

Winningsplan aardwarmte

PNA-GT-03 en PNA-GT-04

Opgesteld in het kader van de Mijnbouwwet en het Mijnbouwbesluit



Oktober 2020 v3

Duijvestijn Energie BV

[Redacted]

Overgauwseweg 46a

2641 NG Pijnacker

Email: [Redacted]@duijvestijntomaten.nl

Tel: [Redacted]

Inhoud

1.	Inleiding.....	4
1.1	Wettelijk kader.....	5
1.2	Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu	6
1.3	Procedure en Publiekscommunicatie	6
2.	Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem	7
2.1	Locatie van het geothermisch systeem	7
2.2	Beschrijving van geothermisch systeem	9
3.	Beschikbare en gebruikte putten en seismische data	10
3.1	Keuze van de referentieputten en putinformatie.....	10
3.2	Seismische gegevens.....	10
3.3	Coördinaatsysteem	12
3.4	Beschrijving van de putten.....	12
3.5	Putintegriteit	17
3.6	Aquifer karakteristiek.....	18
3.6	Formatiewater karakteristiek	27
4.	Wijze van winning	28
4.1	Beschrijving winning	28
4.1.1	Operationele begrenzingen	29
4.2	Duur van winning	34
4.3	Toekomstige ontwikkeling	34
4.4	Interferentie.....	34
5.	Bodembeweging	37
5.1	Bodemdaling	37
5.2	Bodemtrilling.....	39
5.2.1	Eerste set vragen beslissingsboom	41
5.2.2	QuickScan score tabel	42
5.2.3	Tweede set vragen beslissingsboom.....	45
	Referenties	46
	Bijlage 1 berekening maximale injectiedruk.....	47
	Bijlage 2 Maximale Injectiedruk PNA-GT-04 - Inclusief correctie dynamische weerstand.....	49

Formulier aanvraag instemming winningsplan

ex artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw)

Elektronisch in te dienen bij:

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Directie Warmte en Ondergrond

Mijnbouwaanvragen@minez.nl

Artikel	Onderwerp	Beschrijving
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming met het winningsplan voor Pijnacker-Nootdorp 5	☐ een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 3 zeemijlszone ☒ een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 3 zeemijl
	Soort plan	☐ Nieuwe aanvraag ☐ Wijziging
	Algemene gegevens	
	<i>Naam aanvrager (= uitvoerder)</i>	Duijvestijn Energie BV
	<i>Contactpersoon</i>	[REDACTED]
	<i>Postadres</i>	Overgawseweg 46A
	<i>Telefoonnummer</i>	[REDACTED]
	<i>E-mail</i>	[REDACTED]@duijvestijntomaten.nl
Mw 34 lid 2	Indiener	☒ is houder van de vergunning ☐ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	Winningsvergunninggebied(en) Ligging Gemeente en Provincie	☒ winningsvergunning(en) - Pijnacker-Nootdorp 5 (kenmerk: DGETM-EM/13190168) - Pijnacker Nootdorp - Zuid Holland
	Soort (delf)stof	☐ Koolwaterstoffen ☐ Steenzout ☒ Anders, namelijk aardwarmte
	Voorkomens (delf)stof	Gebied tussen "Vlieland Kleisteen" en "Altena groep".
Mr 1.2.1 lid 3	Bestaande of nieuwe winning	☐ winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
Mw 34 lid 7	Coördinatie vergunningen	☐ ja, te weten met: ☐ Omgevingsvergunning ☐ Anders, namelijk: ☒ nee (n.v.t.)
Ondertekening: [REDACTED] Naam: [REDACTED] Functie: DGA		Datum: 27-2-2019 Plaats: Pijnacker

1. Inleiding

Dit winningsplan is opgesteld om te voldoen aan de verplichtingen vanuit artikel 34, eerste lid, van de Mijnbouwwet. Het winningsplan begint met een algemene beschrijving van het geothermisch systeem van Duijvestijn Energie BV in hoofdstuk 2. Daarna volgt een parameterisatie van de aquifer in hoofdstuk 3. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een beschrijving gegeven van de winningsinstallatie aan de productie kant van de warmtewisselaar. Daarnaast worden gegevens verzameld over het debiet, de injectiedruk en de interferentie met andere mijnbouwactiviteiten. In vervolg hierop wordt informatie gegeven over de operationele condities en het resulterende warmteproductieprofiel. Hoofdstuk 5 is gewijd aan de eventuele consequenties van aardwarmtewinning in termen van bodembewegingen: bodemdaling en bodemtrilling.

De definitie van een geothermisch systeem binnen dit winningsplan is:

Het geheel aan geologische en technische componenten, tezamen met de besturings- en monitoringscomponenten, waardoor het warme productiewater en vervolgens het koude injectiewater stroomt waarbij het geheel als een gesloten systeem acteert, teneinde energie/warmte uit deze waterstroom te extraheren.

1.1 Wettelijk kader

Het winnen van delfstoffen en aardwarmte vanuit een voorkomen geschiedt ex artikel 34, eerste lid, van de Mijnbouwwet overeenkomstig een winningsplan, dat bij het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat wordt ingediend. Daarbij hoort de volgende omschrijving:

De vergunninghouder wordt verplicht een winningsplan op te stellen. In dat plan zal hij moeten aangeven op welke wijze en in welk tempo hij de aardwarmte wil winnen. Dit winningsplan is van belang om te kunnen bezien of de hoeveelheid te winnen aardwarmte, de wijze en het tempo van winning in lijn zijn met efficiënt planmatig beheer. Tevens kan het plan worden bezien in het licht van een zorgvuldige winning met het oog op bodembewegingseffecten: bodemdaling en bodemtrilling.

Het winningsplan betreft enkel die elementen die onder de Mijnbouwwet vallen en die te maken hebben met de ondergrondse winning en de gevolgen van het winnen van aardwarmte, zoals beschreven in de Mijnbouwwet, artikel 35. Het bovengrondse systeem valt vergunningtechnisch onder de WABO danwel het BARMM. Voor de inhoud van een winningsplan voor delfstoffen wordt nadere invulling van de artikelen 34-38 Mijnbouwwet gegeven in de artikelen 24 en 25 van het Mijnbouwbesluit (Mbb).

1.2 Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu

Duijvestijn Energie BV beschikt over een VGM-zorgstelsel vanuit DAGO. Dit Zorgstelsel is een formeel stelsel dat ontwikkeld is om Veiligheid, Gezondheid en Milieu te managen binnen de organisatie in lijn met het overkoepelende beleid en doelstellingen. Het VGM beleid en de doelstellingen zijn terug te vinden in het VGM-zorgplan van Duijvestijn Energie BV. Het VGM-zorgstelsel volgt o.a. de onderstaande veiligheid-, gezondheid- en milieu kwaliteitsnormen:

- ISO 9001:2015.
- ISO 14001:2015.
- ISO 45001:2018.

De uitvoering van de procedures en instructies vanuit dit VGM-zorgstelsel wordt o.a. gewaarborgd middels werkinstructies, werkplannen en werkvergunningen. Alle VGM-zorg werkzaamheden worden gemonitord middels een Jaarplanning, met bijbehorende actielijst en PVA. Alle VGM-documentatie en bijbehorende risico-inventarisaties en evaluaties worden periodiek geüpdatet. Veiligheids-protocolen en instructies zijn o.a. vastgelegd in een noodplan, explosieveiligheidsdocument en een opstart en gebruik document.

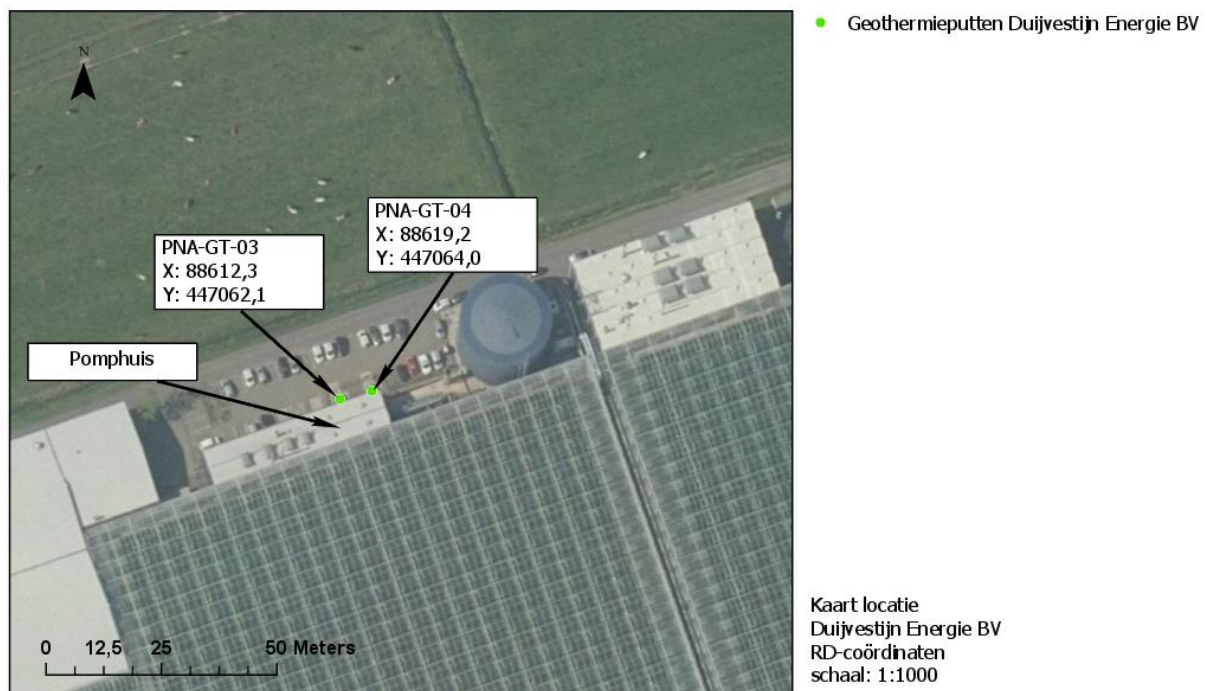
De integriteit van alle assets en de putten wordt gewaarborgd middels een Asset Integrity Management Plan en een Well Integrity Management Plan. Het AIMP en WIMP volgen respectievelijk de normen ISO 55001 en de ISO 16530-2 en zijn onderdeel van het VGM-zorgstelsel. Periodiek worden inspecties uitgevoerd, onderdelen gekeurd en wordt onderhoud gepleegd volgens het AIMP en WIMP. Daarbij wordt extra aandacht besteed aan de elementen die belangrijk zijn voor het voorkomen of mitigeren van incidenten met risico's voor veiligheid, gezondheid en milieu.

Er is periodiek overleg met andere geothermie operators en DAGO om ervaringen, aanbevelingen en best practices te bespreken en te delen. Indien van toepassing of meerwaarde, worden aanbevelingen vanuit DAGO door Duijvestijn Energie BV overgenomen.

1.3 Procedure en Publiekscommunicatie

Duijvestijn Energie BV communiceert proactief met omwonenden en andere stakeholders in de omgeving. Informatie wordt verschaft via de website. Daarnaast worden er regelmatig presentaties gegeven tijdens evenementen en zijn er op aanvraag rondleidingen voor geïnteresseerden.

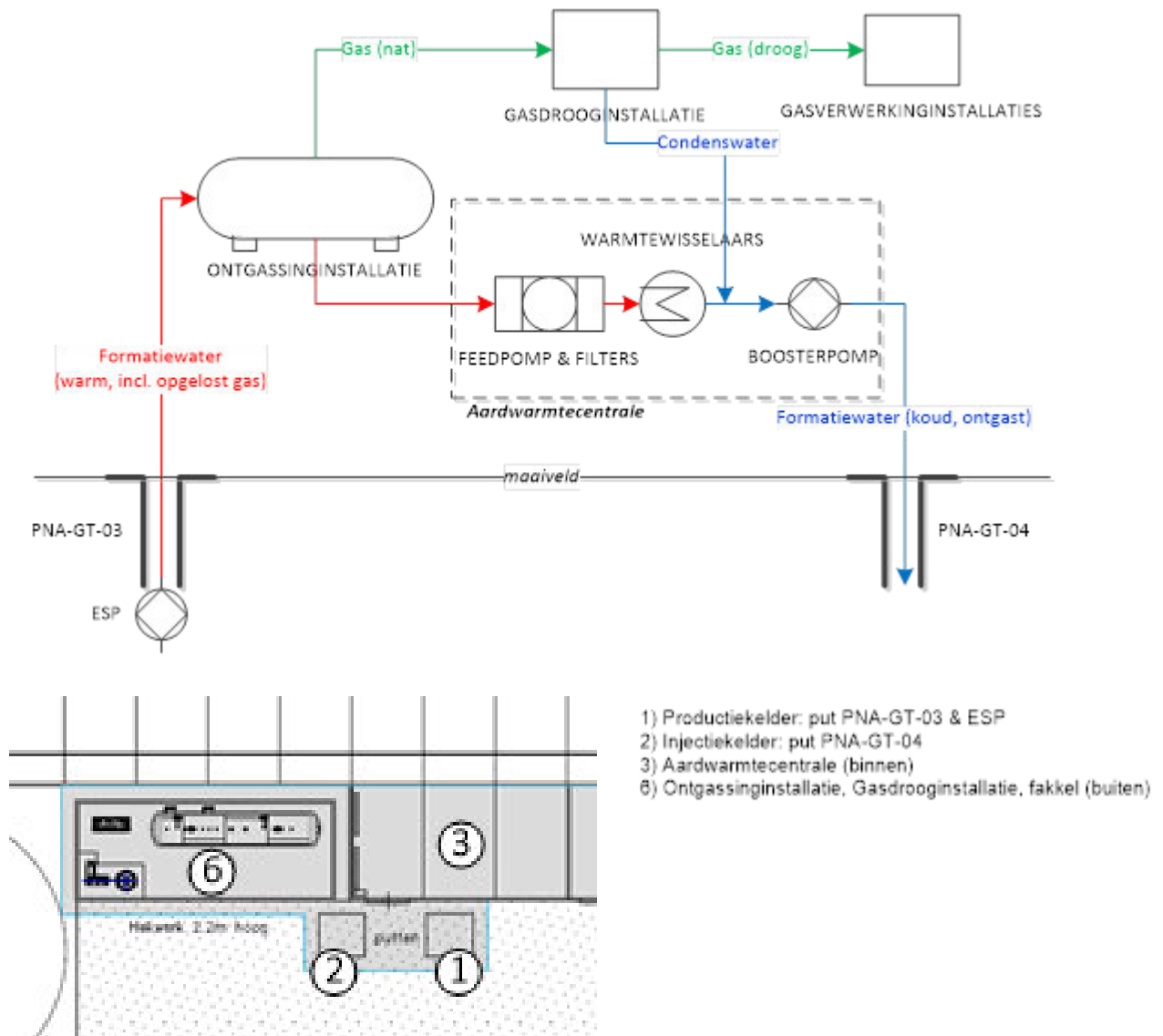
In figuur 2 is op een luchtfoto de ligging van het pomphuis en de geothermieputten weergegeven, inclusief de RD-coördinaten.



Figuur 2: Locatie geothermisch systeem Duijvestijn Energie BV, met de coördinaten van de wellheads

2.2 Beschrijving van geothermisch systeem

De geothermische installatie van Duijvestijn Energie B.V. is schematisch weergegeven in figuur 3 en bestaat in feite uit een productieput en een injectie put met daartussen een ontgassing-, gasdroog- en gasverwerking-installatie, en een aardwarmtecentrale waar warmte wordt onttrokken van het geproduceerde water. Via pijpleidingen zijn al deze faciliteiten met elkaar verbonden. Via de warmtewisselaars wordt de warmte overgedragen aan een transportnet voor levering aan de gebruikerszijde.



Figuur 1: Schematische weergave en plattegrond van de mijnbouwinstallatie

3. Beschikbare en gebruikte putten en seismische data

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke boringen en seismische data zijn gebruikt voor de gedetailleerde evaluatie van de ondergrond. Voor meer informatie wordt verwezen naar het geologisch onderzoek van Duijvestijn Energie BV uit 2009, welke is uitgevoerd door Panterra.

