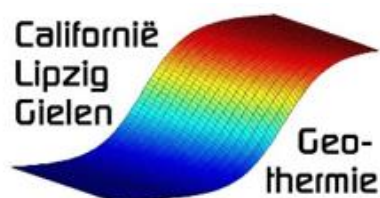


Aardwarmte Winningsplan

CAL-GT-04 & CAL-GT-05

Opgesteld in het kader van het Mijnbouwbesluit in de Mijnbouwregeling



April 2019

Californië Lipzig Gielen Geothermie BV

en

Postbus 6140

5960 AC Horst

Inhoud

1.	Inleiding.....	3
1.1	Wettelijk kader.....	4
1.2	Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu	5
1.3	Procedure en Publiekscommunicatie	5
2.	Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem	6
2.1	Locatie van het geothermisch systeem	6
2.2	Beschrijving van geothermisch systeem	8
3.	Beschikbare en gebruikte putten en seismische data	9
3.1	Keuze van de referentieputten en putinformatie.....	9
3.2	Seismische gegevens.....	9
3.3	Coördinaatsysteem	10
3.4	Beschrijving van de putten.....	10
3.5	Putintegriteit	13
3.6	Aquifer karakteristiek.....	14
3.6	Formatiewater karakteristiek	19
4.	Wijze van winning	21
4.1	Beschrijving winning	21
4.2	Duur van winning	23
4.3	Toekomstige ontwikkeling	23
4.4	Interferentie.....	24
1.	Bodembeweging	27
5.1	Bodemdaling	27
5.2	Bodemtrilling.....	29
	Seismische monitoring.....	29
	Geregistreerde seismiciteit en locatie	31
	Analyse van de waargenomen seismische activiteiten	33
	Relevante mechanismen voor aardbevingen	33
	Actualisatie van de SHA	34
	Conclusies	39
5.3	Overige omgevingsaspecten	41
	Referenties.....	42
	Bijlages	43

1. Inleiding

Californie Lipzig Gielen Geothermie BV (CLG) exploiteert een geothermische installatie aan het Nieuw Erf 3 te Horst. De geothermische putten zijn in 2015-2016 geboord en in 2017 zijn de geothermische activiteiten gestart. In augustus 2018 zijn in overleg met de toezichthouder de geothermische activiteiten tijdelijk gestopt. Deze stop had te maken met seismische activiteiten die in de diepe ondergrond gemeten werden op ca. 5-6 kilometer diepte. De geothermische activiteiten van CLG zijn gericht op geologische lagen globaal tussen de 1.500 en 2.500 meter diepte. In het voorjaar van 2019 zijn de onderzoeken i.v.m. duiding van de waargenomen seismische activiteiten en de evt. relatie met de geothermische activiteiten afgerond en deze zijn aan de toezichthouder voorgelegd. De aanbevelingen van het seismisch onderzoeksbureau zijn vastgelegd in een Seismic Hazard Assessment (SHA). De aanbevelingen in dit SHA zijn integraal door CLG overgenomen. Op basis van deze onderzoeken verwacht CLG in de loop van Q2 van 2019 de geothermische activiteiten weer te kunnen hervatten.

Om te voldoen aan de verplichtingen vanuit artikel 34, eerste lid, van de Mijnbouwwet heeft CLG dit winningsplan/ontwikkelingsplan opgesteld. Het plan begint met een algemene beschrijving van het geothermisch systeem van CLG 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 verstrekt 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 vergunning-technisch onder de WABO dan wel het BARM. 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

Californië Lipzig Gielen Geothermie BV beschikt over een VGM-zorgsysteem vanuit DAGO. Dit Zorgsysteem is een formeel systeem 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 Californië Lipzig Gielen Geothermie BV. Het VGM-zorgsysteem 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-zorgsysteem wordt o.a. gewaarborgd middels werkinstructies, werkplannen en werkvergunningen. Alle VGM-zorgwerkzaamheden worden gemonitord middels een jaarplanning, met bijbehorende actielijst en PVA. Alle VGM-documentatie en bijbehorende risico-inventarisaties en evaluaties worden periodiek geüpdatet. Veiligheids-protocollen en instructies zijn o.a. vastgelegd in een noodplan.

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-zorgsysteem. 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 Californië Lipzig Gielen Geothermie BV overgenomen en in haar (zorg)systemen geïmplementeerd.

1.3 Procedure en Publiekscommunicatie

Californië Lipzig Gielen Geothermie BV communiceert proactief met omwonenden en andere stakeholders in de omgeving. Er is intensief contact met de direct omliggende tuinbouwbedrijven, waarvan de meesten ook afnemer van aardwarmte zijn. Tijdens deze contacten worden de gezamenlijk duurzaamheidsambities besproken en hoe de beschikbaarheid van aardwarmte optimaal ingezet kan worden om de carbon-footprint van de tuinbouwbedrijven (en hun producten) te minimaliseren. Aan de start van het project zijn verschillende geïnteresseerde groepen geïnformeerd over het project en de geothermische installatie. Ook is voorafgaande aan de start van de geothermische productie meegedaan aan Kom in de Kas. Honderden personen zijn op die wijze geïnformeerd en geïnspireerd geraakt door de mogelijkheden die geothermie biedt in de verduurzaming van de warmtevoorziening. Algemene informatie wordt verschaft via de website californie.nu. Tenslotte worden er op verzoek regelmatig lezingen en presentaties gegeven, actief deelgenomen aan (maatschappelijke) discussies en wordt er informatie gedeeld via DAGO en het Platform Geothermie.

