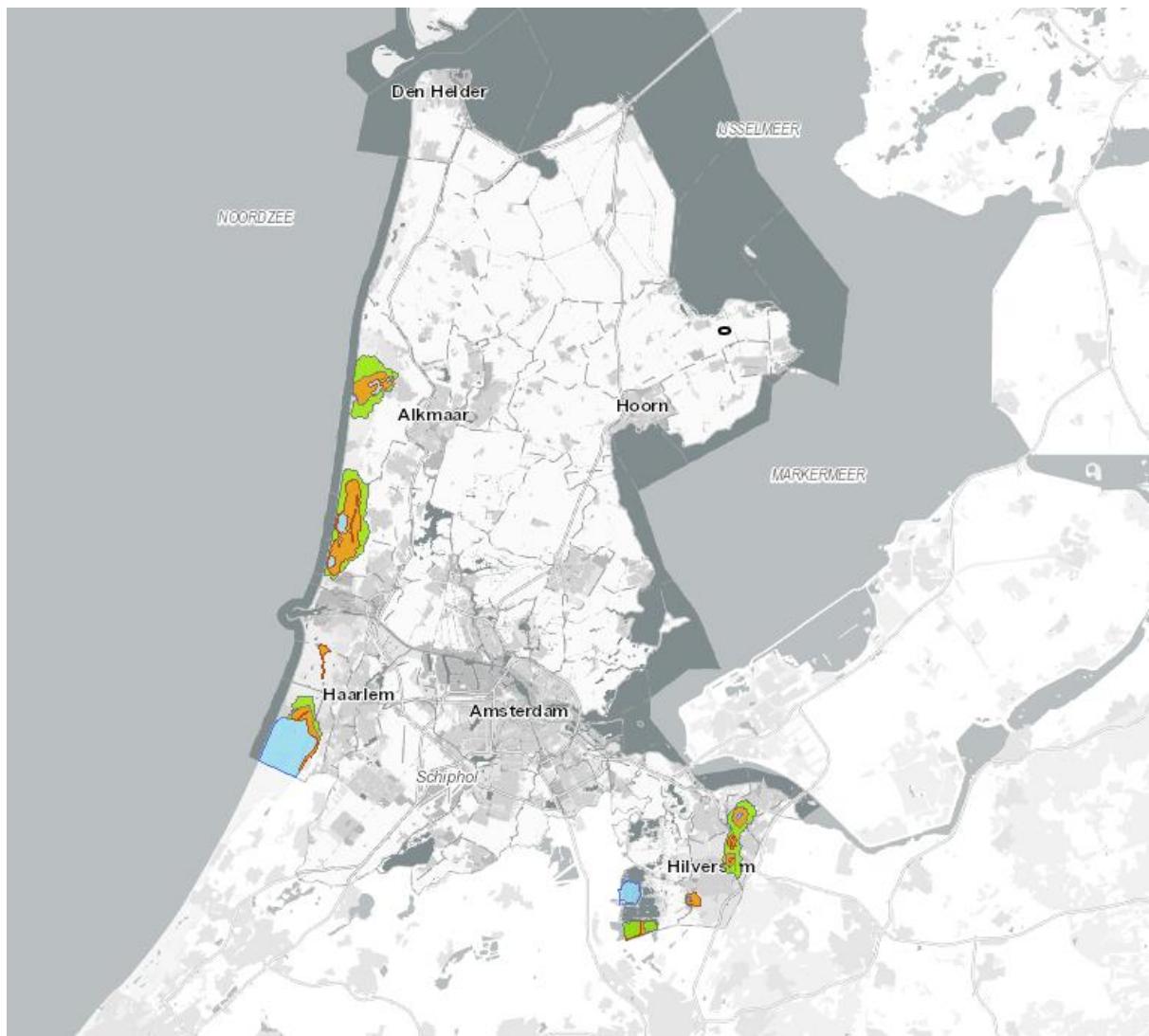
Voor het westelijk deel van Noord-Holland gebruikt men oppervlaktewater dat gedeeltelijk afkomstig is uit de Lek en gedeeltelijk uit het IJsselmeer. Dit water wordt bij Andijk en Nieuwegein opgepompt. Het wordt voorgezuiverd en via pijpleidingen naar de duinen bij Castricum vervoerd. Daar wordt een deel in de Waterfabriek Heemskerk door membraanfiltratie ontdaan van micro-organismen en zouten. Hier worden, onder andere resten van bestrijdings- en geneesmiddelen, afgebroken om te voorkomen dat het duin met deze stoffen belast wordt. De rest van het voorgezuiverde water wordt in de duinen geïnfiltreerd. Het in de duinen geïnfiltreerde water wordt weer opgepompt en in de productiebedrijven Bergen en Mensink nagezuiverd. Daarna wordt het