3.1 Keuze van de referentieputten en putinformatie

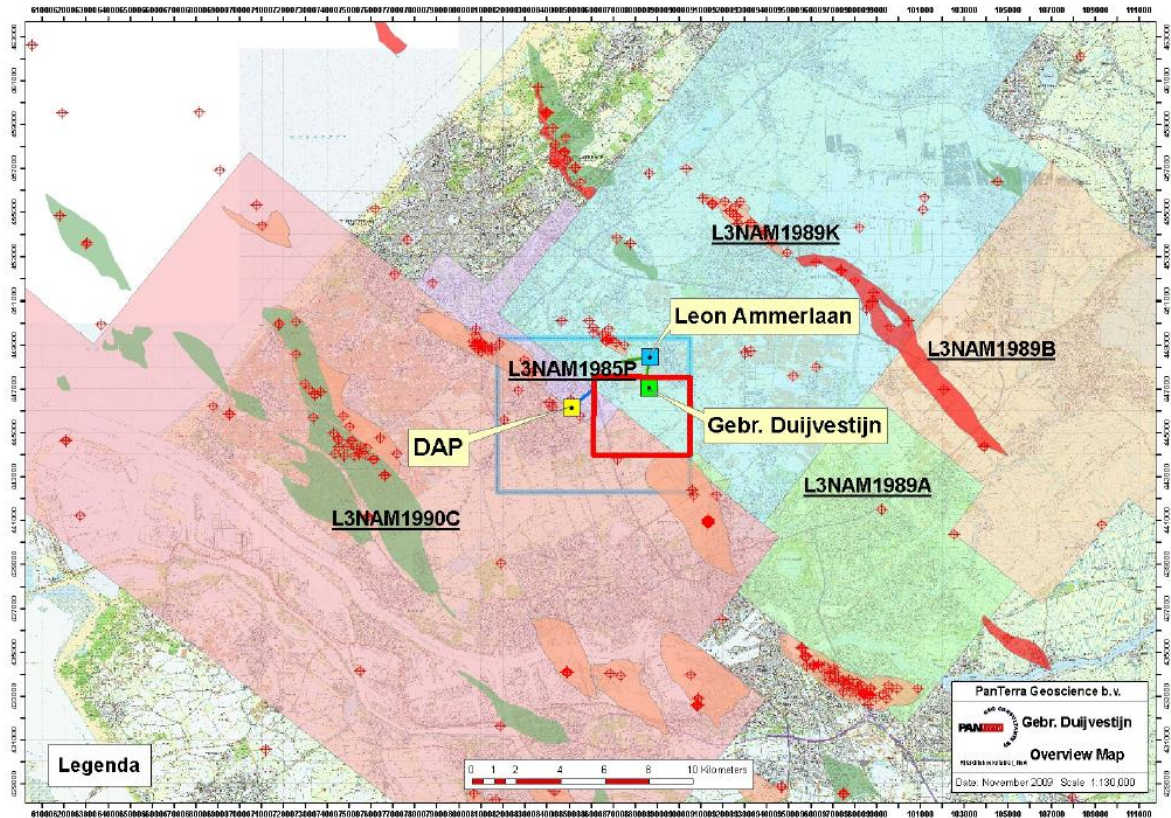
Voor de seismische interpretatie zijn gegevens gebruikt van veel putten in de omgeving van de seismische surveys, waaronder 10 putten met een tijd-diepte relatie. Voor de reservoir-eigenschappen van de Rijswijk zandsteenlaag is gebruikt gemaakt van enkele putten in het Berkel veld. Voor een kernanalyse zijn in totaal 28 boorkernen gebruikt van putten die in de Rijswijk- of Delft zandsteenlagen hebben geboord. Deze gegevens zijn meegenomen in de petrofysische analyse. Voor meer informatie over de offset putten wordt verwezen naar het geologische rapport van Panterra.

3.2 Seismische gegevens

Voor het geologisch model in Petrel is gebruik gemaakt van vijf openbare seismische surveys (L3NAM1985P, L3NAM1989A, L3NAM1989B, L3NAM1989K en L3NAM1990C). Deze zijn verkregen via het DINO-loket van TNO. Alle seismische surveys werden uitgevoerd door de NAM en zijn uitgevoerd in 1985, 1989 en 1990. De polariteit van de vijf seismische surveys is Reverse SEGY. De gegevens zijn verwerkt tot nul fasen. Voor vier van de vijf seismische surveys (L3NAM1989A, L3NAM1989B, L3NAM1989K & L3NAM1990C) was een verschuiving van 25 ms nodig om deze te matchen met de putgegevens. Voor het seismisch onderzoek L3NAM1985P was een verschuiving van 10 ms nodig om deze te matchen met de vier andere surveys. Over het algemeen zijn de seismische surveys van een redelijke kwaliteit, hoewel er delen zijn met een matige resolutie. Voor meer informatie over de seismische surveys wordt verwezen naar het geologische onderzoek van Panterra.

Na de boring is gebleken dat de toppen van de formaties ca. 100 meter dieper liggen dan is voorspelt in het geologisch onderzoek, op basis van de offset putten en de seismische surveys. Daarnaast is tijdens het boren van de putten gebleken dat de formaties ca. 100 meter dieper lagen dan voorspelt. De formaties bevinden zich werkelijk op een diepte van ca. 2000 – 2300m onder het maaiveld.

In figuur 5 is de locatie van de gebruikte seismische gegevens weergegeven op een kaart.



Figuur 5: Overzicht gebruikte gegevens: locatie van putten en gebruikte seismische data. Bron: geologisch onderzoek

3.3 Coördinaatsysteem

Alle kaarten en seismische onderzoeken zijn weergegeven in het RD coördinatenstelsel.

3.4 Beschrijving van de putten

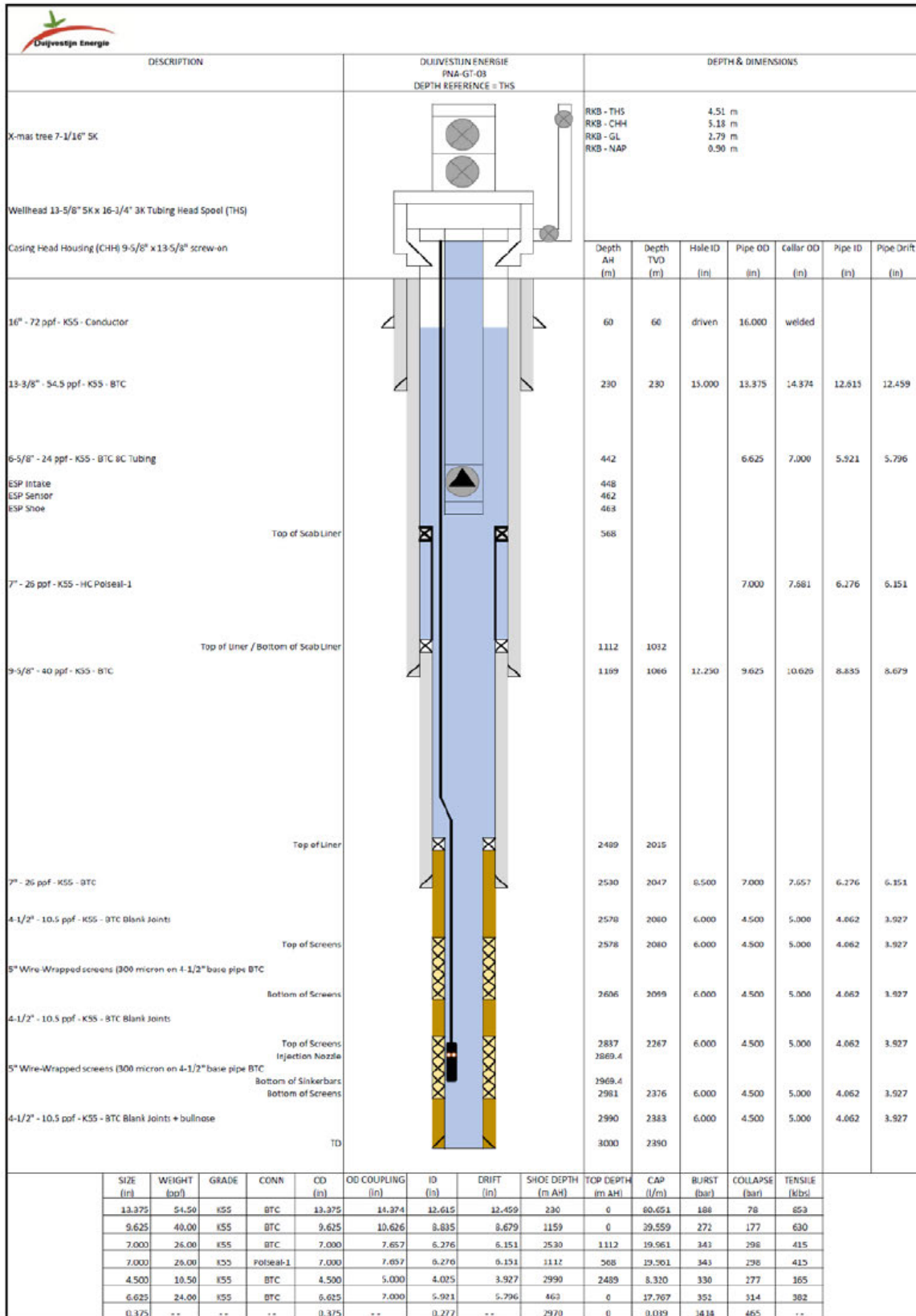
Duijvestijn Energie BV heeft een aardwarmte installatie welke bestaat uit een productieput (PNA-GT-03) en een injectieput (PNA-GT-04). Beide putten werden in 2010 geboord en getest. In oktober 2015 werd een nieuwe ESP geïnstalleerd in de productieput en werden integriteitslogs in beide putten uitgevoerd. Op basis van de resultaten van de logging heeft Duijvestijn Energie BV destijds besloten om de Multi-Finger Caliper (MFC) -log opnieuw uit te voeren in de productieput in 2016. Op basis van de resultaten van de MFC is besloten om een interval van de 9-5/8 " casing in de productieput te voorzien van een scab liner, om de putintegriteit te verbeteren. Deze scab liner is in 2017 geïnstalleerd in de productieput. Daarnaast werd er in de productieput een inhibitor string geïnstalleerd om ter hoogte van de screens inhibitor te kunnen injecteren.

putnaam	PNA-GT-03	PNA-GT-04
Type put	Productie	Injectie
Spuddatum	28-08-2010	20-11-2010
Compleetie datum	15-11-2010	22-01-2011
X (RD) oppervlaktelocatie	88612,3	88619,2
Y (RD) oppervlaktelocatie	447062,1	447064,0
X (RD) einddiepte	87534,0	89310,8
Y (RD) einddiepte	445839,3	445668,8
Einddiepte (m AH)	3005	2957
Eind diepte (mTVD)	2395	2343

Tabel 1: Algemene put informatie. Bron: EOWR

Tabel 2: Verbuizingsschema PNA-GT-03

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD (")	ID (")	Staalsoort
Conductor	0	60	0	60	16		K55
Production tubing	0	442	0		6,625	5,921	K55
Casing 1	0	230	0	230	13,375	12,615	K55
Casing 2	0	1169	0	1066	9,625	8,835	K55
Scab liner	568	1112		1032	7	6,276	K55
Liner 1	1112	2539	1032	2047	7	6,276	K55
Base pipe	2489	3000	2015	2390	4,5	4,062	K55
WW screens	2578	2606	2080	2099	5	4,062	K55
WW screens	2837	2981	2267	2376	5	4,062	K55
Packer	1112		1032				
Packer	2489		2015				
ESP intake	448						



Figuur 6: Schematische put configuratie PNA-GT-03

Tabel 3: Verbuizingsschema PNA-GT-04

Element naam	Top (MD)	Base (MD)	Top (TVD)	Base (TVD)	OD (")	ID (")	Staalsoort
Conductor	0	78	0	78	16		K55
Tubing	0	184	0		6,625	5,921	K55
Casing 1	0	1169	0	1075	9,625	8,835	K55
Liner 1	1115	2313	1036	1898	7	6,276	K55
Base pipe	2250	2957	1872	2343	4,5	4,052	K55
WW screens	2484	2523	2018	2045	5	4,052	K55
WW screens	2776	2930	2219	2326	5	4,052	K55
packer	2250	1872					
packer	1115	1036					

Nr.	Item Description	Duijvestijn PNA-GT-04 Depth reference = GL	Wellhead manufacturer: UZTEL (Romania)										
	Tree 7-1/16" 5K 9-5/8" x 13-5/8" 5K screw-on CHH		Depth	Depth	Hole	Pipe	Collar	Pipe	Pipe				
			m	m	ID	OD	OD	ID	ID				
			tvd	ah	in	in	in	in	in			in	Drift
1	14" K55 56ppf conductor		78	78	driven	14,000	weld						
	6 5/8" 24 ppf K55 BTC SC injection tubing			184		6,625	7,000	5,921	5,796				
		TOL	1036	1115									
2	9 5/8" 40ppf K55 BTC		1075	1169	12 1/4	9,625	10,626	8,835	8,679				
	TOL hanger +packer		1872	2250									
3	7" 26 ppf K55 BTC		1898	2313	8 1/2	7,000	7,657	6,276	6,151				
	4 1/2" blank pipes 10,5 ppf K55 BTC		2018	2484	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
	Top screens		2018	2484	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
	5" wire wrapped screen (300 micron) on 4 1/2" base pipe BTC												
	Bottom screens		2045	2523	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
	4 1/2" blanks												
	Top screens		2219	2776	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
4	5" wire wrapped screen (300 micron) on 4 1/2" base pipe BTC												
	Bottom screens		2326	2930	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
	4 1/2" blanks + Bullnose		2332	2940	6	4,500	5,000	4,052	3,927				
	TD		2343	2957									
Size	Weight	Grade	Connection	ID	OD	OD	Shoe	top	Capacity	Total	Burst	Collaps	
in	ppf			in	in	Coupling in	Depth m ah	Depth m tvd	l/m	Content m³	design 1.1 bar	design 1.0 bar	
13 3/8"	54,5	K55	weld	12,615	13,375	weld	0	0	80,64	0,00	299	274	
9 5/8"	40	K55	BTC	8,835	9,625	10,626	1115	0	39,55	44,10	247	177	
7	26	K55	BTC	6,276	7	7,657	2313	1115	19,96	23,91	312	298	
4 1/2"	10,5	K55	BTC	4,025	4.5 x 5" wws	5	2940	2250	8,32	5,74	300	276	
6 5/8"	24	K55	BTC SC	5,921	6,625	7	184	0	17,76	3,27	321	314	

Figuur 7: Schematische put configuratie PNA-GT-04

3.5 Putintegriteit

De geothermieputten van Duijvestijn Energie BV zijn voorzien van meerdere barrières die contact tussen enerzijds de vloeistoffen in de put en anderzijds de omgeving voorkomen. De productieput PNA-GT-03 is tot een diepte van 60m voorzien van een conductor en een dubbele gecementeerde casing. De injectieput PNA-GT-04 heeft tot een diepte van 78m een conductor en een gecementeerde casing. Onderstaande onderdelen zijn geïdentificeerd als put barrières:

- brine
- conductor
- casing
- casing cement
- casing with hanger and seal assembly
- Liner
- Liner cement
- Liner hanger + packer
- tubing hanger with seals
- Christmas tree with valves and Christmas tree connection
- wellhead

De put barrières worden beheerd volgens een Well Integrity Management Systeem conform de ISO 16530-2. Verscheidene tests, inspecties en onderhoudsactiviteiten worden regelmatig uitgevoerd, om de integriteit van de barrières te monitoren en eventueel aanvullende maatregelen te nemen om de integriteit te waarborgen. De integriteit van de putten wordt gemonitord door op een frequente basis metingen en eventueel camera inspecties uit te voeren in de putten. Corrosieprocessen worden gemonitord met behulp van coupon-, filter- en wateranalyses en continue monitoring van de pH, ORP en MPY.