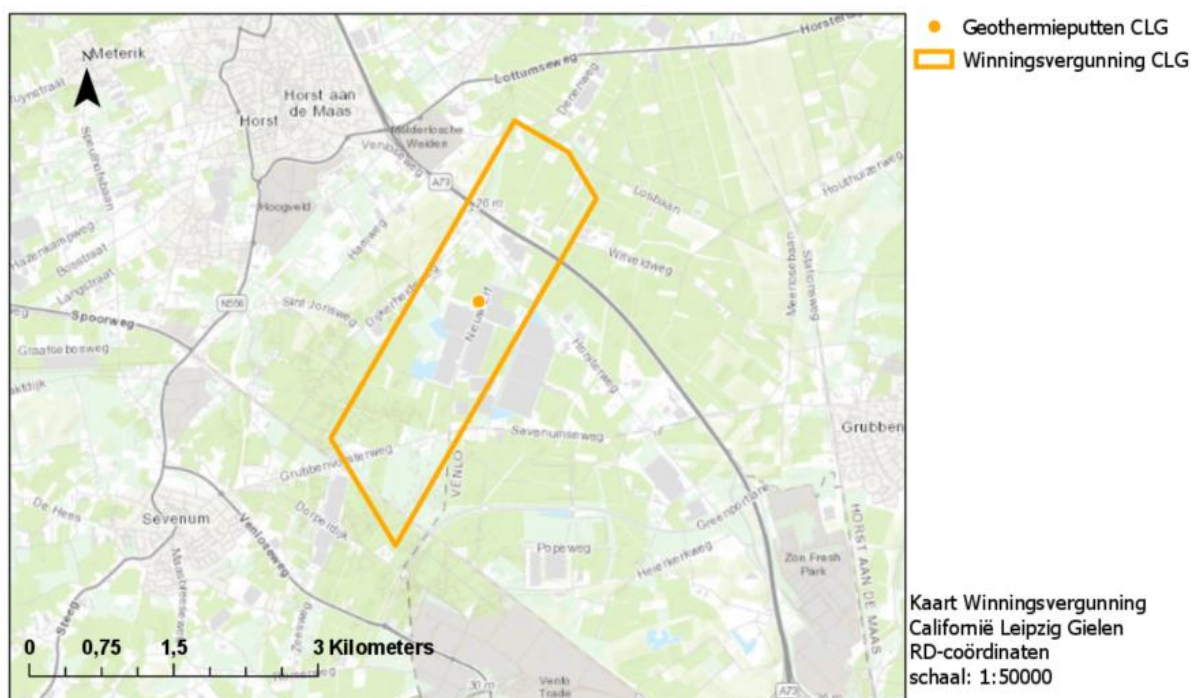
2. Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem

2.1 Locatie van het geothermisch systeem

Californië Lipzig Gielen Geothermie BV exploiteert sinds 2017 een aardwarmte-installatie, aan de Nieuw Erf 3 te Horst, in de gemeente Horst aan de Maas, in Provincie Limburg. De winningsvergunning is op 5 juli 2017 verleend en geldig voor een periode van 35 jaar. De winningsvergunning heeft een oppervlakte van 4,63 km². De coördinaten van de winningsvergunning zijn:

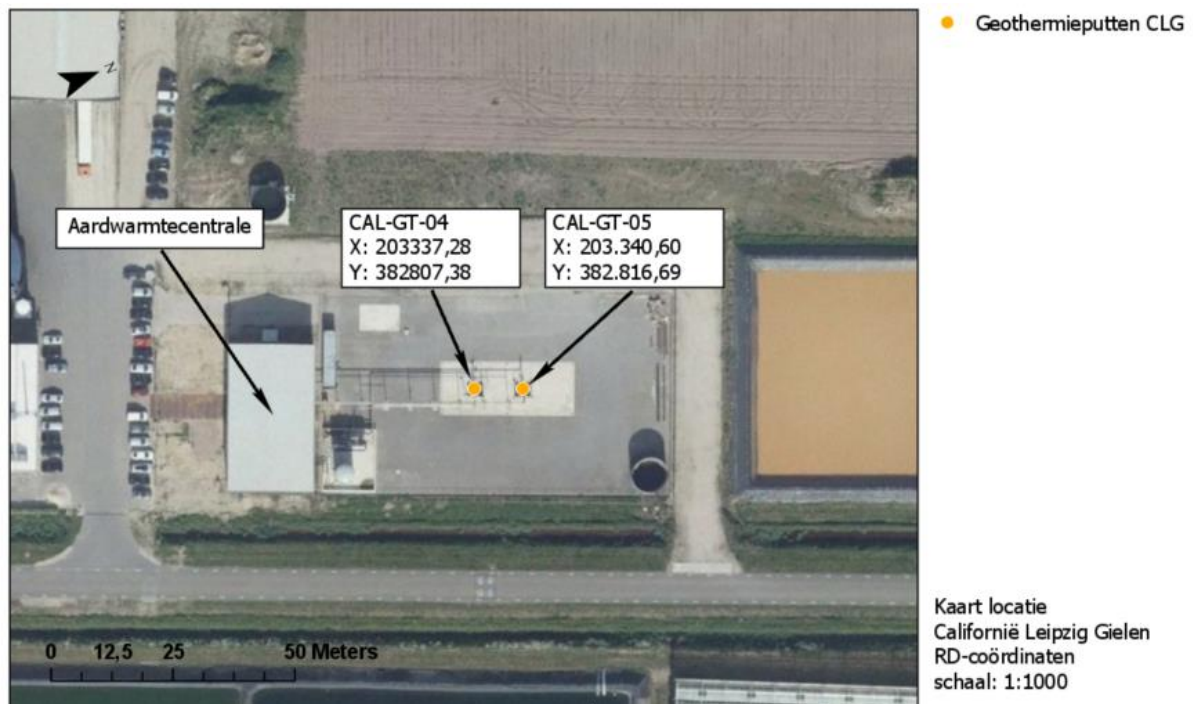
Punt	X	Y
A	203716,327	384694,245
B	204273,627	384371,587
C	204567,000	383888,000
D	202480,000	380288,000
E	201806,000	381399,000