gemengd met het water uit Heemskerk, en kan het als drinkwater aan de consument worden geleverd. PWN heeft ruim 7300 hectare natuurerreinen onder beheer. Een groot deel hiervan (bijna 5300 hectare) ligt in het Noord-Hollands Duinreservaat tussen Bergen en Zandvoort. Het gebied ten zuiden van het Noordzeekanaal hoort bij het Nationaal Park Zuid-Kennemerland dat mede door PWN wordt beheerd. Dit deel is bijna 2000 hectare groot.

In is de locatie van het geothermische installatie (blauwe punt) met hierop de nabij gelegen natuurgebieden en drinkwatergebieden opgenomen. In paragraaf 6.1 is aangegeven dat de verwachte bodemdaling/stijging naar verwachting niet of nauwelijks meetbaar en een effect aan maaiveld naar verwachting niet significant is, in die zin dat het zou kunnen resulteren in schade voor gebouwen, infrastructuur, of nadelige gevolgen voor natuur en milieu. Hiermee is ook de veiligheid voor omwonenden niet in het geding. In *Figuur 47* is een Kaart met gebieden in gebruik door PWN t.b.v. de drinkwaterbereiding weergegeven.



Figuur 46. Kaart met natuurgebieden in regio rond Andijk.



Figuur 47. Kaart met gebieden in gebruik door PWN t.b.v. drinkwaterbereiding (zwarte cirkel is AWI Andijk).

Referenties

- SodM (2016) Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning, tijdelijke leidraad voor adressering, versie 1.2.
www.kasalsenergiebron.nl.
- RGD (1993) Sheet IV: Texel-Purmerend, Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands.
www.nlog.nl.
- Fokker, P.A. (2015) Surface Movement Induced by a Geothermal Well Doublet, World Geothermal Congress 2015.
- Biasch, S., Koch, C., Stang, H., Pittens, B., Drijver, B., Buik, N. (2016) Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1 - Technical Report. V0.1 – Technical Report.
- Duin, E.J.T., Doornenbal, J.C., Rijkers, R.H.B., Verbeek, J.W., Wong, T.E. (2006) Subsurface Structure of the Nehterlands – results of recent onshore and offshore mapping. Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw, **84-4**, pp 245-276.
- Geluk, M., Dusar, M. de Vos, W. (2007) Pre-Silesian In: Geology of the Netherlands, Ed. Th.E. Wong & J. de Jager, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, pp 27-42.
- Mechelse, E. (2017) The in-situ stress field in the Netherlands: Regional trends, local deviations and an analysis of the stress regimes in the northeast of the Netherlands. MSc thesis TU Delft.
www.dinoloket.nl.
- TNO (2012) Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Integratie van deelstudies, TNO/KNMI rapport R11139.
- SodM (2013) Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning – versie 2, 23 november 2013.

Verklarende woordenlijst

- Aquifer: Watervoerende bodemlaag.
- Compactie: Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
- Compressibiliteit: Samendrukbaarheid
- Depletie: Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente
- ECW: Energie Combinatie Wieringermeer
- EZK: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- GPS: Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
- KNMI: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- MER of m.e.r.: Milieueffect rapport of milieu effect rapportage
- Mw, Mb, Mr: Mijnbouwwet, Mijnbouwbesluit, Mijnbouwregeling
- Permeabiliteit: De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat, heet het materiaal voor die stof impermeabel.
- Porositeit: Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.
- Reservoir: voor aardwarmtewinning; de watervoerende bodemlaag, de aquifer waaruit warm water wordt opgepompt.
- RD coördinaat: Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeet (RD).
- SodM: Staatstoezicht op de Mijnen
- SHA: Seismische Hazard Analyse
- SRA: Seismische Risico Analyse
- TCBB: Technische Commissie Bodembeweging
- TNO: Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
- TVD: True Vertical Depth