3.6 Aquifer karakteristiek

De geothermieputten van Duijvestijn Energie BV gebruiken de Rijswijk zandsteen en de Delft zandsteen als aquifer. De belangrijkste eigenschappen van deze aquifers zijn samengevat in tabel 4 en 5. Voor meer informatie wordt verwezen naar het geologisch onderzoek van Duijvestijn Energie BV uit 2009, welke is opgesteld door Panterra (rapport G774).

De productieput en injectieput staan via de aquifers met elkaar in verbinding. Wanneer de geothermische installatie stil ligt stabiliseert de druk in de aquifers.

In figuur 8 is de ligging van de aquifers weergegeven en in figuur 9 de verhouding tussen permeabiliteit en porositeit, op basis van putten in de omgeving. In figuur 10 en 11 is de diepte van de top van de aquifers weergegeven, voor de Rijswijk- en Delft zandsteen. In de figuren 12, 13 en 14 zijn enkele seismische secties te zien, parallel aan en loodrecht op de as van de geothermieputten. In deze seismische secties zijn de aanwezige breuken in de ondergrond te zien als gele lijnen. In de figuren 15 en 16 is de dikte van de aquifers te zien en in figuur 17 en 18 zijn temperatuurkaarten opgenomen. De temperatuurgradiënt bedraagt ongeveer 3,11 °C per 100 m, met een oppervlaktetemperatuur van 10 °C. Voor de Rijswijk zandsteen variëren de temperaturen in het gebied tussen 60-70°C en voor de Delft zandsteen tussen de 65-73°C.

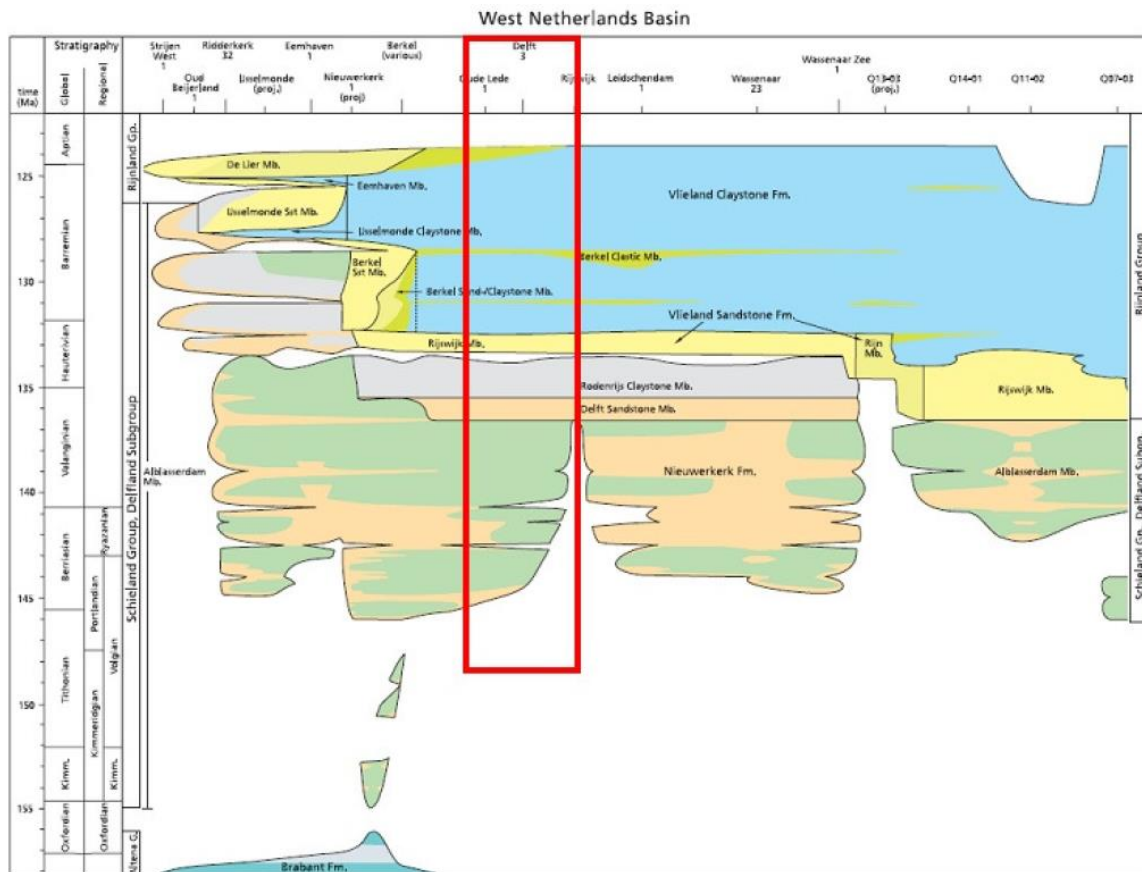
De putten van Duijvestijn Energie BV zijn gezamenlijk met andere geothermieputten van Ammerlaan met behulp van PetroSims software gesimuleerd in een hydrodynamisch model. De berekende doorbraaktijd is te zien in figuur 19. Na een periode van 30 jaar neemt de temperatuur langzaam af doordat de putten elkaar kunnen beïnvloeden.

Parameter	PNA-GT-03	PNA-GT-04
Aquifer stratigrafie Rijswijk zandsteen		
Diepte top Rijswijk zandsteen (m MD)	2525	2387
Diepte top Rijswijk zandsteen (m TVD)	2040	1951
Diepte basis Rijswijk zandsteen (m MD)	2608	2532
Diepte basis Rijswijk zandsteen (m TVD)	2099	2051
Netto-Bruto (%)	90	90
Porositeit (%)	20	20
Permeabiliteit (mD) uit petrofysica Rijswijk zandsteen	500	500

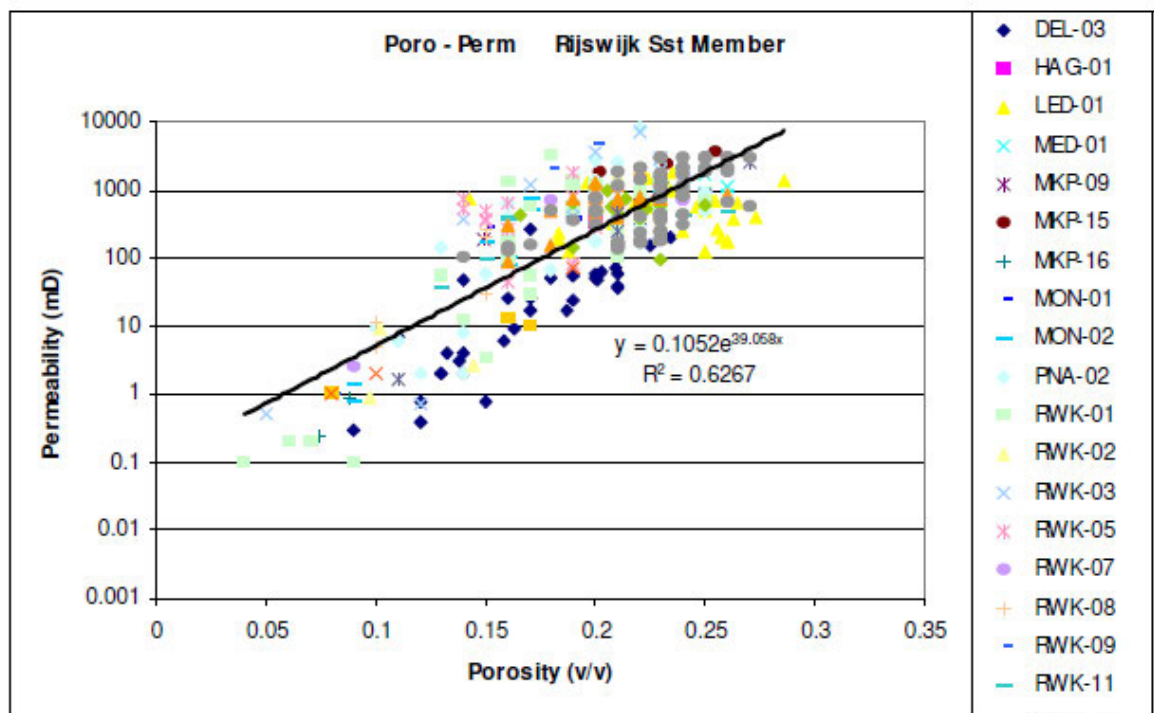
Tabel 4: Aquifer karakteristieken. Rijswijk zandsteen. Bron: EOWR & geologisch onderzoek

Parameter	PNA-GT-03	PNA-GT-04
Aquifer stratigrafie Delft zandsteen		
Diepte top Delft zandsteen (m MD)	2856	2761
Diepte top Delft zandsteen (m TVD)	2281	2209
Diepte basis Delft zandsteen (m MD)	2950	2888
Diepte basis Delft zandsteen (m TVD)	2351	2296
Netto-Bruto (%)	80	80
Porositeit (%)	21	21
Permeabiliteit (mD) uit petrofysica Delft zandsteen	500	500

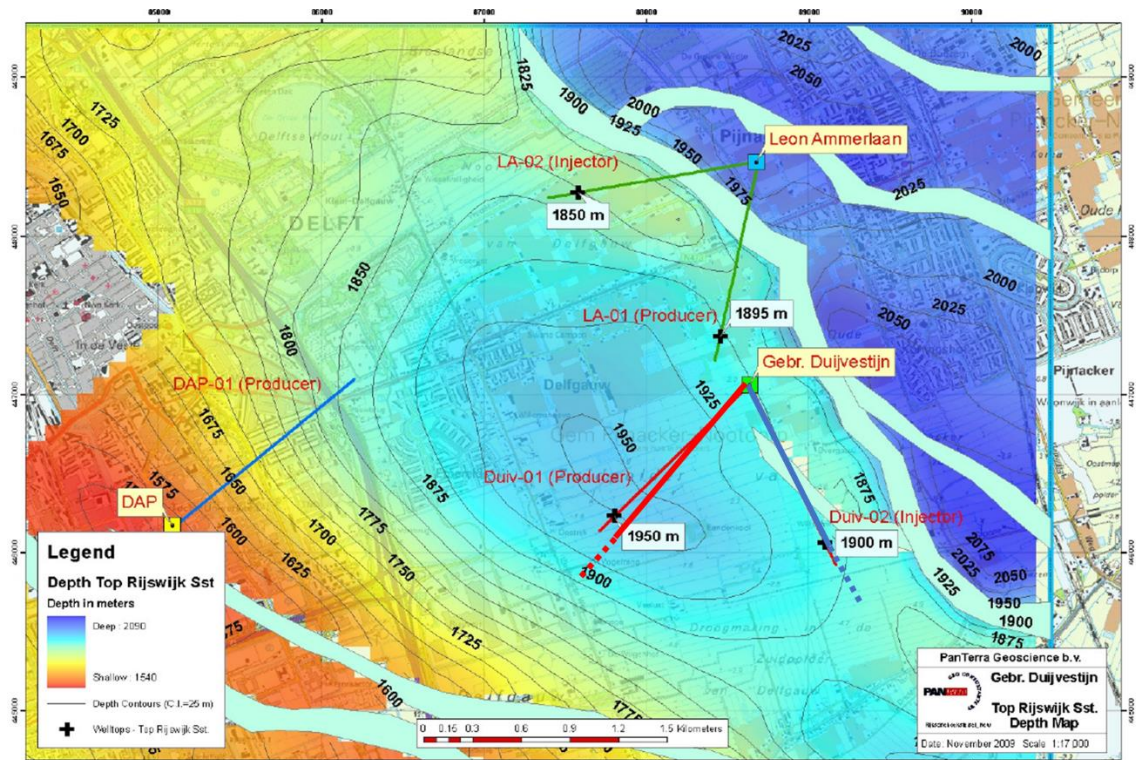
Tabel 5: Aquifer karakteristieken. Delft zandsteen. Bron: EOWR & geologisch onderzoek



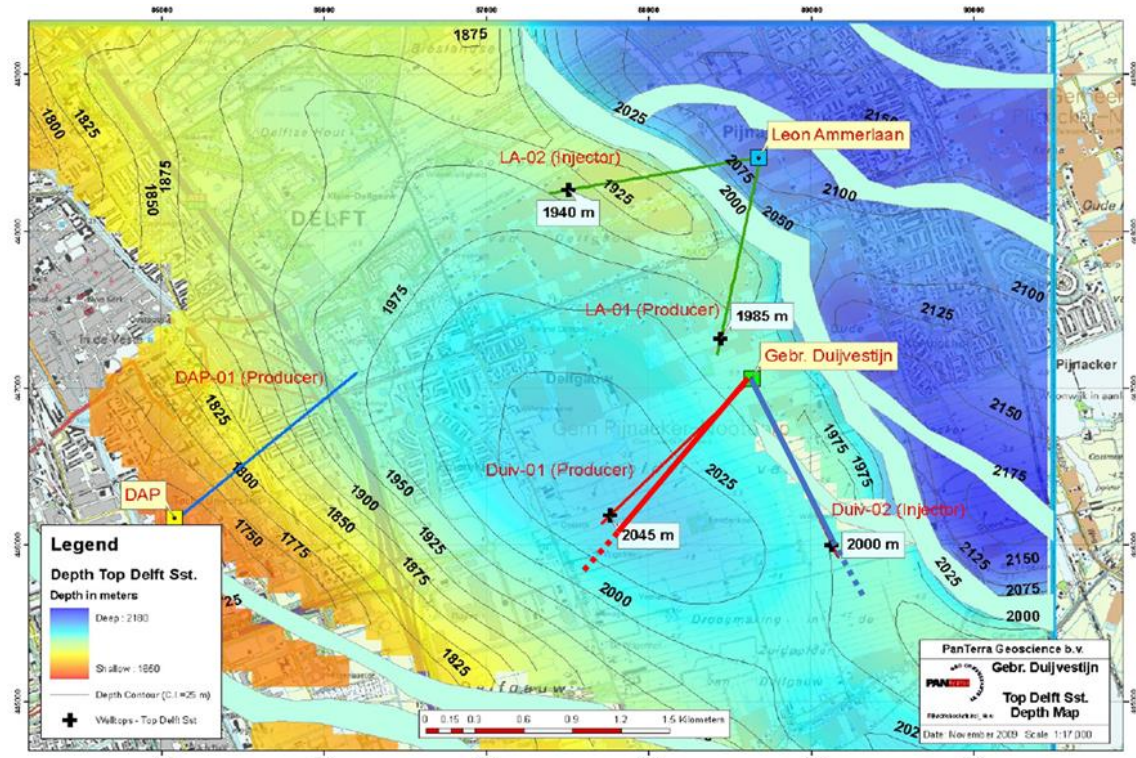
Figuur 8: Correlatie-diagram met de aquifers en aquitards. Bron: geologisch onderzoek