De ligging van de geothermieputten van Californië Lipzig Gielen en de winningsvergunning (Aardwarmte Californie V) is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Overzicht winningsvergunning en geothermieputten Californië Lipzig Gielen

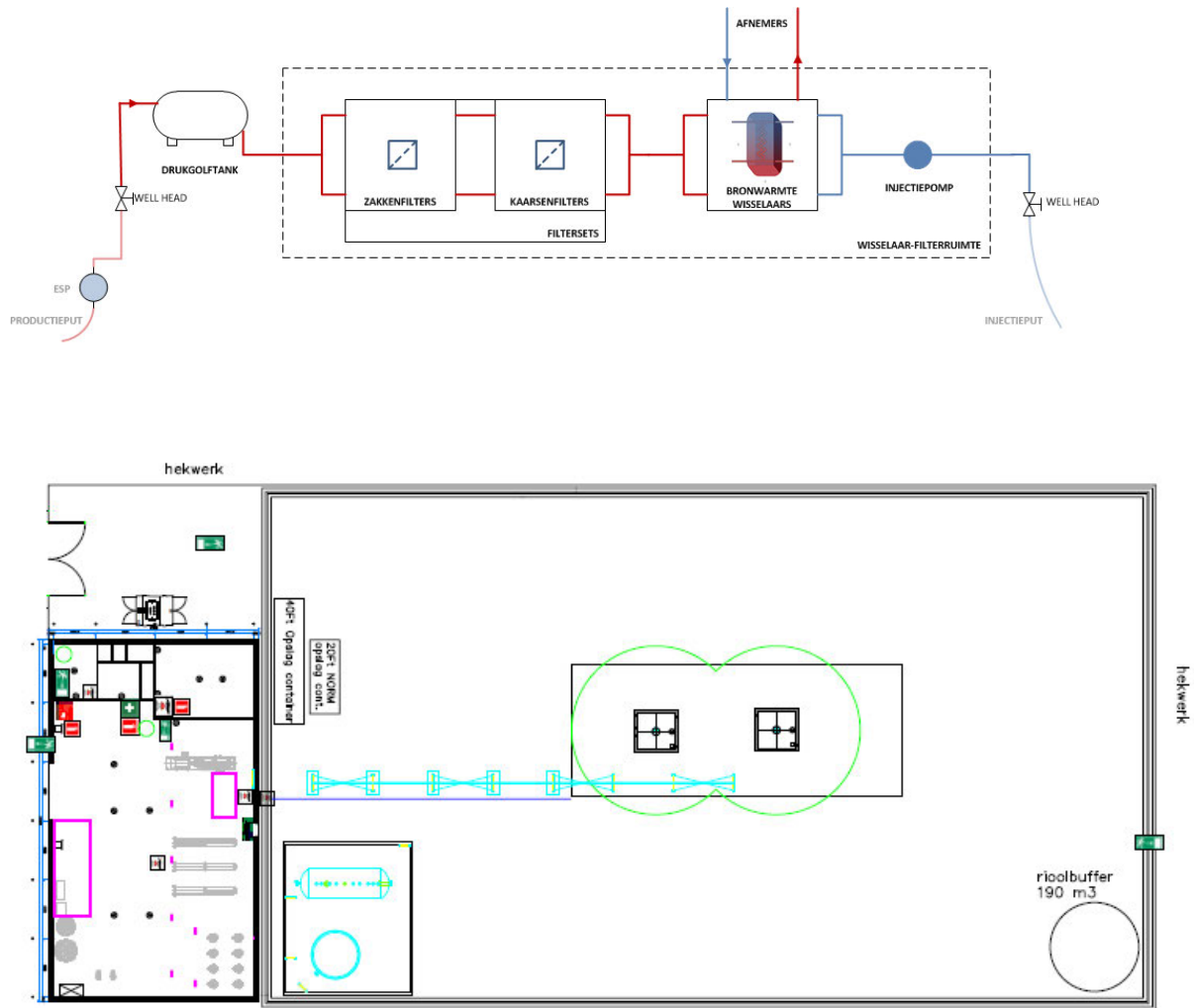
In figuur 2 is op een luchtfoto de ligging van het pomphuis en de geothermieputten weergegeven, inclusief de RD-coördinaten.