Bijlagen

Bijlage 1. Voorbeeld Lithografische opbouw put ADK-GT-01-S1

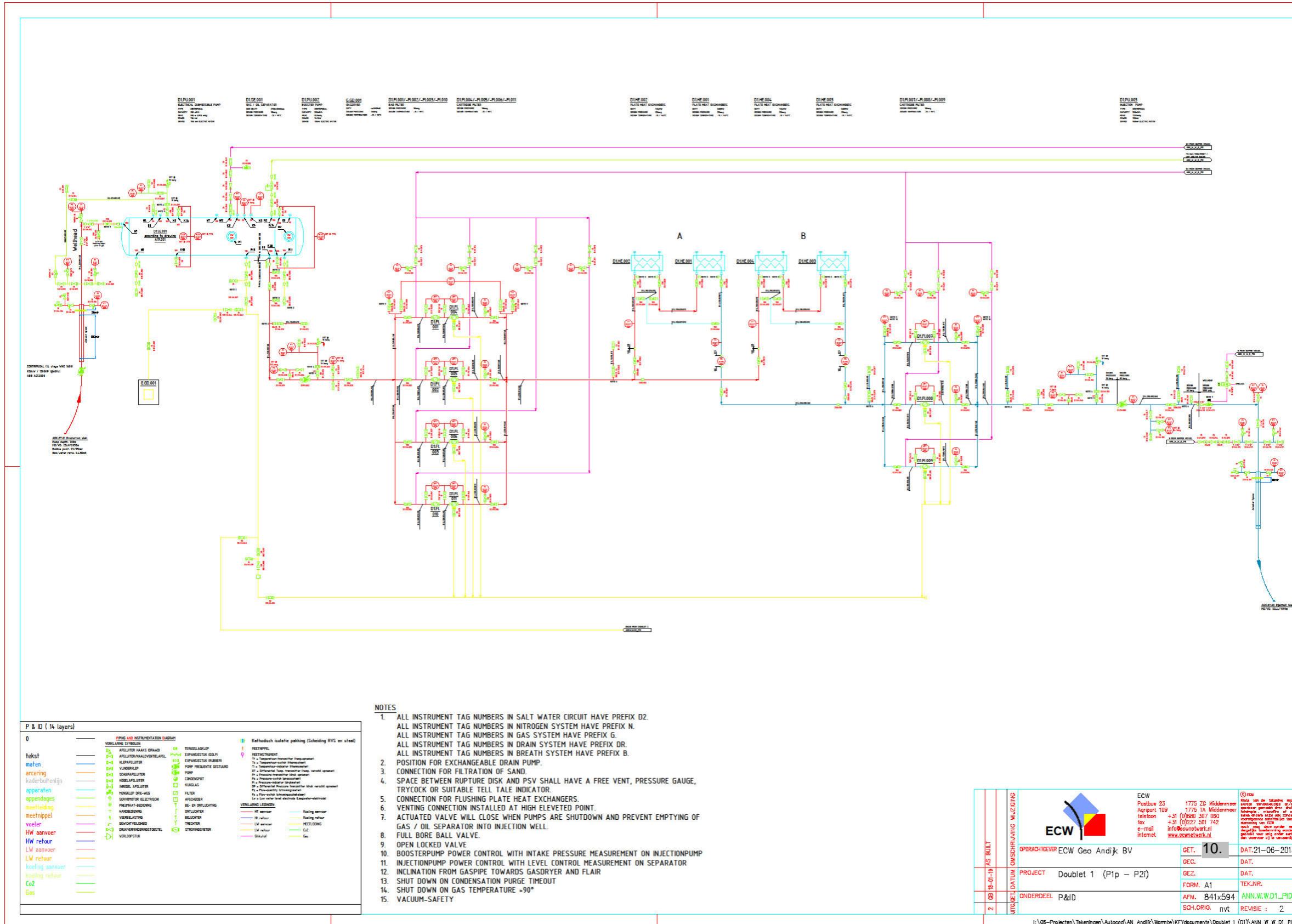
Lithostratigraphic Column ADK-GT-01-S1							(metres)		Expected		Actual	
Era	Group	Period	Formation	Epoch (Age)	Member	Lithology definition	TV-RT	AH-RT	TV-RT	AH-RT		
CENozoicum	Upper North Sea NU	QUATERNARY	Diverse ¹	Holocene-Pleistocene		Diverse continental deposits, mostly fluvial sands and silts intercalated by some thin layers of grey or greenish-grey, silty clays.	9	9	9	9		
			Maastricht NMS	Early Pleistocene		Deposits of coastal sands, very fine to medium coarse, calcareous, shell and wood bearing, mica rich. Silty to sandy, grey to dark grey clay containing shells and mica.	285	285	-	-		
		Oosterhout NUOT	Pliocene			Succession of sands, sandy clays, and grey and greenish clays. The lower part of the formation often consists of sands that are extremely rich in shells and bryozoans.	490	490	480	480		
		Breda NUBA				Sequence of marine, glauconitic sands, sandy clays and clays. In places a glauconite-rich layer occurs at the base.	740	745	743	750		
		Rupel NMRP	Oligocene (Rupelian - Early Chattian)	Rupel Clay NMRPC		Clays that become more silty towards base and top. It is rich in pyrite, contains hardly any glauconites and calcium carbonate tends to be concentrated in the septaria layers.	895	904	834,5	844		
	Middle North Sea NM	TERTIARY	Konings-Oligocene (Prabonian - Rupelian)	Vlaamse NMRPV		Silty to clayey sands with a low glauconite content, flint pebbles or phosphrite nodules commonly occur at the base.	915	925	869,5	880		
			Dongen NLUF	Middle and Late Eocene (Lutetian to Barremian)	Aasse NLUFB	Dark greenish-grey and blue-grey, plastic clays. The unit locally shows indications of bioturbation, may be glauconitic and somewhat micaceous. Notably the upper part of the member is sandy.	920	930	877	887,5		
			Early to Middle Eocene (Ypresian to Lutetian)	Brussels Sand NLUFG		Succession of green-grey, glauconitic, very fine-grained sand with some hard, calcareous sandstone layers. Towards the base of the unit the clay content increases, and the CaCO ₃ content and amount of glauconite decreases.	960	971	907,5	919		
			Early Eocene (Ypresian)	Ieper NLUFI		A soft, tough and sticky to hardened and friable clay. The lower part is characterised by its brown-grey colour, tending to beige or red-brown locally. The upper two-thirds have a green-grey colour.	1025	1039	984,5	998,5		
				Basal Dongen Tuffite NLUFT		Tuffaceous clays, blue to violet-grey in colour, alternating with dark-grey and red-brown clays.	1205	1240	1170,5	1201,5		
	Lower North Sea NL		Landen NLUF	Late Paleocene (Thanetian)	Landen Clay NLUFC	Generally dark-green, hard, flaky clay, somewhat silty, containing glauconite, pyrite and mica. The basal part of the member can be marly and of a lighter colour.	1220	1257	1174,5	1205,5		