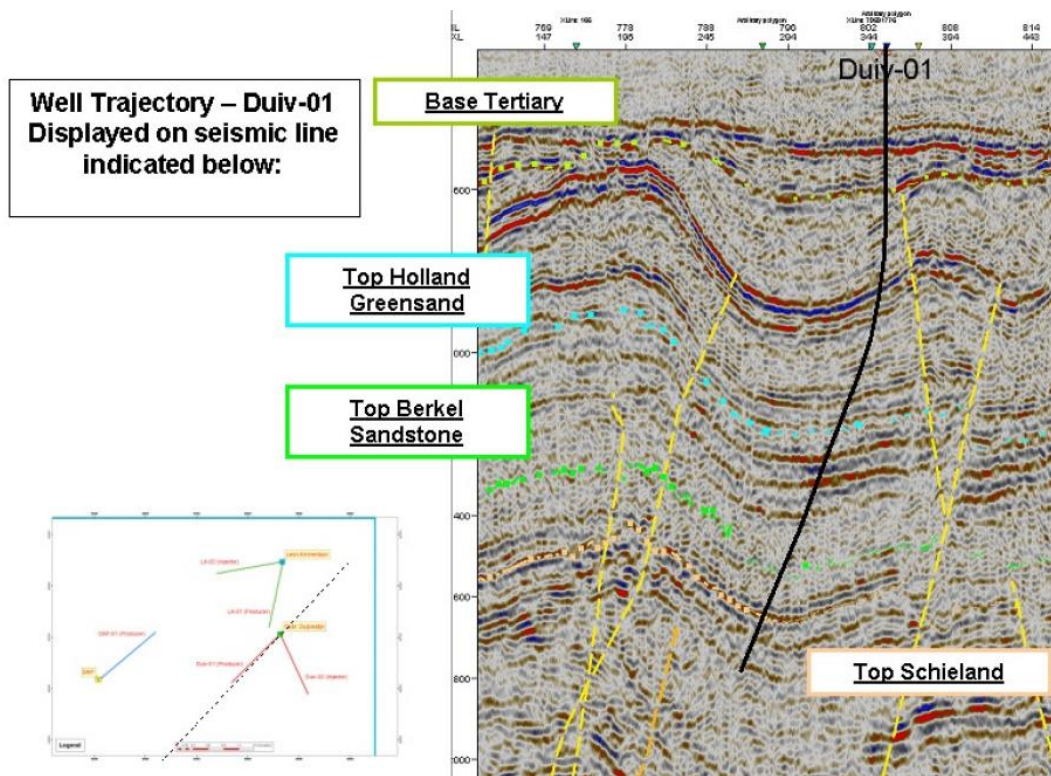
Figuur 9: porositeit-permeabiliteit relatie op basis van boorkernen van de putten in de omgeving. Bron: geologisch onderzoek



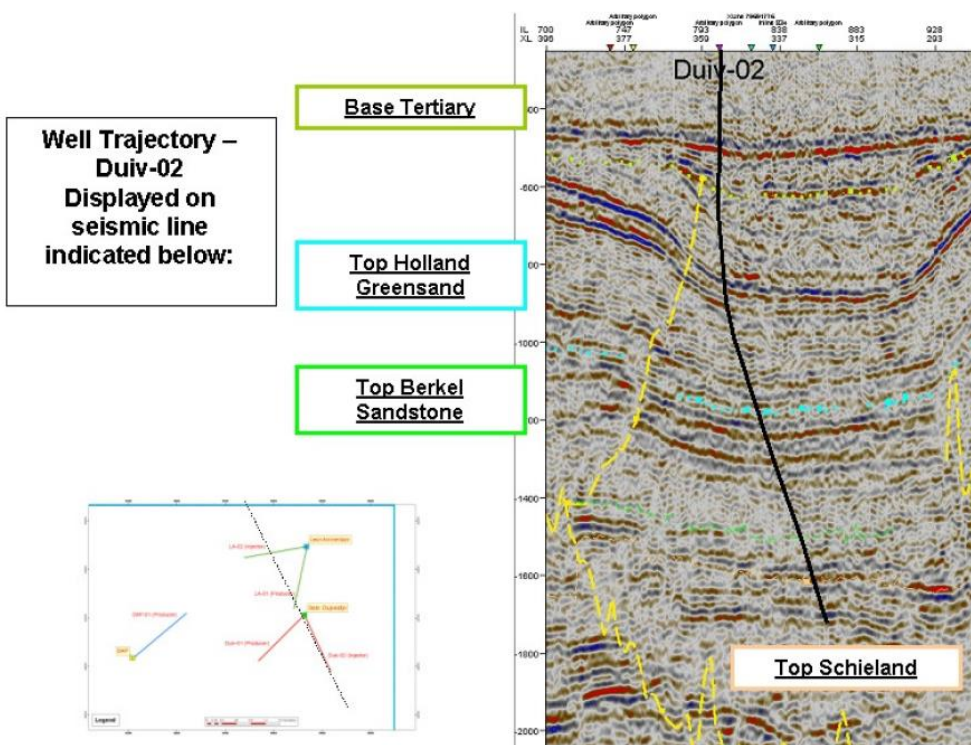
Figuur 10: Diepte kaart van de top van de Rijswijk zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Met breuken en puttrajecten. Bron: geologisch onderzoek



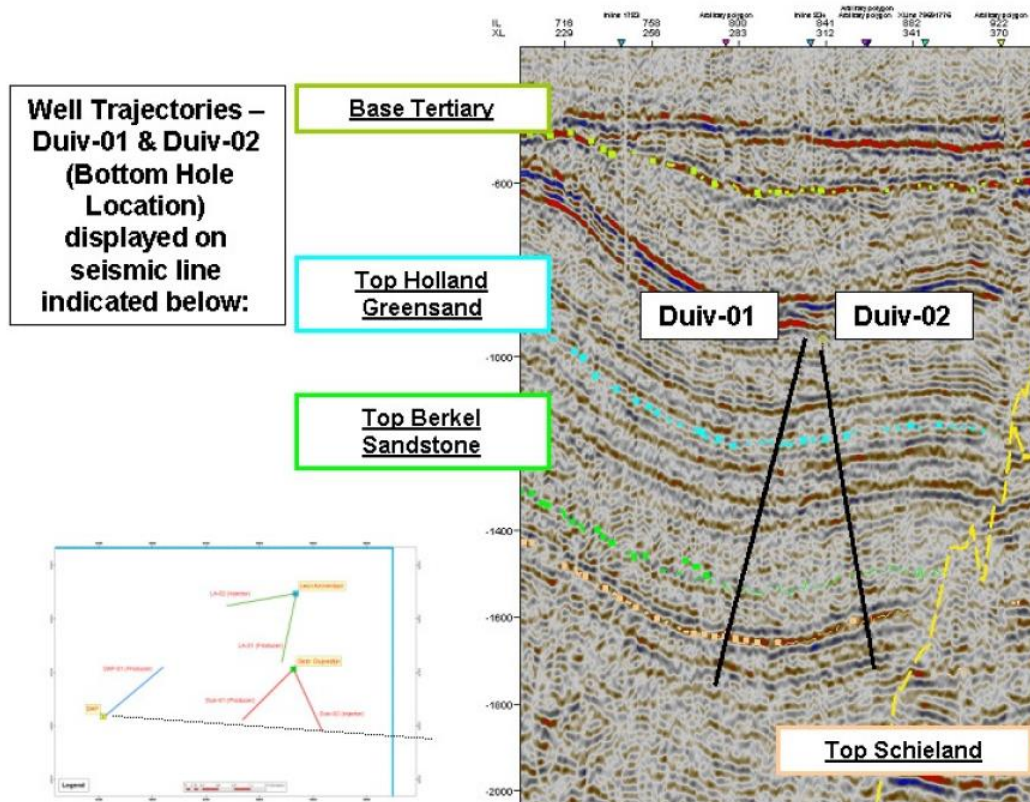
Figuur 11: Diepte kaart van de top van de Delft zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Met breuken en puttrajecten. Bron: geologisch onderzoek



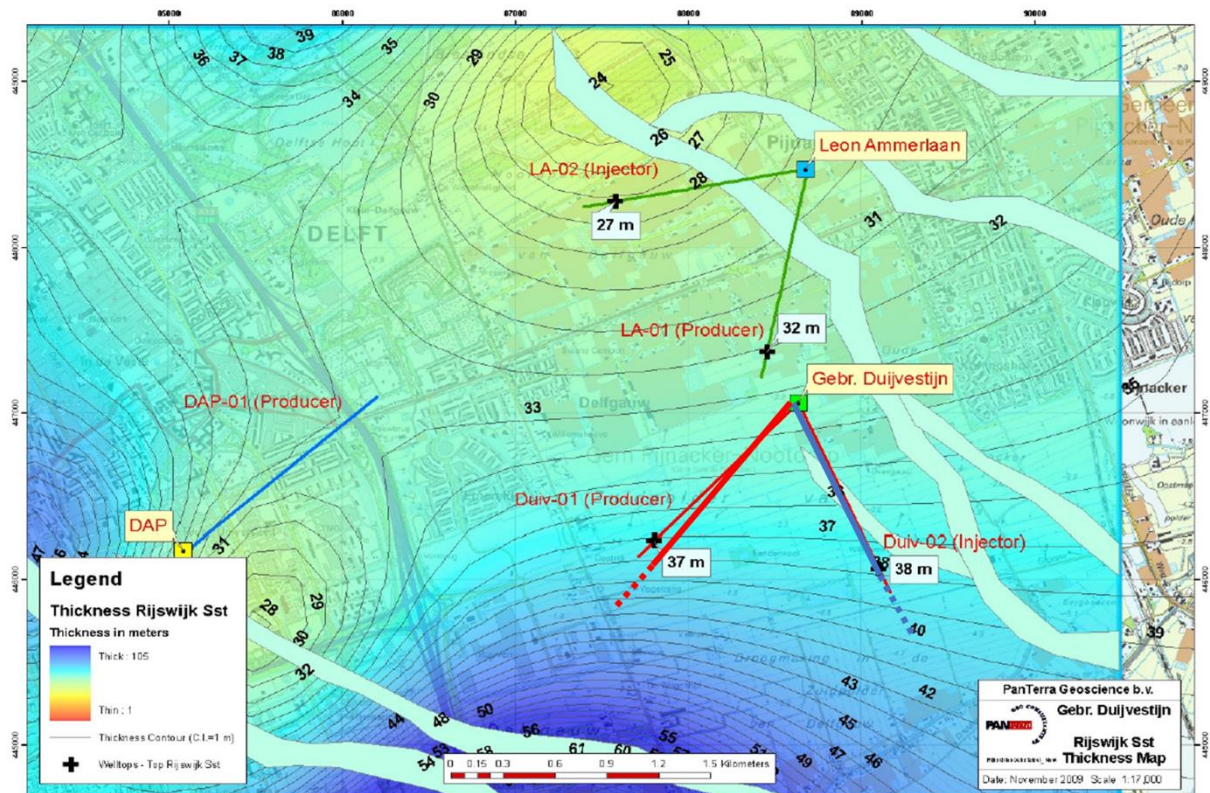
Figuur 12: Seismische sectie parallel aan de as van de productieput. Bron: geologisch onderzoek



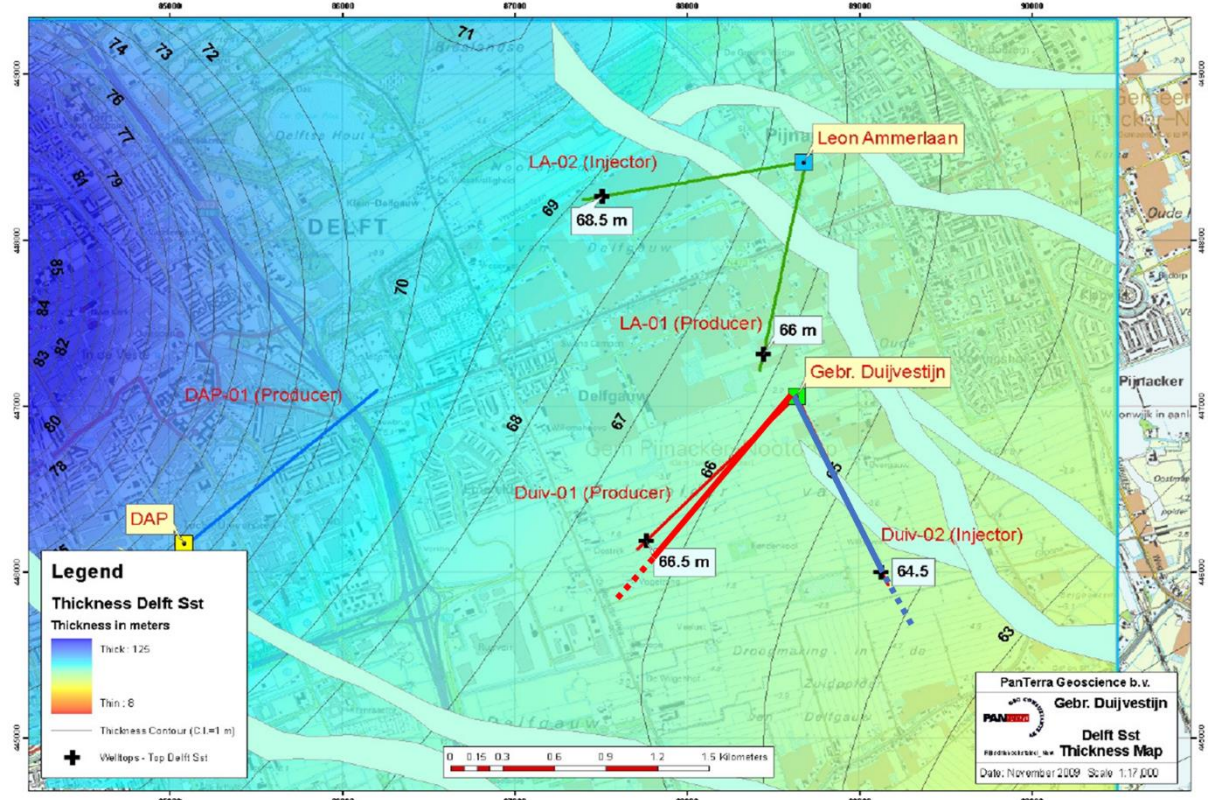
Figuur 13: Seismische sectie parallel aan de as van de injectieput. Bron: geologisch onderzoek



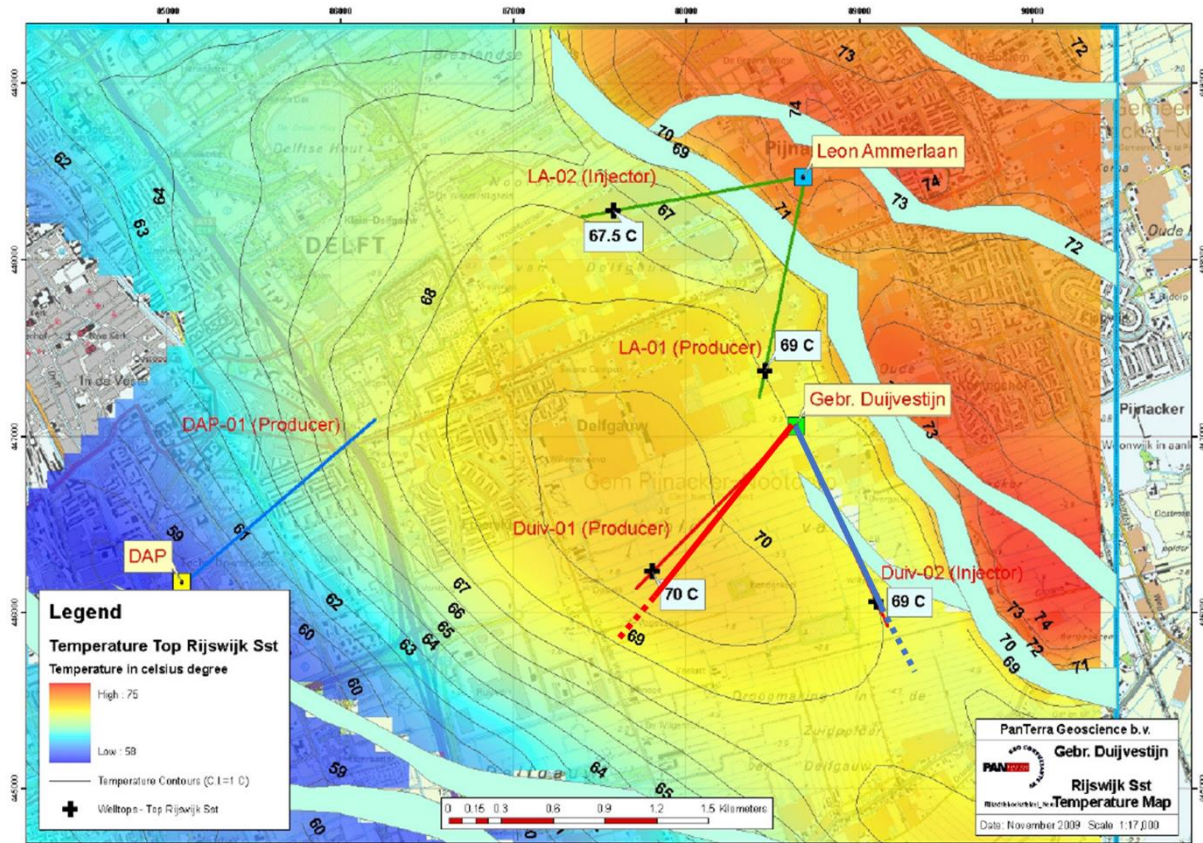
Figuur 14: Seismische sectie loodrecht op de as van de geothermieputten van Duijvestijn Energie BV. Bron: geologisch onderzoek