Figuur 2: Locatie geothermisch systeem Californië Lipzig Gielen, met de coördinaten van de wellheads

2.2 Beschrijving van geothermisch systeem

De geothermische installatie van Californië Lipzig Gielen is schematisch weergegeven in figuur 3 en bestaat in feite uit een productieput (CAL-GT-04) en een injectieput (CAL-GT-05) met daartussen een drukgolftank en een aardwarmtecentrale waar warmte wordt onttrokken aan het geproduceerde bronwater. Via pijpleidingen zijn al deze faciliteiten met elkaar verbonden. Via de warmtewisselaars wordt de warmte overgedragen aan een transportnet voor levering aan de gebruikerszijde. Tenslotte wordt met behulp van een injectiepomp het afgekoelde bronwater weer terug in de aquifer gebracht.



Figuur 1: Schematische weergave en plattegrond van de mijnbouwinstallatie

3. Beschikbare en gebruikte putten en seismische data

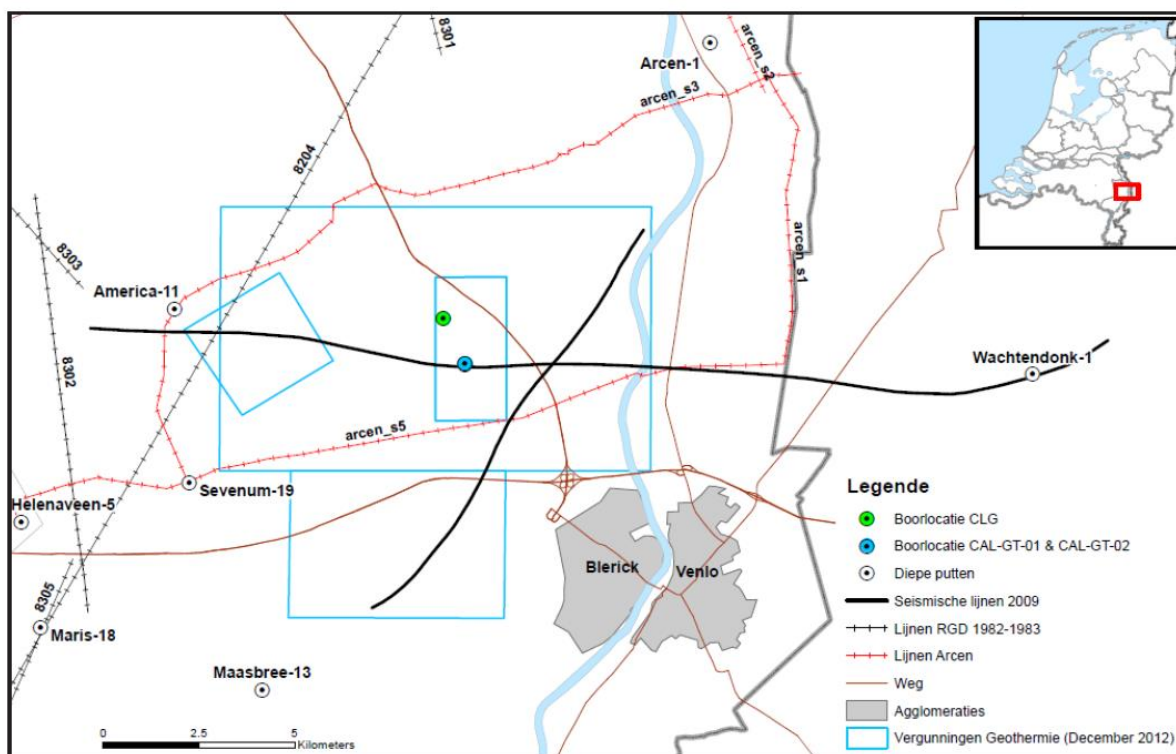
In dit hoofdstuk wordt beschreven welke boringen en seismische data zijn gebruikt voor de gedetailleerde evaluatie van de ondergrond. Voor meer informatie wordt verwezen naar het geologisch onderzoek van Californië Lipzig Gielen uit 2016, welke is uitgevoerd door VITO.

3.1 Keuze van de referentieputten en putinformatie

In figuur 4 is de locatie weergegeven van de voor het geologisch onderzoek gebruikte boringen.

3.2 Seismische gegevens

In figuur 4 is de locatie van de gebruikte seismische gegevens weergegeven op een kaart.



Figuur 4: Overzicht gebruikte gegevens: locatie van putten en gebruikte seismische data. Bron: geologisch onderzoek