			Ommelanden OKGR	Upper Cretaceous (Turonian to Maastrichtian)		Succession of white, yellowish-white or light-grey, fine grained limestones, in places argillaceous. Layers of chert nodules can be very common over thick intervals. Along the basin edge coarse, bioclastic limestones and tongues of sandstone occur.	1250	1294	1235,5	1278,5 13 3/8" section TD at 1331m		
			Texel OKTX		Plenus Marl OKTP	Dark-grey, partly black, calcareous, laminated claystone. Its thickness generally does not exceed a couple of metres.	1433	1532	1450	1555		
			Holland OGL	Lower Cretaceous (Late Albian)	Pleistocene Marl OKTM	White to light-grey (locally pinkish) limestones, marls and marly chalks.	1435	1534	1452,5	1558		
					Upper Holland Marl OKGLU	Light-grey and red-brown marls, characterised by a carbonate content which gradually increases towards the top. (Benthomimes)	1557	1695	1545,5	1680,5		
				Early Aptian	Middle Holland Claystone OKGLM	Dark grey calcareous claystone with a distinctly lower lime content than the under- and overlying members.	1741	1937	1727	1919,5		
	Rijnland RN	CRETACEOUS	Vlieland OKNC	Valangian to Barremian (Early Aptian)	Lower Holland Marl OKGLL	Generally consists of grey and red-brown marl or calcareous, fissile claystones, frequently with intercalated bituminous claystone beds.	1779	1987	1757,5	1959,5		
						Dark brownish-grey to grey claystone. Mica and very fine lignitic matter are common. Generally, the claystones are only very slightly calcareous. (Belemnites+aragonite/calcite)	1785	1995	1760,5	1963,5		
PALEOZOICUM	Zechstein ZC	PERMIAN	Zechstein 1 OKZ1	Thuringian	Z1 Anhydrite OKZ1W	A massive anhydrite body which attains a huge thickness in the sub-basins. Dolomite stringers occur frequently within the unit.	1819	2040	1811	2030		
					Z1 Lower Claystone OKZ1G	A grey to brown claystone or marl, in places dolomitic or anhydritic.	-	-	1871,5	2108		
					Coppershale OKZ1K	A microlaminated, brownish-black bituminous shale with a thickness of 0,5 to 1 m.	1872	2110	1873,5	2111 9 5/8" casing show @ 2111m		
	Upper Rotliegend RO	Slochteren OKSL	Lower Permian (Sekonian)			Sequence of usually pink to pale red-brown, occasionally yellow or grey, sandstones with subordinate amounts of intercalated dark red, red-brown or green-grey silty claystones. Locally a conglomeratic base is present.	1874	2112	1877,5	2115,5		
Limburg DC	CARBONATE PERIOD	Rurlo OKCR	Middle Carboniferous (Late Westphalian A - Early Westphalian B)			A succession of dark to light grey, red and variegated clay- and siltstones, fine to medium grained sandstones, and thick-bedded, coarse grained sandstones. Coal and lignite beds, dispersed lignitic matter, siderite spherulites and concretions are common.	2059	2356	2051,5	2344		