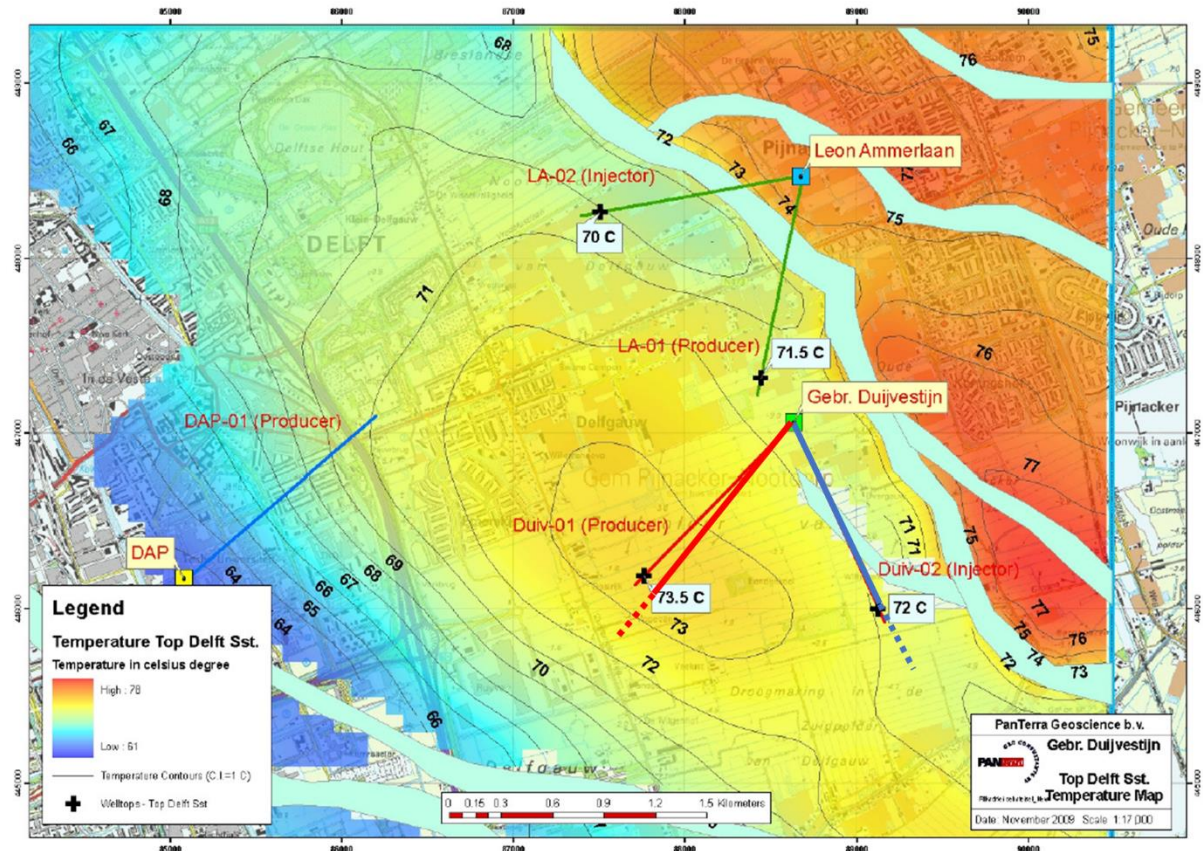
Figuur 15: Bruto dikte kaart van de Rijswijk zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Bron: geologisch onderzoek



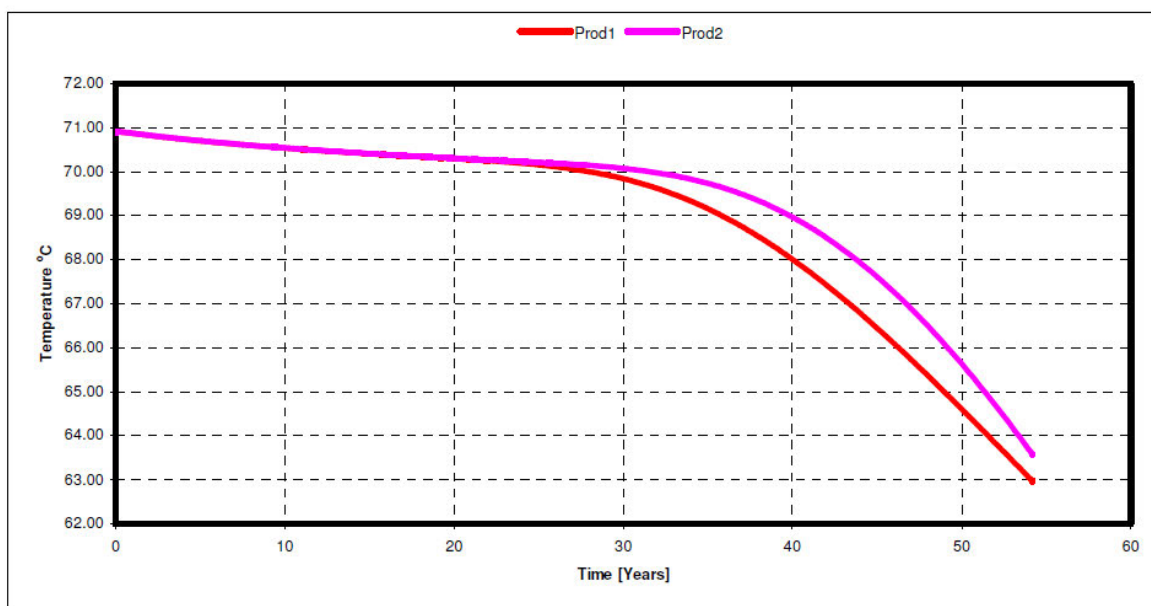
Figuur 16: Bruto dikte kaart van de Delft zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Bron: geologisch onderzoek



Figuur 17: Temperatuurkaart Rijswijk zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Bron: geologisch onderzoek



Figuur 18: Temperatuurkaart Delft zandsteen met putten DUIJ (dikke rode en blauwe lijn, gestippelde lijn is de reservoir sectie). Bron: geologisch onderzoek



Figuur 19: Doorbraaktijd productieput Duijvestijn Energie BV (paarse lijn). Bron: geologisch onderzoek

3.6 Formatiewater karakteristiek

In tabel 6 en 7 wordt de compositie van het formatiewater en de gasbijvangst gegeven op basis van watermonsters en gasanalyses.

Parameter	PNA-GT-03
TDS (mg/l)	120000
Density (g/l) (bij 35°C)	1070
Bubblepoint pressure (bar)	nb
GWR (m ³ /m ³)	1,07
OWR (m ³ /m ³)	nvt
Anorganische Componenten	(mg/l)
Aluminium	< 0,050
Arseen	< 0,040
Barium	23
Cadmium	< 0,001
Calcium	5600
Chroom	<0,005
IJzer	32
Kalium	230
Koper	0,02
Lood	13
Mangaan	1,1
Natrium	32000
Nikkel	<0,010
Strontium	380
Zink	0,025
Kwik	<0,0001
Magnesium	900
Bicarbonaten (HCO ₃)	150
Ammonium	52
Chloride	73000
Nitriet	<0,010
Sulfaat	64
Nitraat	<0,10

Tabel 6: Formatiewater karakteristieken. Bron: rapport Opstart en gebruik

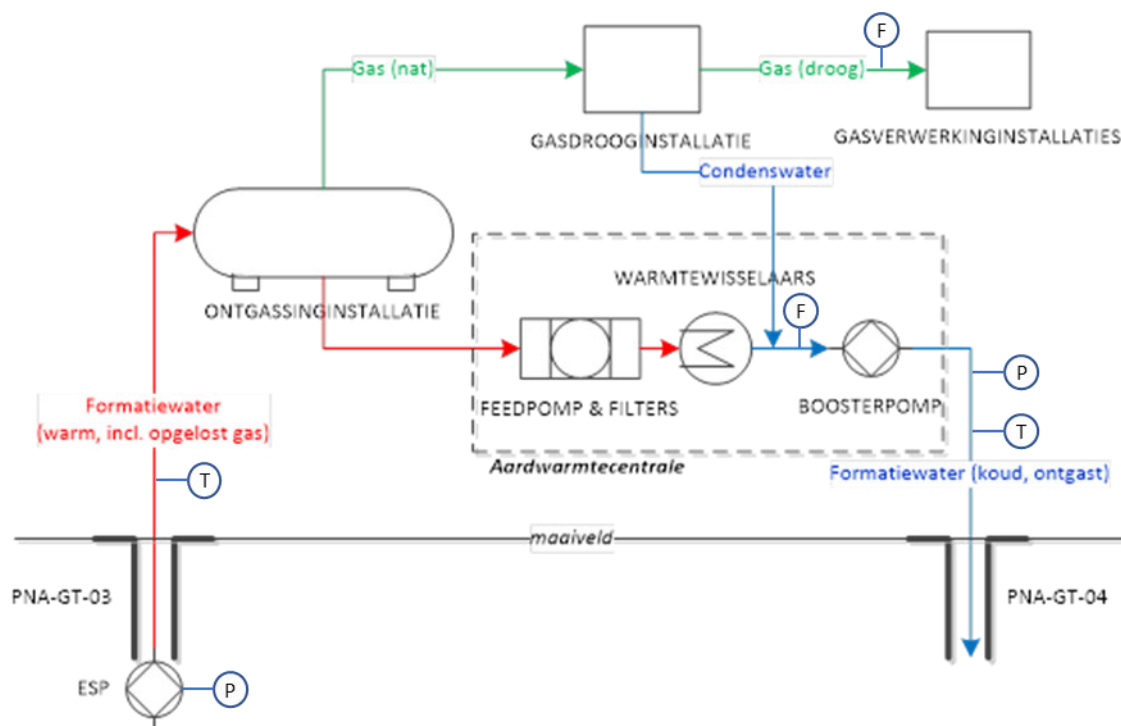
	PNA-GT-03
Anorganische Componenten	(%)
Methaan - CH ₄	90,195
Ethaan - C ₂ H ₆	1,819
Propaan - C ₃ H ₈	0,326
Butaan - C ₄ H ₁₀	0,037
i-Pentaan - C ₅ H ₁₂	0,000
n-Pentaan - C ₅ H ₁₂	0,004
Hexaan - C ₆ H ₁₄	0,000
Koolstofdioxide - CO ₂	5,528
Stikstof - N ₂	1,72

Tabel 7: Karakterisatie gas. Bron: Rapport Opstart en gebruik

4. Wijze van winning

4.1 Beschrijving winning

Duijvestijn Energie BV beschikt over een installatie om ca. 5000 m³/dag warm water te produceren uit de diepe ondergrond (formaties: Delft & Rijswijk Zandsteen) en hiervan de warmte te winnen, om vervolgens het afgekoelde water weer te injecteren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een warmtewinning-installatie bestaande uit een geothermisch doublet, ontgassing-, gasdroog- en gasverwerking-installatie en een aardwarmtecentrale. Het geothermisch doublet, bestaande uit putten PNA-GT-03 en PNA-GT-04, is begin 2011 geboord. Het formatiewater wordt gewonnen uit de Rijswijk en Delft zandsteen via een productieput (PNA-GT-03). Injectie vindt plaats in dezelfde formaties via een injectieput (PNA-GT-04). In de ontgasser wordt het gas op een natuurlijke manier gescheiden van het water. Vervolgens wordt het gas gedroogd en verwerkt in een eigen WKK, gasketel of eventueel afgefakkeld. In de aardwarmtecentrale wordt de warmte onttrokken aan het geproduceerde water. In figuur 20 is een schematisch overzicht van de installatie weergegeven, inclusief de locaties van meetsondes waarmee het debiet, de temperatuur en drukken worden gemonitord en geregistreerd. In tabel 10 en figuur 21 is weergegeven wat het geothermisch doublet tot op heden heeft geproduceerd. Tabel 10 en figuur 22 bieden inzicht in de productieprognose voor de komende jaren.



Figuur 20: Schematisch overzicht van de installatie met de meetsondes. Bron: Rapport Opstart en gebruik

4.1.1 Operationele begrenzings

Debiet

Het huidige maximale debiet is ongeveer 210 m³/uur. Dit is bepaald op basis van de maximale stroomsnelheid en draw down in de productieput. Duijvestijn Energie BV produceert echter meestal maximaal 180 m³/uur.

Temperatuur

De minimale injectietemperatuur van het injectiewater is begrensd op 16°C.

Injectiedruk

De maximale injectiedruk is bepaald op basis van het Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning – versie 2. Op de maximale berekende THP volgens dit protocol is een correctie toegepast i.v.m. de dynamische drukval in de injectieput. De dynamische drukval in de injectieput PNA-GT-04 is berekend in het rapport “Maximale Injectiedruk PNA-GT-04 - Inclusief correctie dynamische weerstand” (WEP, 2014). EZK heeft in de Omgevingsvergunning met kenmerk DGETM-EO / 17065864 de maximale injectiedruk vastgelegd voor verschillende debieten, bij een referentietemperatuur van 35°C.

Debiet (m ³ /uur)	0	120	150	180	210	240	270	300
THP max (barg) Bij 35°C	61	68	72	77	83	90	98	106

Duijvestijn Energie BV injecteert doorgaans met een injectietemperatuur boven de 35°C. Indien met een lagere temperatuur zal worden geïnjecteerd is de dichtheid van de waterkolom groter, waardoor de maximale THP lager uitvalt. In onderstaande tabel is de maximale injectiedruk berekend voor een referentie temperatuur van 16°C, conform het protocol en met een correctie i.v.m. dynamische drukval. Zie Bijlage 1 en 2 voor een onderbouwing van de berekening.

Debiet (m ³ /uur)	0	120	150	180	210	240	270	300
THP max (barg) Bij 16°C	59	66	70	75	81	88	96	104

In tabel 8 zijn de operationele begrenzings van de geothermieputten van Duijvestijn Energie BV samengevat. In tabel 9 worden de drukken en productiegegevens bij regulier bedrijf weergegeven.