3.3 Coördinaatsysteem

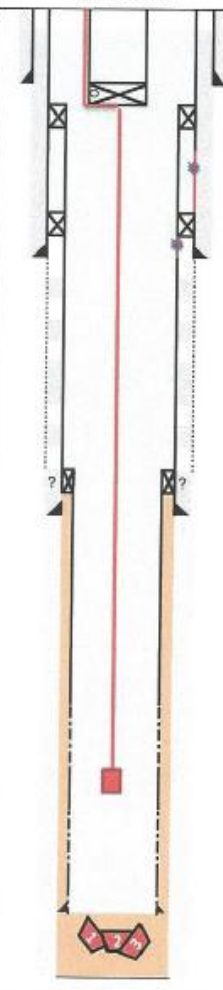
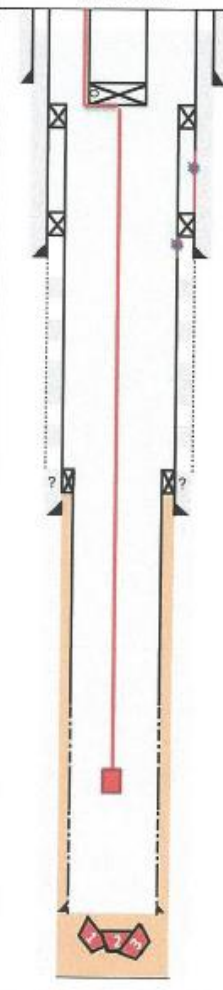
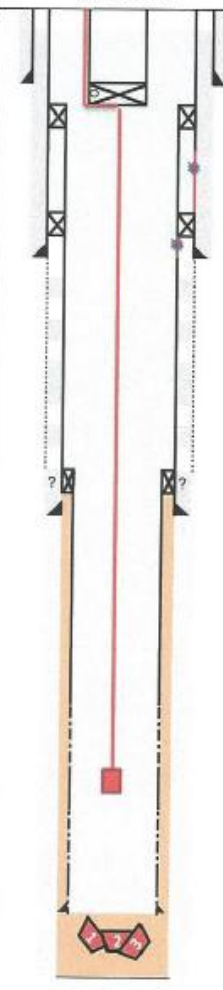
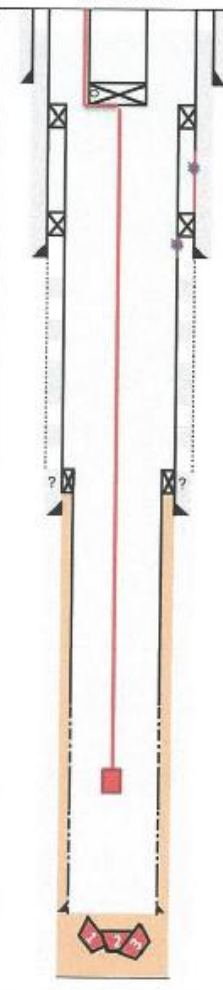
Alle kaarten en seismische onderzoeken zijn weergegeven in het RD coördinatenstelsel.

3.4 Beschrijving van de putten

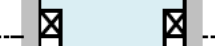
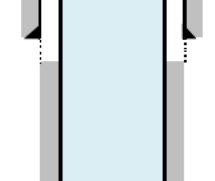
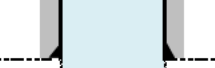
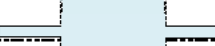
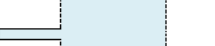
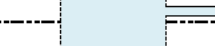
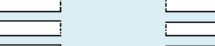
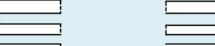
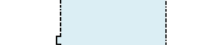
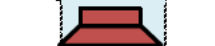
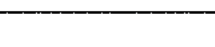
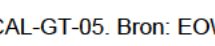
Californië Lipzig Gielen heeft een aardwarmte installatie welke bestaat uit een productieput (CAL-GT-04) en een injectieput (CAL-GT-05). Beide putten werden in 2015-2016 geboord en getest. In juni 2018 is er in de productieput een inhibitor string geïnstalleerd om op een diepte van 2740,4m AH inhibitor te kunnen doseren. In tabel 1 is algemene informatie over de putten gegeven en in figuur 5 en 6 is een schematisch overzicht te zien van de putten.

putnaam	CAL-GT-04	CAL-GT-05
Type put	Productie	Injectie
Spuddatum	02-12-2015	06-02-2016
Completie datum	04-02-2016	05-04-2016
X (RD) oppervlaktelocatie	203337,28	203.340,60
Y (RD) oppervlaktelocatie	382807,38	382.816,69
X (RD) einddiepte	202154,09	204711,17
Y (RD) einddiepte	382124,26	383607,99
Einddiepte (m AH)	3037,4	2433
Eind diepte (mTVD)	2592,5	2011

Tabel 1: Algemene put informatie.

Nr.	Item Description	Wellhead and Xmas tree CAL-GT-04 13-3/4" WH 5K	Depth		Well Incl.	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID
			m tvd	m ah		in	in	in (nom)	in	in (drift)
1	24" casing #~128 xS235 Welded		4	4	0		7.000	7.567	6.276	6.150
	ESP on 7" #26 P110HC VA-Roughneck		58	58						
	Top PBR / TXP Packer (middle)		200	200	0		24.000	welded		23.000
	Start penetration groove (casing wear)		472.4	472.4	+/- final depth TBD					
	KOP1		566	566 / 570						
2	9 5/8" 40# L-80 Polysal scab liner (tie-back in PBR)		598	598	0					
	13 3/8" x 9 5/8" liner hanger + packer + PBR		660	660	7	Top of liner (100 m liner lap)				
	13 3/8" casing #68 L-80 VAM TOP		805	805	18	17.5"	13 3/8"	14.175	12.415	12.259
	TOC		854	863						
	EOB1		1052	1098	42					
3	End penetration groove (casing wear)									
	9 5/8" x 7" patch + liner hanger + packer + PBR		1445	1632	43	Top of liner (50 m liner lap)				
	9 5/8" casing #40 L-80 Polysal		1518	1730	42	12.25"	9 5/8"	10.396	8.835	8.677
	12 1/4" Section TD		1548	1771	43	12.25"				
	Top Kohlenkalk		1577	1811	44					
4	Top perforation, Perf #5 (6m)		2151	2547	31					
	Perf #4 (6m)		2160	2557	30					
	3/8" - 0.065" WT Alloy 825 inhibition line			2740.4						
	Top Tegelen Fault		2326	2746	26					
	Perf #3 (6m)		2327	2747	26					
	Perf #2 (6m)		2338	2759	26					
	Perf #1 (6m)		2349	2771	26					
	Base Tegelen Fault		2356	2779	26					
	7" #26 P-110HC VA-Roughneck liner		2374	2799	26	8.500	7.000	7.567	6.276	6.150
	LIH: 3x Cones of TCI-Tricone bit		2584	unknown	21	8.500	TD			
	Open hole 8.1/2" (TD)									