RT-NAP: 6,73m; NAP-GL: 2,27m; RT-GL: 9m

TD(22-12-2017)

2074 2376 2062,5 2358

Bijlage 2. P&ID van doublet 1



Bijlage 3. Historie ADK doublet 1+2

PROJECT DATA:																			
Mining Company:		ECW Geo Andijk B.V.																	
Concipiant of Report:		10.2.e																	
Telephone number(s):																			
Serial Number:		3																	
Reporting Week:		7																	
Production Well:		ADK-GT-01																	
Injection Well:		ADK-GT-02																	
WELL TEST DATA:																			
Cumulative Volumes:																			
Day: [#]	Date: [-]	Water [m3]	Gas [Nm3]	Olie [Nm3]	Avg. Rate [m3/hr]	Test Time: [hours]	Injector [bar]	production [temp]	Avg. Surf. Pres. Wells:	Injection [temp]									
ma	11/02/2019	3225	1290	0	215	15	10	79		27.3									
di	12/02/2019	5760	2304	0	240	24	11	79.8		27.3									
wo	13/02/2019	6240	2496	0	260	24	11	79.8		27.3									
do	14/02/2019	6360	2544	0	265	24	11.5	79.8		27.3									
vr	15/02/2019	5720	2288	0	260	22	11.5	79.8		27.3									
za	16/02/2019	5880	2352	0	245	24	10.75	79.8		27.3									
zo	17/02/2019	5880	2352	0	245	24	10.75	79.8		27.3									
CUMULATIVES:																			
Weekly Total:		39065	13626	0	249	157													
Test Total:		75773	30309.2	0															

PROJECT DATA:

Mining Company:	ECW Geo Andijk B.V.
Concipiant of Report:	10.2.e
Telephone number(s):	
Serial Number:	3
Reporting Week:	5
Production Well:	ADK-GT-03
Injection Well:	ADK-GT-04

WELL TEST DATA:

Day: [#]	Date: [-]	Cumulative Volumes:					Avg. Surf. Pres. Wells:		
		Water [m3]	Gas [Nm3]	Olie [Nm3]	Avg. Rate [m3/hr]	Test Time: [hours]	Injector [bar]	production [temp]	Injection [temp]
ma	11/02/2019	8232	3291.8	0	343	24	42.5	80.75	27.5
di	12/02/2019	8208	3283.2	0	342	24	42.5	80.75	28
wo	13/02/2019	8208	3283.2	0	342	24	43	80.75	27.5
do	14/02/2019	8112	3244.8	0	338	24	42	80.75	27.5
vr	15/02/2019	7436	2974.4	0	338	22	42	80.75	27.5
za	16/02/2019	8112	3244.8	0	338	24	42	80.75	27.5
zo	17/02/2019	8112	3244.8	0	338	24	42	80.75	27.5

CUMULATIVES:

Weekly Total:	36420	22568	0	340	166
Test Total:	131097	52438.8	0		