Operationele begrenzing	waarde	dimensie
Max injectiedruk WABO	106	bar

Tabel 8: Operationele begrenzings. Bron: Omgevingsvergunning

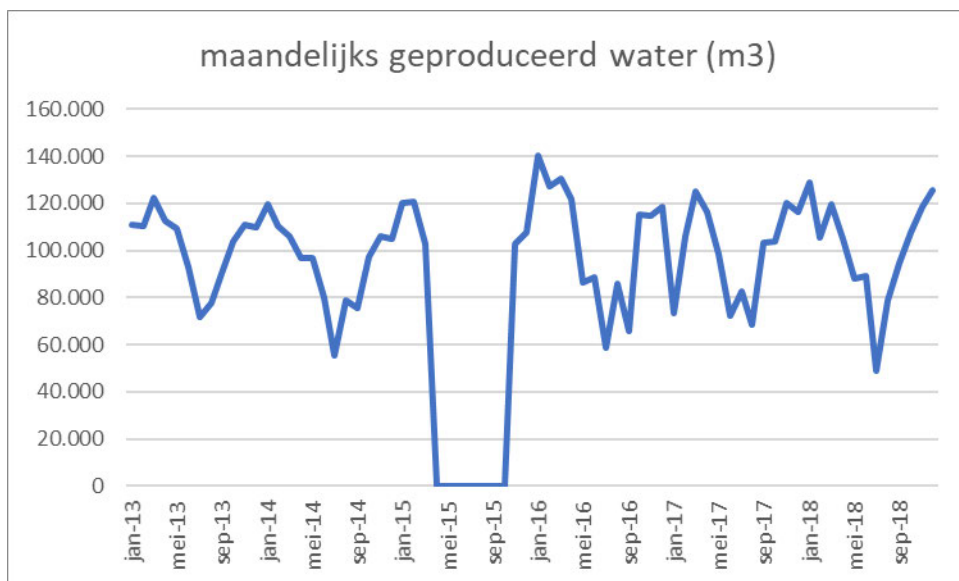
Put	Prognose waarde
Debiet geproduceerd water (m ³ /h)	Max. 210
Gemiddelde temperatuur van het productiewater, gewogen per volume, gemeten voor de warmtewisselaar (°C)	76°C
Gemiddelde druk direct onder de pomp in productieput (bar)	25
Laagste druk direct onder de pomp in productieput (bar).	20
Druk aan de putmond van de productieput (bar)	5
Verhouding hoeveelheid olie uit productieput indien onttrokken uit de aquifer (Sm ³ /m ³)	nvt
Verhouding hoeveelheid gas uit productieput indien onttrokken uit de aquifer (Nm ³ / m ³)	1,07
Verhouding hoeveelheid condensaat uit productieput indien onttrokken uit de aquifer (Sm ³)	nvt
Hoeveelheid in de productieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	0,005
Debiet geïnjecteerd water (m ³ /h)	Max. 210
Gemiddelde temperatuur van het injectiewater, gewogen per volume, gemeten tussen warmtewisselaar en de putmond (°C)	20
Laagste temperatuur van het injectiewater	16
Gemiddelde druk aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	40
Gemiddelde operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	234
Maximale druk van aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	60
Maximale operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	251,1
Hoeveelheid in de injectieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	0,005
aantal vollasturen per jaar (d)	7000
Prognose onttrokken warmte per jaar (GJ)	350000
hoeveelheid benodigde elektrische energie (kWh)	30
Geïnstalleerd vermogen installatie (MW _{th})	14

Tabel 9: Karakterisatie geothermisch systeem performance onder beoogde standaard operationele condities.

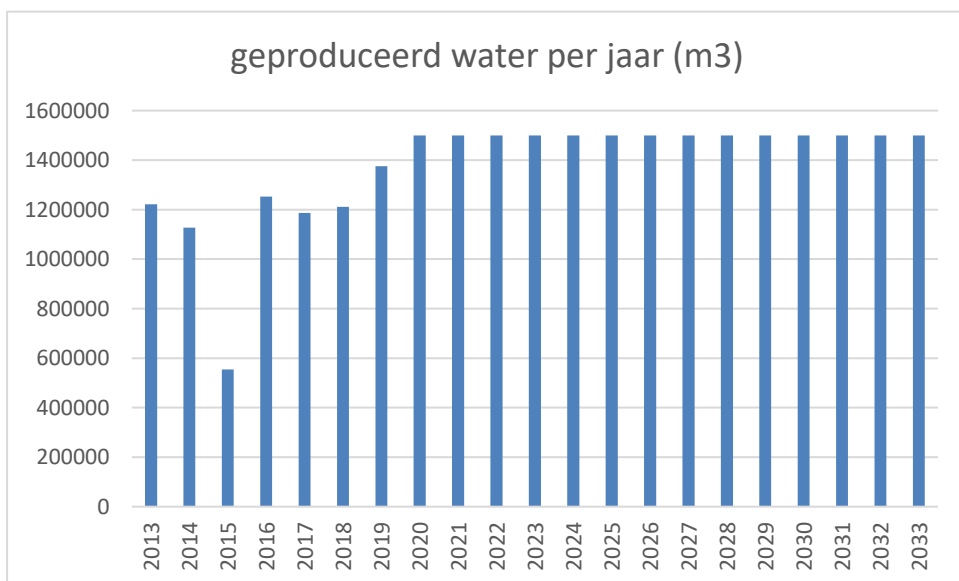
In tabel 10 en figuur 21 is de historische productie van de aardwarmte installatie van Duijvestijn Energie BV vanaf 2012 weergegeven. In tabel 10 is ook de productie voor de komende jaren beschreven.

Jaar Vanaf status datum		Prod. Temp. (°C)	Hoeveelheid water(mln m³)	Energie (GJ)	Inhibitor (m³)	Gas (m³)
1	2013	76	1.222.239	195000		1.336.347
2	2014	76	1.127.251	180000		1.215.000
3	2015	76	554.564	88000		600.548
4	2016	76	1.253.229	200000		1.337.223
5	2017	76	1.186.994	190000		1.261.148
6	2018	76	1.210.882	190000	4	1.304.421
7	2019	76	1.375.000	220000	7	1.471.250
8	2020	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
9	2021	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
10	2022	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
11	2023	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
12	2024	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
13	2025	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
14	2026	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
15	2027	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
16	2028	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
17	2029	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
18	2030	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
19	2031	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
20	2032	76	1.500.000	350000	11	1.600.000
21	2033	76	1.500.000	350000	11	1.600.000

Tabel 10: Productieprofiel data.



Figuur 21: Historische productie doublet.



Figuur 22: Productieprognose

Het gebruik van de putten en de warmte-winningsinstallatie brengt operationele kosten met zich mee. Daarnaast wordt er rekening gehouden met periodieke onderhoudskosten en herinvesteringen. In tabel 1 zijn de gemiddelde jaarlijkse kosten weergegeven voor investeringen, onderhoud en bedrijfsvoering en een reservering voor het verlaten en verwijderen van de putten.

Onderdeel	Kosten
Management en Service contracten met Specialisten (3rd parties)	
DAGO lidmaatschap	
Verzekering	
Stroomkosten	
Onderhoud warmtewinning-installatie (ondergronds) <i>Onderhoud putten: 1 pomp per 5 jaar inclusief installatie+ log</i>	
Onderhoud warmtewinning-installatie (bovengronds) <i>Warmtewisselaars</i>	
Inhibitor	
Afval	
Onvoorzien	
Reservering abandonering putten	
Totaal per jaar	

Tabel 11: Tabel met jaarlijkse OPEX en CAPEX van Duijvestijn Energie BV

4.2 Duur van winning

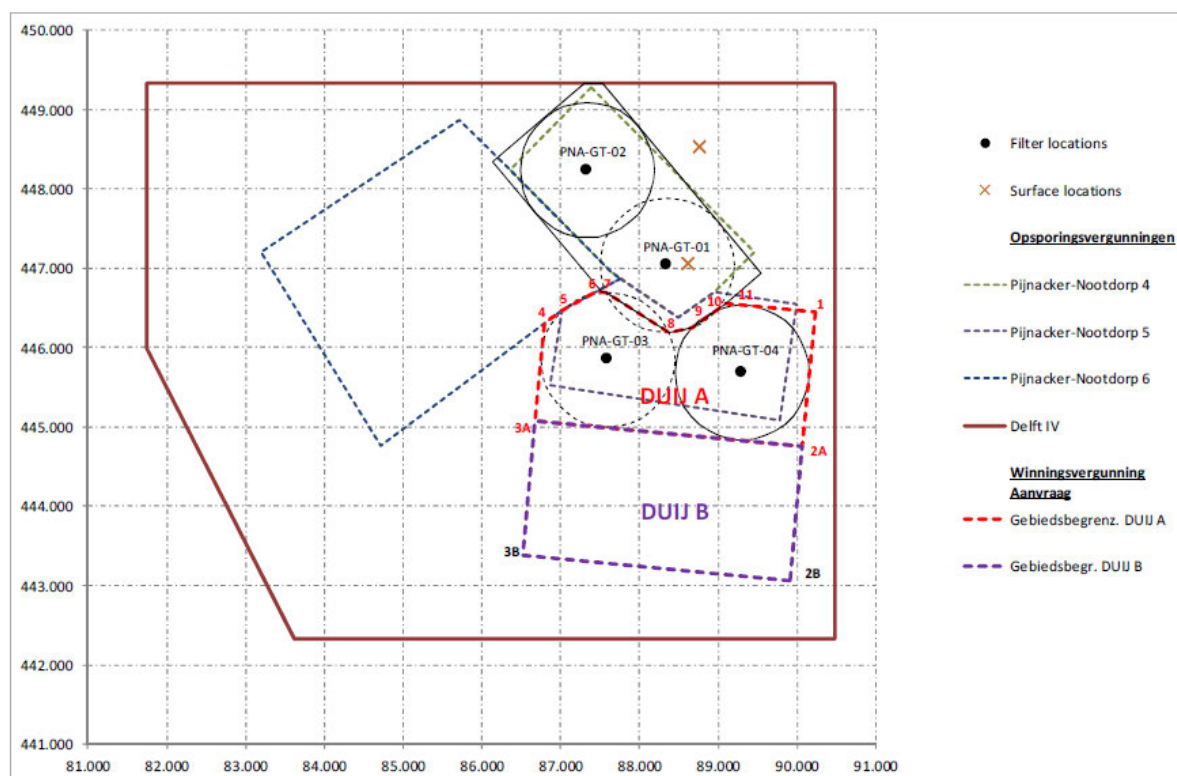
Duijvestijn Energie BV is in het bezit van een winningsvergunning voor aardwarmte, welke op 30 December 2016 is verleend. Deze winningsvergunning is geldig voor een periode van 35 jaar, tot 03-02-2052.

4.3 Toekomstige ontwikkeling

In de komende jaren zal er waarschijnlijk een warmtepomp geïnstalleerd gaan worden waarmee de capaciteit van de installatie zal worden vergroot.

4.4 Interferentie

De gebiedsbegrenzing van de winningsvergunning is bepaald door de Franse methode toe te passen op de geothermieputten. Er is hiervoor een straal van 750m + 100m marge getrokken rondom het diepste productie- en injectiepunt van de geothermieputten. Zoals genoemd in de winningsvergunning zal ruim na 35 jaar productie een temperatuurdaling van 1°C optreden op de vergunningsgrens. In figuur 23 zijn zowel de contouren van de winningsvergunning te zien als het gebied dat door de geothermieputten wordt beïnvloed volgens de Franse methode.



Figuur 23: Kaart met de huidige winningsvergunning van Duijvestijn Energie BV (DUIJ A, rood) en Ammerlaan (groen) en de beïnvloedingsgebieden van de geothermieputten. Bron: Aanvraag winningsvergunning

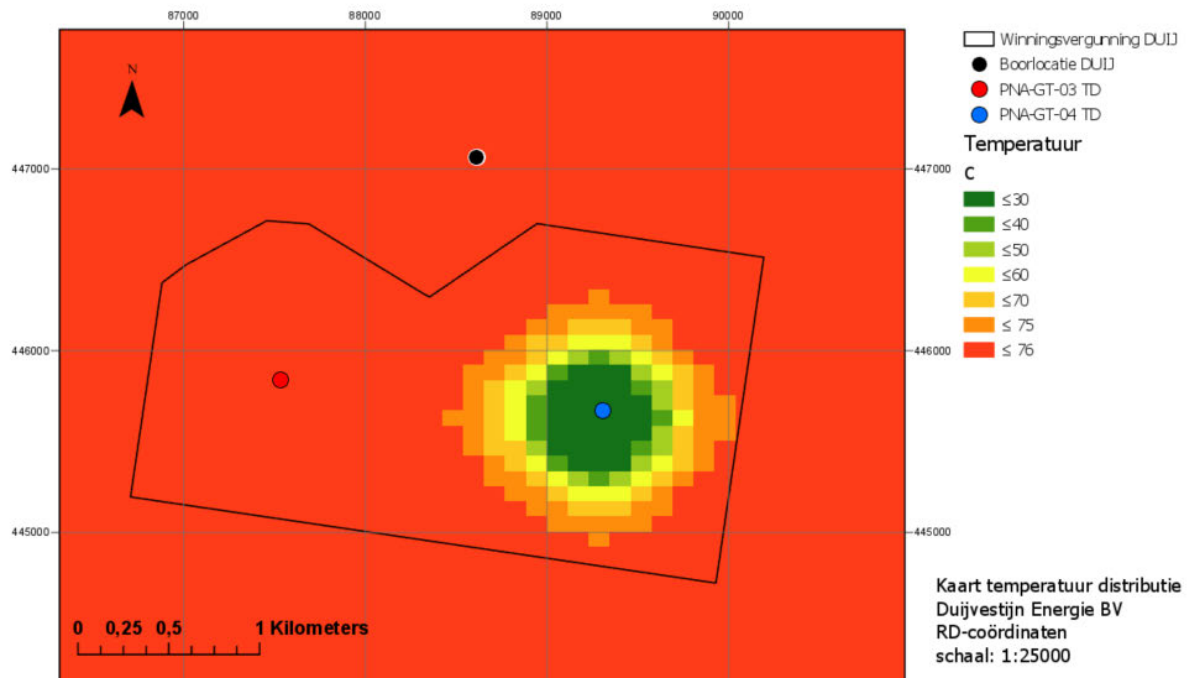
0 0,5 1 2 Kilometers

Winningsvergunning Duijvestijn Energie BV
 Geothermieputten Duijvestijn Energie BV
 Gas- en olieelden
 Aardwarmte vergunningen
 Verleend
 Opsporing
 Winning
 Boorgaten
 Diepe boringen

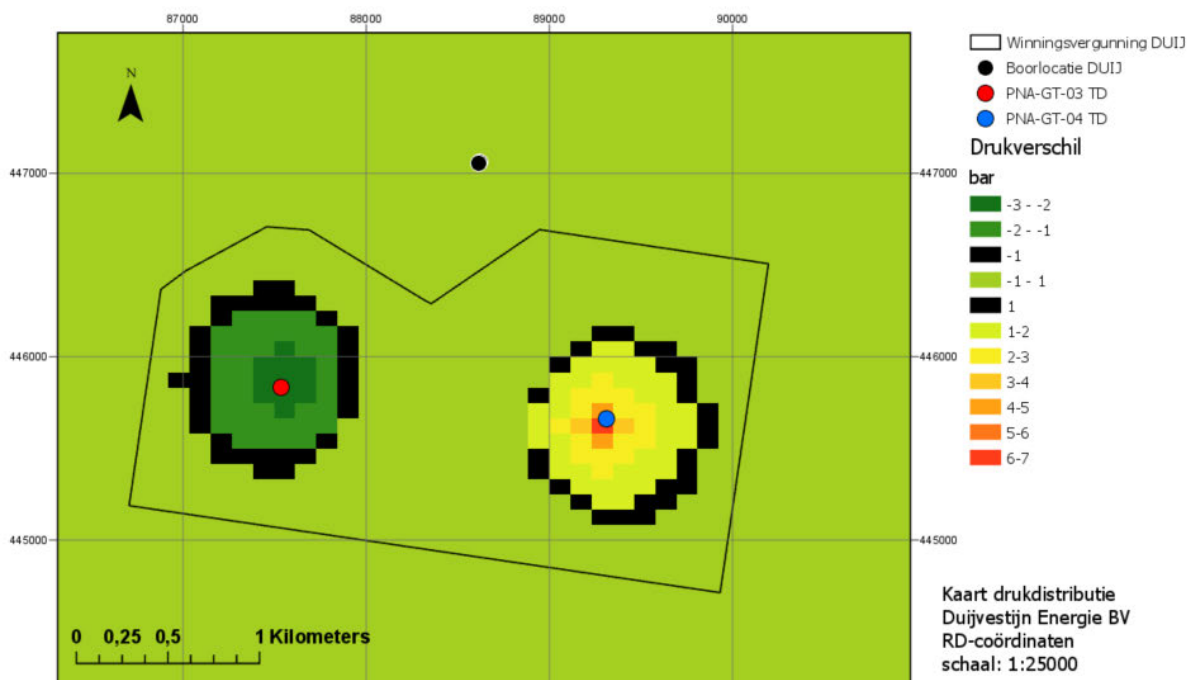
Kaart mijnbouwactiviteiten
 Duijvestijn Energie BV
 RD-coördinaten
 schaal: 1:50000

Pagina 35 van 49

In figuur 25 is de winningsvergunning van Duijvestijn Energie BV weergegeven met de verwachte temperatuursdistributie in de aquifer na een periode van 35 jaar. In figuur 26 is de verwachte druk distributie in de aquifer weergegeven na een periode van 35 jaar. Beide reservoirsimulaties zijn opgesteld met behulp van DoubletCalc 2d, uitgaande van een continue productie van 210 m3/uur voor een periode van 35 jaar.