Figuur 5: Schematische put configuratie CAL-GT-04. Bron: EOWR

Nr.	tem Description	Wellhead and Xmastree CAL-GT-05 13-3/4" WH 5K	Depth	Depth	Incl.	Hole D	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe D
			m tvd	m ah	°	in	in	in (nom)	in	in (drift)
	Injection well <i>Note: depths from RT (6.93m above GL)</i> Kill String - 7" 26# P110 VA-Roughneck		11	11	0		7.000	7.567	6.276	6.150
1	24" surface casing		207	207	0		24.000	welded		23.000
		KOP	377	377	0					
	13 3/8 x 9 5/8" liner hanger + tiebackpckr + PBR		724.5		17					
2	13 3/8" casing #68 L80 VAM TOP		790	799	22					
	TOP Lower Bundsandstein Formation		813	825	25	17.5"	13 3/8"	14.175	12.415	12.259
	TOC		817	830	25	section TD				
	EOB		907	930						
	TOP Epen Formation		1120	1211						
3	9 5/8" casing #40 L80 Polseal		1367	1545	43	12.25"	9 5/8"	10.396	8.835	8.677
	TOP Zeeland / Kohlenkalk Formation		1368	1547	43	section TD				
	Lateral #15 & #16: 2x 96m		1378	1560	42					
	TOP Bosscheveld Formation (Banjaard Group)		1492	1715	42					
	Lateral #14: 1x 96m		1673							
	Lateral #13: 1x 96m		1849							
	TOP Condroz Sandstone (Condroz Group)		1852							
	Lateral #11 & #12: 2x 96m		1628	1895	42					
	Lateral #9 & #10: 2x 96m		1990							
	Lateral #7 & #8: 1x 96m & 1x 95m		2054							
	Lateral #3-#6: 2x 96m, 2x 97m		2084		45	8 500	TD			
	Lateral #1-#2: 1x 1m, 1x 0m (no progress!)		2102-2103							
	LIH 10.45m 8.5in bit, bit sub, 6 3/4" spiral DC		2198							
	LIH 3x Cones of TCI-Tricone bit		unknown							
4	Well TD - 8 1/2" hole		2011	2433	45	8 500	TD			

Figuur 6: Schematische put configuratie CAL-GT-05. Bron: EOWR

3.5 Putintegriteit

De geothermieputten van Californië Lipzig Gielen zijn voorzien van meerdere barrières die contact tussen enerzijds de vloeistoffen in de put en anderzijds de omgeving voorkomen. Onderstaande onderdelen zijn geïdentificeerd als put barrières:

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

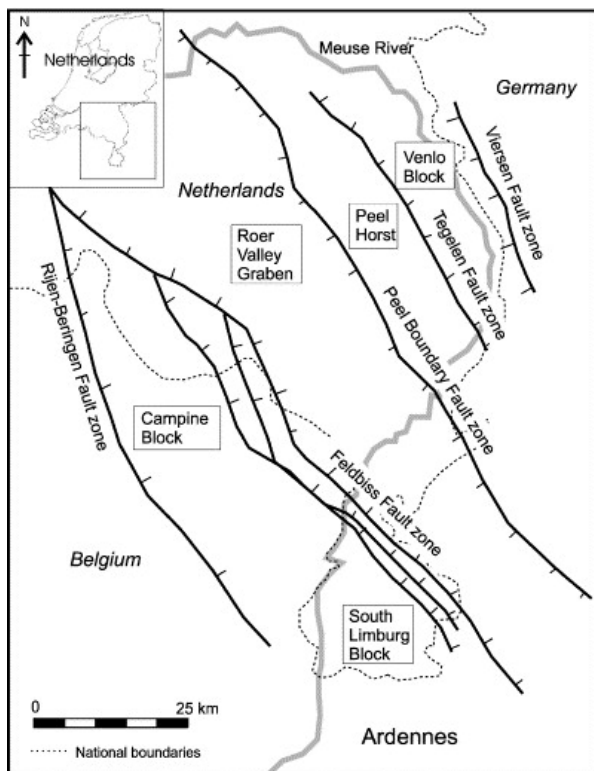
Deze barrières worden beheerd volgens een Well Integrity Management Systeem conform de ISO 16530-2. Verscheidene tests, inspecties en onderhoudsactiviteiten worden regelmatig uitgevoerd, om de integriteit van de barrières te monitoren en eventueel aanvullende maatregelen te nemen om de integriteit te waarborgen. De integriteit van de putten wordt gemonitord door op een frequente manier basismetingen omtrent corrosiviteit van het bronwater te doen en iedere 3-4 jaar (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

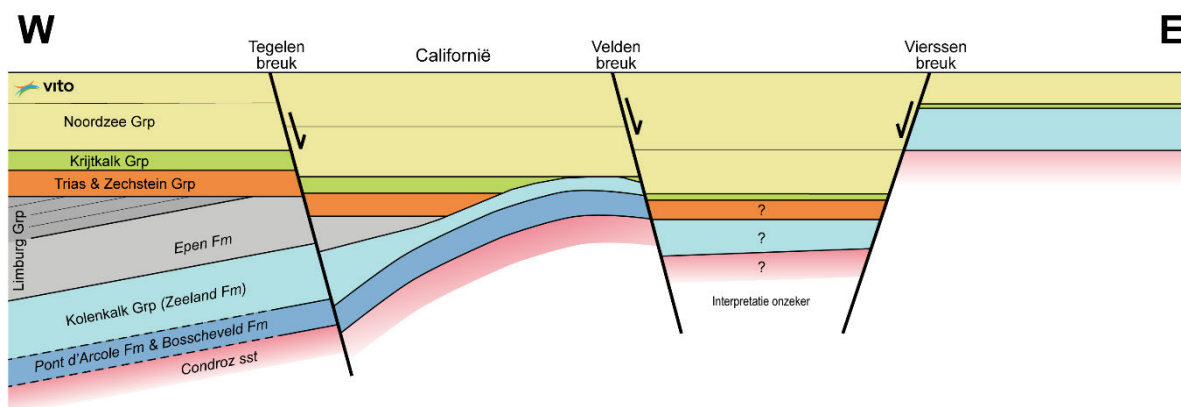
Het geothermieproject van CLG is in het glastuinbouwgebied Californië (gemeente Horst a/d Maas) zijn gelegen op het Venlo Blok (figuur 7). Dit is een van de structurele eenheden in de regio Limburg, die gedomineerd wordt door de aanwezigheid van een reeks noordwest-zuidoost georiënteerde breuken. Deze breuken maken deel uit van het breuksysteem van de Roerdal Slenk en zich uitstrekt over het zuidoosten van Nederland het noordoosten van België en het westen van Duitsland. Naar het westen toe grenst het Venlo Blok aan het Peel Blok. De grens wordt gevormd door het Tegelen breuksysteem. Het Peel Blok wordt dan weer van de Roerdal Slenk zelf gescheiden door de Peelrand breuk. De geologische structuur van het gebied wordt schematisch weergegeven in onderstaande doorsnede (figuur 8). Deze doorsnede houdt rekening met de elementen geïdentificeerd op de seismische lijnen geschoten in 2009.

De meeste geologische formaties die traditioneel gezien worden als potentieel reservoir voor geothermie zijn in de omgeving van Horst a/d Maas ofwel niet aanwezig, ofwel ondiep gelegen, ofwel erg dun. Dit maakt dat ze niet geschikt zijn voor geothermie in de glastuinbouw, waarbij gemikt wordt op een temperatuur van 70 à 80°C. Tijdens het geologisch onderzoek bleek dat de kalksteen en dolomiet van de Zeeland Formatie (Kolenkalk Groep) wel potentieel kon bieden. Deze formatie vormde dan ook de target voor het geothermieproject van CLG. De boringen mikten enerzijds op het voorkomen van een hoge secundaire permeabiliteit in verkarste zones, en anderzijds op verhoogde permeabiliteit nabij breukzones.

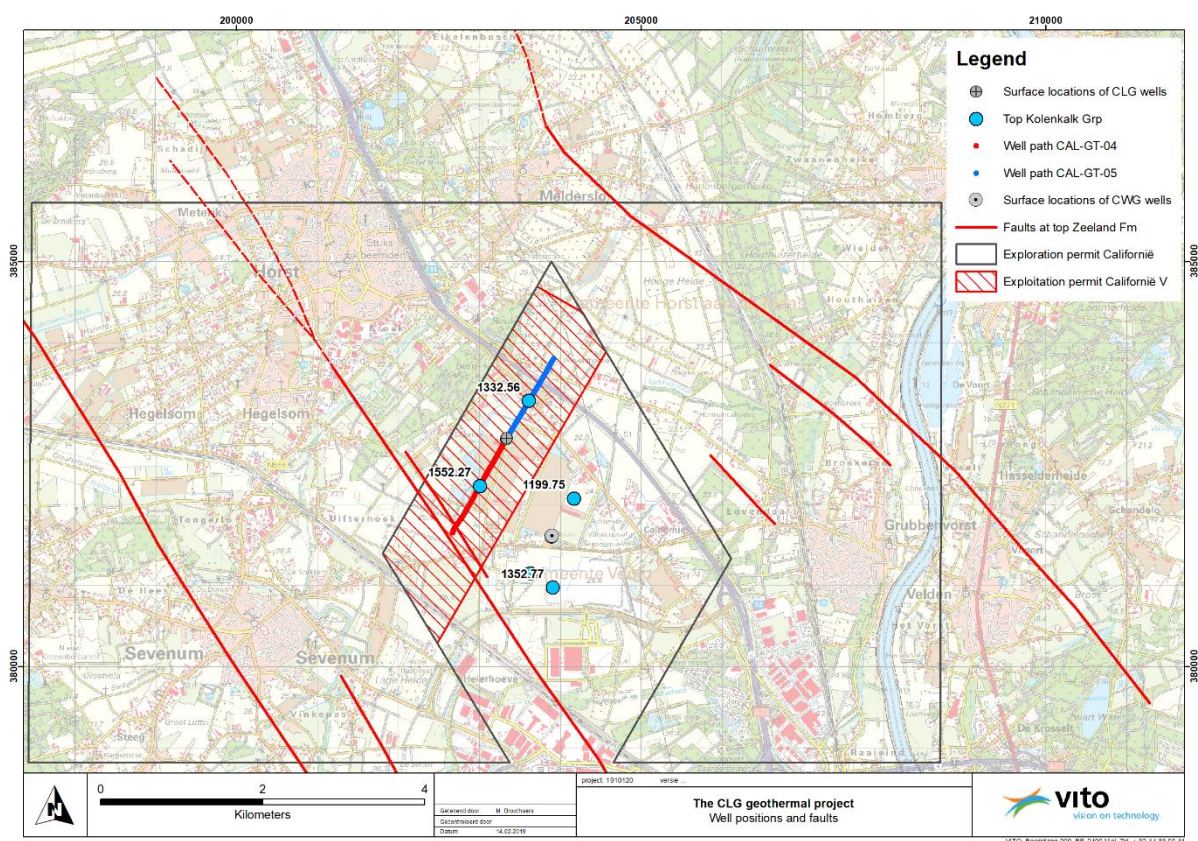
Op de locatie van CLG ligt de top van de reservoirformatie (Zeeland Formatie) op een diepte variërend tussen 1.200 en 1.500 m, afhellend naar het westen. De dikte van het pakket neemt in dezelfde richting toe, van minder dan 50 m in het oosten tot ruim 500 m tegen de Tegelen breuk aan. De variatie in diepte en dikte wordt geïllustreerd op de doorsnede in Figuur 9.