Figuur 25: Kaart met verwachte temperatuur verdeling na 35 jaar productie.



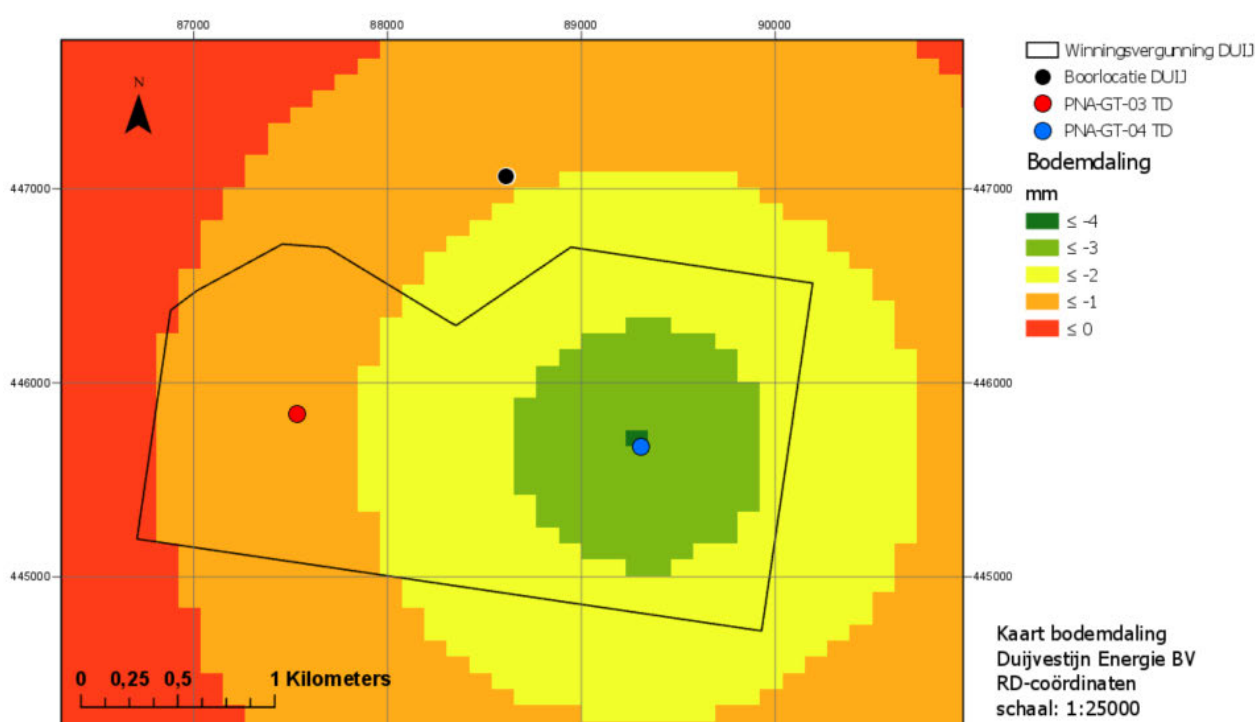
Figuur 26: Kaart met de verwachte drukverdeling in de aquifer na 35 jaar productie.

5. Bodembeweging

5.1 Bodemdaling

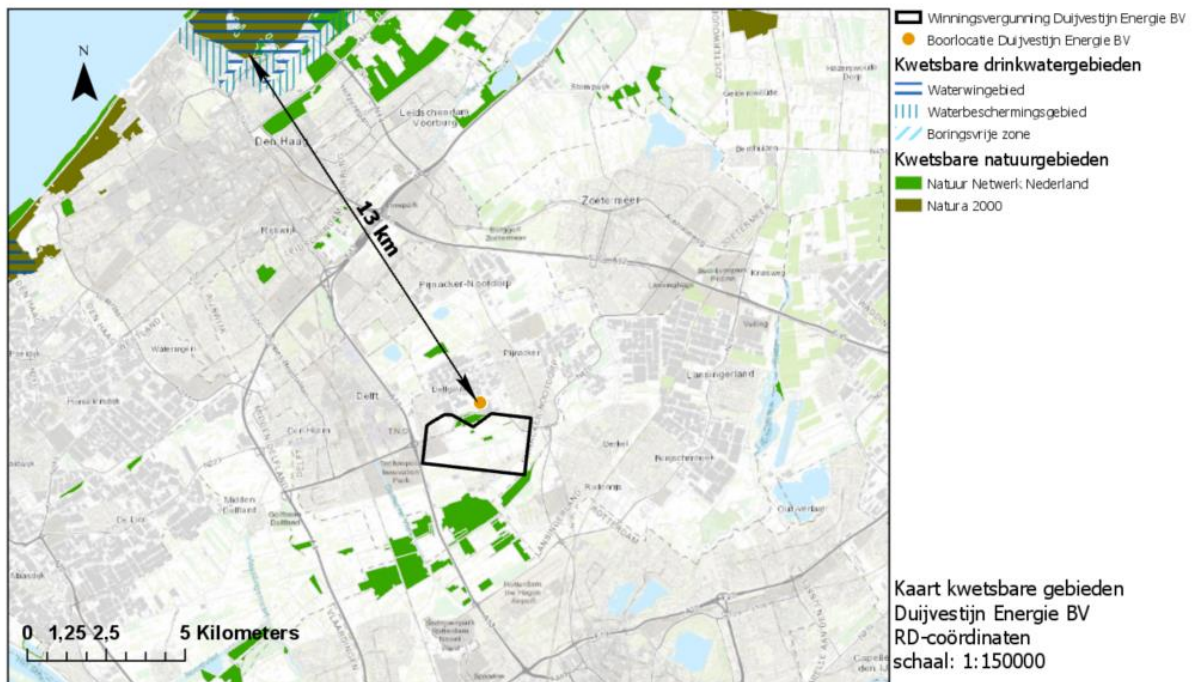
Bij de geothermische installatie van Duijvestijn Energie BV wordt het opgepompte water direct na het onttrekken van de warmte weer teruggepompt in de aquifer. Bij stilstand van de geothermische installatie herstelt de maagdelijke druk van het reservoir zich. Hierdoor wordt de bodemdaling aan het maaiveld als verwaarloosbaar verondersteld.

In theorie kan er wel compactie optreden in de aquifer door het thermo-elastisch effect rondom de injectieput. Ook kan compactie optreden door de drukverlaging rondom de productieput. De bodemdaling aan het maaiveld ten gevolge van compactie in de aquifer is berekend met behulp van DoubletCalc 2d. In figuur 27 is de aquifer met de putten PNA-GT-03 en PNA-GT-04 vereenvoudigd weergegeven. De bodemdaling is het hoogst in het donkergroene gebied en bedraagt ca. 3,5 mm. Hierbij is uitgegaan van een productie van 210 m³/uur voor een periode van 35 jaar.



Figuur 27: vereenvoudigde weergave van de aquifer met de putten PNA-GT-03 en PNA-GT-04 en bodemdaling door productie en injectie.

De mijnbouwlocatie van Duijvestijn Energie BV bevindt zich niet in een kwetsbaar natuur- of drinkwatergebied. De putten doorboren ook geen drinkwater aquifers binnen een grondwaterbeschermingszone of waterwingebied. Binnen de winningsvergunning van Duijvestijn Energie BV bevinden zich wel natuurgebieden die onderdeel zijn van het Natuur Netwerk Nederland. Het dichtstbijzijnde Natura 2000 gebied is het natuurgebied Meijendel & Berkheide. Dit natuurgebied bevindt zich op ca. 13 km afstand van de mijnbouwlocatie van Duijvestijn Energie BV. In figuur 28 is ter verduidelijking de winningsvergunning van Duijvestijn Energie BV weergegeven, met de nabijgelegen natuurgebieden en drinkwatergebieden.



Figuur 28 : Kaart met winningsvergunning Duijvestijn Energie BV en kwetsbare gebieden in de omgeving

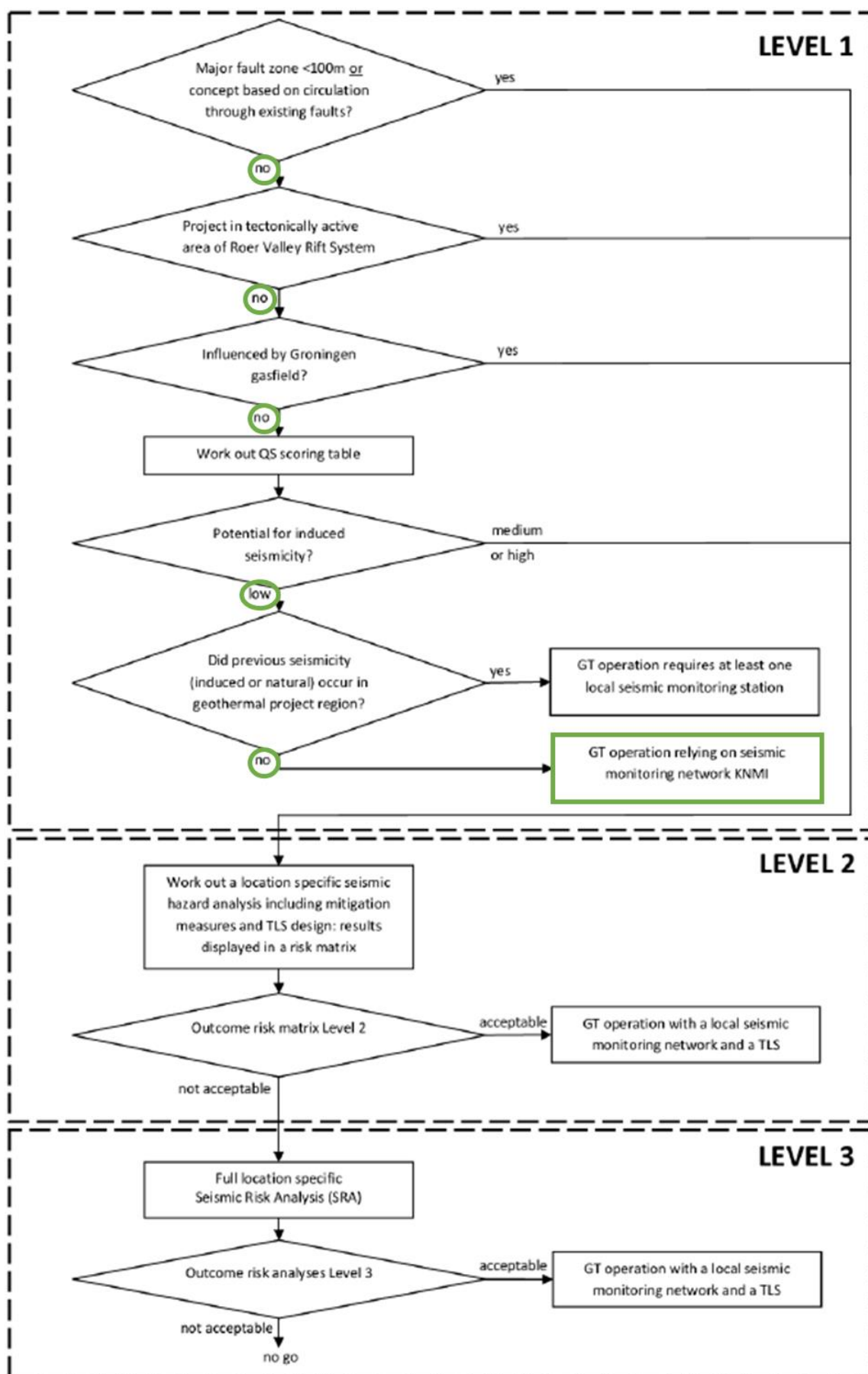
Naar verwachting zal er in de praktijk geen bodemdaling optreden, doordat er sprake is van drukcommunicatie tussen de putten en doordat de druk in de aquifer zich bij stilstand herstelt. De theoretische bodemdaling is verwaarloosbaar klein en heeft geen nadelige gevolgen voor de omgeving. Eventuele bodemdaling ten gevolge van de aardwarmtewinning heeft dus geen negatieve gevolgen voor natuurgebieden en de waterhuishouding aan het maaiveld.

5.2 Bodemtrilling

In dit hoofdstuk wordt een seismische risico evaluatie voor de geothermieputten van Duijvestijn Energie BV uitgevoerd volgens de methodiek van Baisch et al. (2016). In de voorgaande hoofdstukken zijn de gegevens, geologische en operationele onderwerpen die betrekking hebben op het geothermische systeem uitgebreid beschreven. In deze seismische risico evaluatie wordt voor onderbouwing en argumentatie waar mogelijk verwezen naar de relevante voorgaande hoofdstukken en paragrafen.

Om te bepalen of het seismische risico laag, middel of hoog is, wordt de beslissingsboom in figuur 29 doorlopen. Deze beslissingsboom geeft ook aan of een aanvullende SHA of SRA moet worden opgesteld en of een seismisch meetnetwerk moet worden geïnstalleerd.

In figuur 29 is al weergegeven wat de resultaten van de beslissingsboom zijn voor Duijvestijn Energie BV. De onderbouwing van de eerste 4 vragen is weergegeven in tabel 12. De onderbouwing en uitkomst van de QuicksScan score tabel is weergegeven in tabel 13 en 14. Na de QuickScan score tabel rest nog één vraag om te bepalen wat voor seismische monitoring moet worden toegepast, zie hiervoor tabel 15.



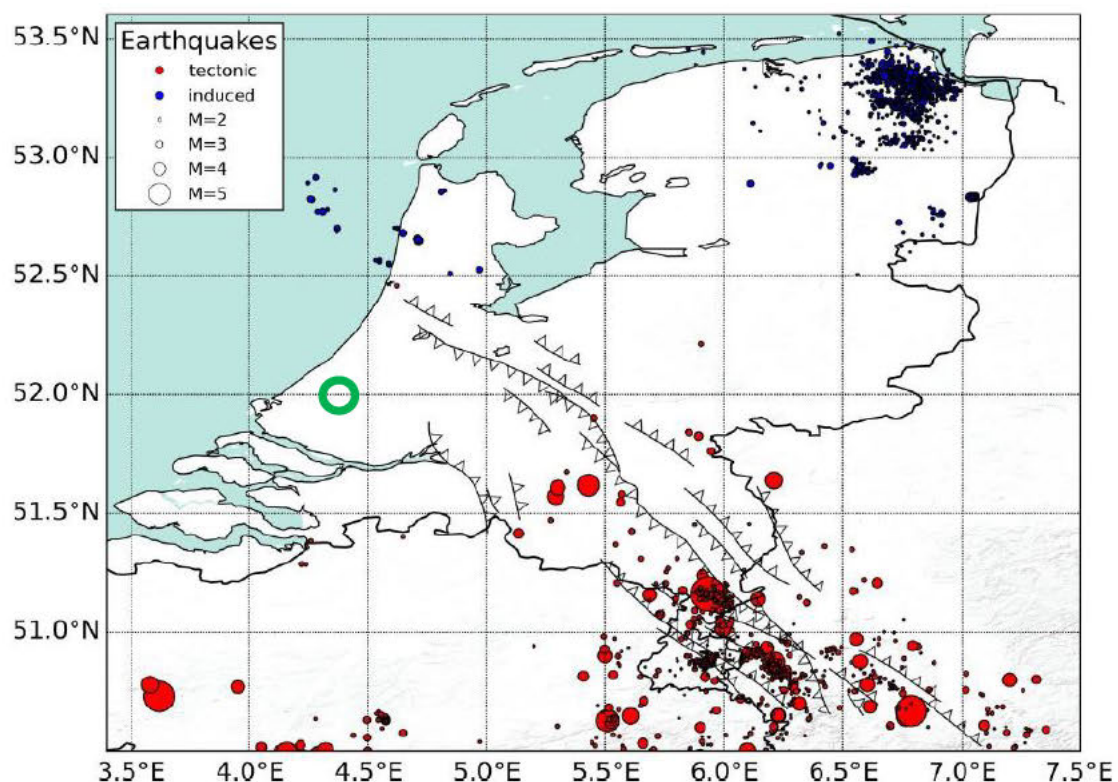
Figuur 29: Beslissingsboom seismische risico analyse

5.2.1 Eerste set vragen beslissingsboom

In eerste instantie dienen de eerste vier vragen in tabel 12 te worden beantwoord alvorens de QuickScan score tabel vragen worden beantwoord.

Tabel 12: Eerste set "decision tree" vragen.

Decision tree questions	Answer (Y/N)	Argumentation or Reference to relevant paragraph
Distance to major fault zone < 100m?	N	Zie figuur 10 en 11
Circulation through existing faults?	N	Zie figuur 10 en 11
Project in tectonically active area of Roer Valley Graben?	N	Zie figuur 30
Influenced by Groningen Field?	N	Zie figuur 30



Figuur 30 : Breukzones Roer valley rift system, met tektonische aardbevingen (rood), geïnduceerde seismiciteit (blauw) en projectlocatie Duijvestijn Energie BV (groen).

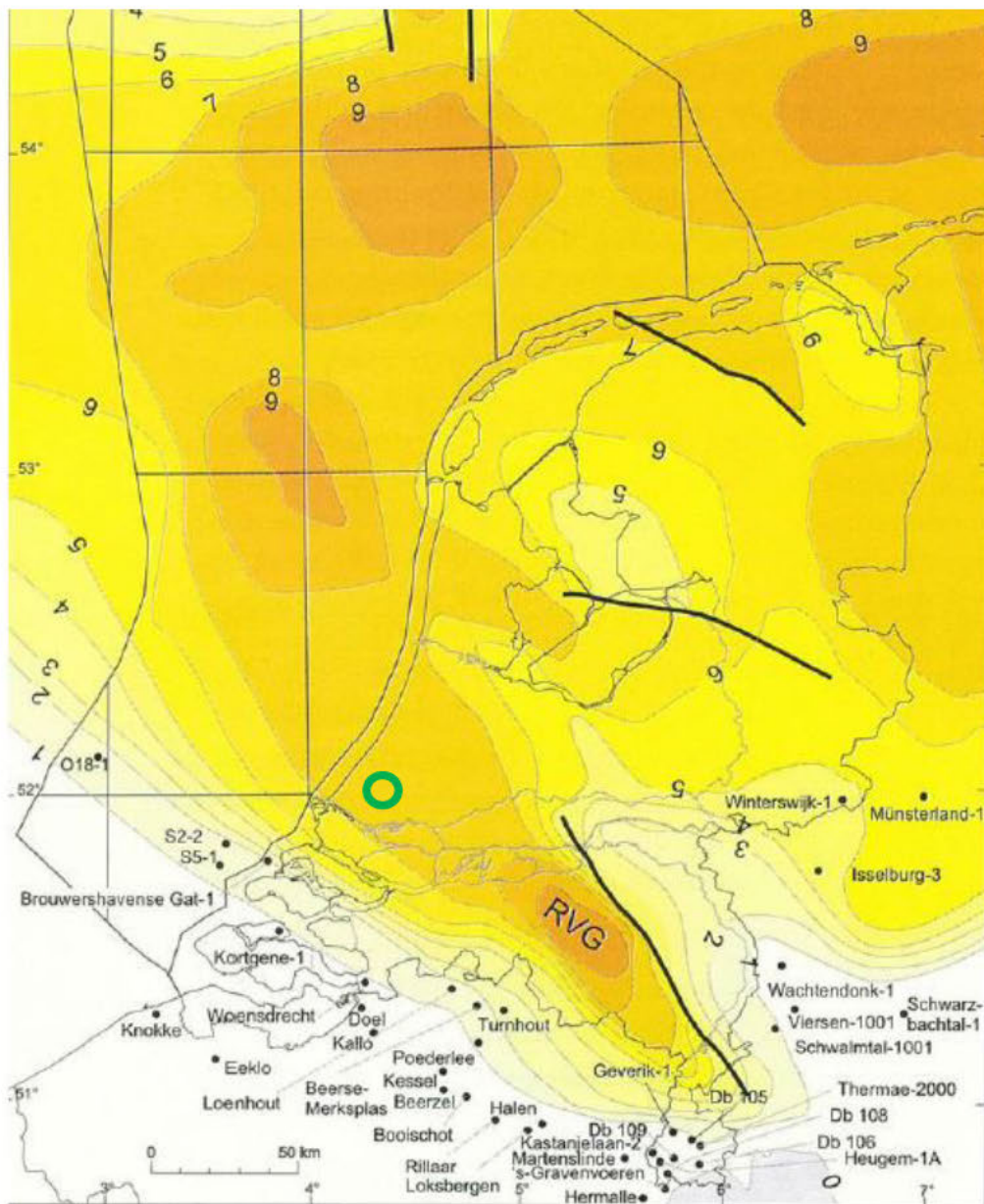
5.2.2 QuickScan score tabel

Hieronder de vragen van de QuickScan, met onderbouwing.

A.1. Hydraulic connection to crystalline basement

Result: Score = 0 when the vertical separation between the geothermal reservoir and the crystalline basement is > 3.0 km.

De score is 0, omdat tussen de geothermieputten van Duijvestijn Energie BV (diepte 2395m TVD) en het moedergesteente (diepte 7 km) meer dan 3 km zit. Zie figuur 31.



Figuur 31 : Dieptekaart van de top van het pre-Silesian, met de projectlocatie Duijvestijn Energie BV (groen).

A.7. Inter-well pressure communication

Result: Score = 0

Het geothermie doublet produceert al sinds 2013. De voordruk van de ESP en de injectiedruk zijn constant. Bij stilstand van het geothermie doublet herstelt de maagdelijke druk van het reservoir zich. Er is dus geen barrière tussen beide putten. De score is daarom 0.

A.8. Re-injection pressure

Result: Score = 7 when expected re-injection pressure is 4-7 MPa.

Volgens de omgevingsvergunning mag maximaal met 106 bar THP worden geïnjecteerd, bij een debiet van 300 m³/uur. Duijvestijn Energie BV kan in de praktijk maximaal 210 m³/uur produceren, waarbij de injectiedruk ongeveer 60 bar THP bedraagt. Door de dynamische weerstand is het drukverlies tot aan top reservoir ongeveer 21 bar (WEP, 2014). De verwachte overdruk op het reservoir is dan ongeveer 39 bar. De maximale injectiedruk bij een debiet van 210 m³/uur is conform de Omgevingsvergunning echter 83 bar THP. Min een dynamische drukval van 21 bar is de injectiedruk op reservoir dan 62 bar. Voor deze QuickScan wordt dus een score van 7 aangehouden.

A.9. Circulation rate

Result: Score = 7 when circulation rate is 180-360 m³/h.

Duijvestijn Energie BV kan maximaal 210 m³/uur produceren, maar produceert echter meestal 180 m³/uur. Voor de score wordt een debiet van 210 m³/uur aangehouden, dus een score van 7.

A.4. Distance to natural earthquakes

Result: Score = 0 when distance to the closest natural earthquake is > 10 km.

Zie figuur 32.

A.5. Distance to induced seismicity

Result: Score = 0 when distance to the closest induced earthquake is > 10 km.

Zie figuur 32.

A.2. Distance to natural faults

Result: Score = 7 when distance to faults is 0.1-0.5 km or when the accuracy of the interpreted seismic data is limited (undetected significant faults may be possible).

Zie figuur 10 en 11. PNA-GT-04 injecteert op ongeveer 100 tot 500m afstand van breukzones in de Rijswijk en Delft zandsteen members.

A.3. Fault orientation in stress field

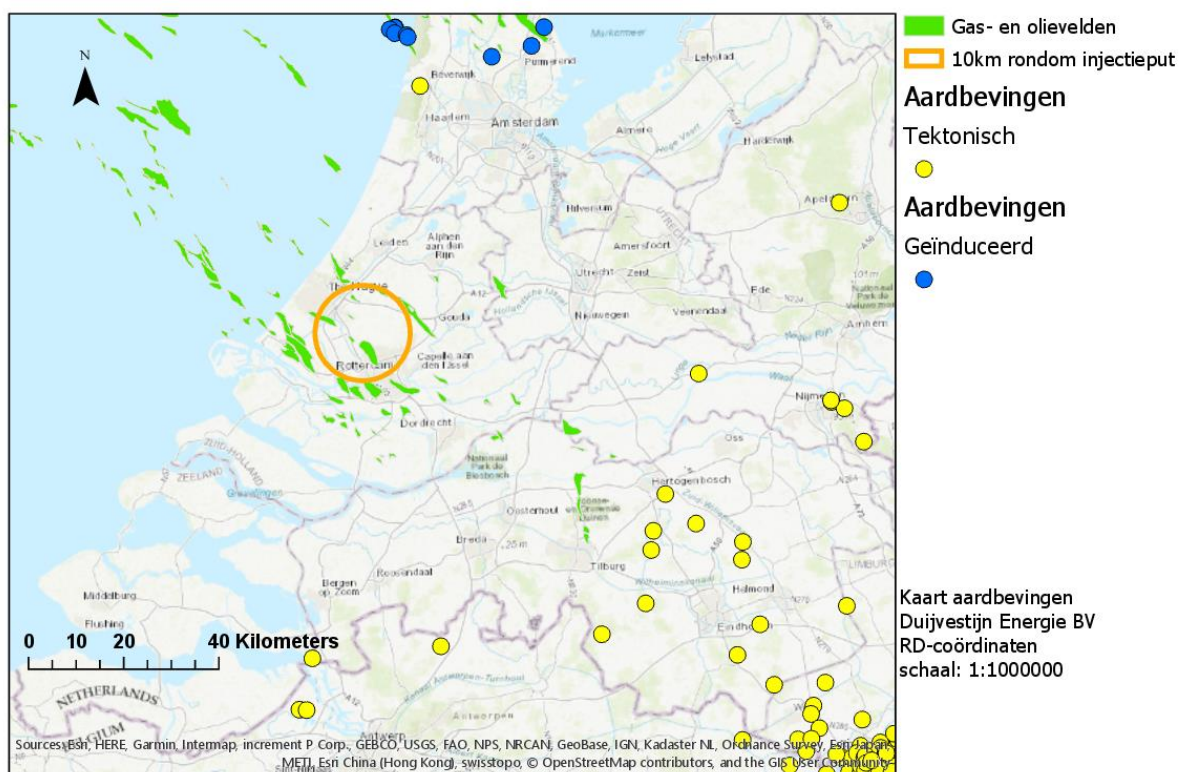
Result: Score = 7 when shearing on the fault appears possible in the regional stress field.

De oriëntatie van de maximale horizontale stress heeft in de regio een richting van ongeveer 130°. De dichtstbijzijnde breukzone bij PNA-GT-04 heeft een richting van ongeveer 104°, zie figuur 10 en 11. Daarmee wijkt deze breuk iets meer dan 25° af van de richting van S_h max en is de score op dit punt 7 punten.

	Strike of fault with respect to S_h max orientation			
<i>Threshold angles</i>	0-25°	25° – 40°	40° - 70°	70-90
<i>score</i>	10	7	3	0

A.6. Net injected volume

Result: Score = 0 when the net injected volume is < 100 m3.



Figuur 32 : Overzicht voorkomen tektonische en geïnduceerde aardbevingen in Nederland. Met een straal van 10km rondom projectlocatie Duijvestijn Energie BV (oranje).

Tabel 13: QuickScan-scoring tabel

score	basement connected	inter-well pressure communication	re-injection pressure [MPa]	circulation rate [m³/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 m³]	Sum of column scores
10	yes	no	> 7	> 360	< 1	< 1	< 0.1	favorable	> 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	0	7	7	0	0	7	7	0	28
										90

De normalised score (S) is als volgt berekend:

De som van de kolom scores is gedeeld door het aantal scores maal tien ($S = \frac{\Sigma(\text{kolom scores})}{(\text{aantal scores} \times 10)}$). De "seismicity potential" bedraagt 0,31. Dit betekent dat de seismicity potential laag is, level 1.

5.2.3 Tweede set vragen beslissingsboom

Daarnaast zijn ook in de regio rondom Duijvestijn Energie BV geen tektonische of geïnduceerde aardbevingen waargenomen. Daarom kan voor de monitoring van het seismisch risico gebruik worden gemaakt van het bestaande KNMI meetnetwerk.

Tabel 94: Resultaat QuickScan- scoring.

	Normalised score	Seismicity potential	Hazard level and risk assesment procedure
Geothermisch project	0,3	Low	Level 1

Tabel 105: Tweede set decision tree vragen.

Decision tree questions	Answer (Y/N)	Argumentation or Reference to relevant paragraph
Did previous seismicity (induced or natural) occur in geothermal project region?	N	Zie figuur 32

Referenties

Baisch, 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.

WEP (2014). Maximale Injectiedruk PNA-GT-04 - Inclusief correctie dynamische weerstand

Bijlage 1 berekening maximale injectiedruk

Water density as function of temperature and concentration					
McCutcheon, S.C., Martin, J.L, Barnwell, T.O. Jr. 1993. Water Quality in Maidment, D.R. (Editor). Handbood of Hydrology, McGraw-Hill, New York, NY (p. 11.3)					
Water density as a function of temperature only					
rho = density in kg/m^3 as a function of temperature					
T = temperature in C					
rho = 1000(1 - (T+288.9414)/(508929.2*(T+68.12963))*(T-3.9863)^2)					
Water density as a function of temperature and salinity					
rhos = density in kg/m^3 as a function of temperature and salinity					
S = salinity in g/kg					
rhos = rho + AS + BS^(3/2) + CS^2					
A = 8.24493E-1 - 4.0899E-3*T + 7.6438E-5*T^2 -8.2467E-7*T^3 + 5.3675E-9*T^4					
B = -5.724E-3 + 1.0227E-4*T - 1.6546E-6*T^2					
C = 4.8314E-4					
Enter temperature (T) and concentration (Rho)			Enter temperature (T) and concentration (Rho)		
T	35	(Deg. C)	T	16	(Deg. C)
Rho	994,063	(kg/m^3)	Rho	998,972	(kg/m^3)
S	105	(mg/kg)	S	105	(mg/kg)
Rhos	1.073,408	(kg/m^3)	Rhos	1.080,883	(kg/m^3)
A	0,7476799		A	0,7755966	
B	-0,004171		B	-0,004511	

Maximale injectiedruk								
THP max [bar] = Dt x (0.135 – Gradiënt injectie water)								
Diepte:	2020 m TVD			Diepte:	2020 m TVD			
Temperatuur:	35			Temperatuur:	16			
Dichtheid:	1,07 kg/m3			Dichtheid:	1,08 kg/m3			
Gradient:	0,105 bar/m			Gradient:	0,106 bar/m			
Maximale THP:	61 bar			Maximale THP:	59 bar			
Maximale injectiedruk met correctie dynamisch drukverlies bij 35°C								
Debiet (m3/uur)	0	120	150	180	210	240	270	300
THP max (barg)	61	68	72	77	83	90	98	106
Bij 35°C								
Maximale injectiedruk met correctie dynamisch drukverlies bij 16°C								
Debiet (m3/uur)	0	120	150	180	210	240	270	300
THP max (barg)	59	66	70	75	81	88	96	104
Bij 16°C								

Bijlage 2 Maximale Injectiedruk PNA-GT-04 - Inclusief correctie dynamische weerstand