Figuur 7: De verschillende tektonische eenheden van het grabensysteem van de Roerdal Slenk (Houtgast et al., 2002).



Figuur 8: Schematische W-E dwarsdoorsnede doorheen het projectgebied (niet op schaal). De projectlocatie bevindt zich op het Venlo Blok, tussen de Tegelen en Velden breuken.

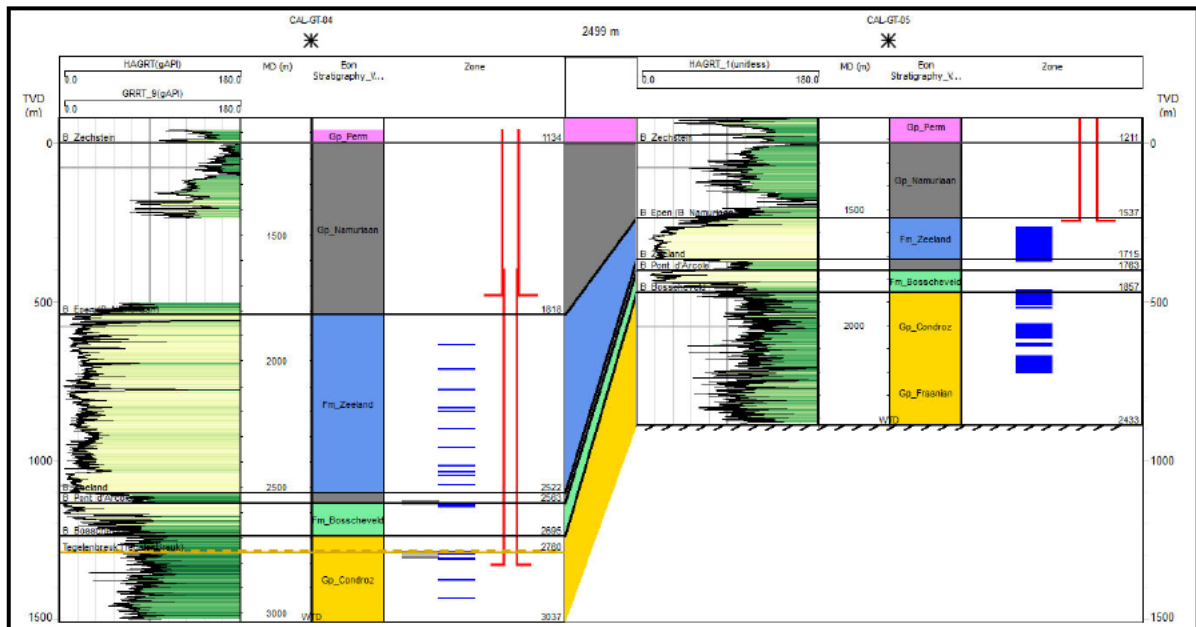


Figuur 9: Ligging van het project van CLG met boorlocatie en puttrajecten en het verloop van de belangrijkste breuken in het gebied.

De productieput (CAL-GT-04) is naar het zuidwesten geboord, richting de Tegelen breukzone. Zo produceert CAL-GT-04 uit permeabele zones nabij de Tegelen breukzone. De injectieput (CAL-GT-05) is dan weer naar het noordoosten geboord, van de breuk weg.

In beide putten zijn zowel de Zeeland Formatie (Kolenkalk Groep), de Pont d'Arcole Formatie, de Bosscheveld Formatie en de zandsteen van de informele Condroz eenheid aangeboord en kan water in of uit deze formaties stromen (10). In CAL-GT-04 zijn de Zeeland, Pont d'Arcole en Bosscheveld

formaties achter een *liner* geplaatst, met perforaties ter hoogte van de Bosscheveld Formatie en de top van de Condroz zandsteen (Tegelen breukzone). De *liner* is echter niet gecementeerd zodat er nog steeds contact is met alle intervallen. De rest van de Condroz zandsteen is in *open hole* gebleven. In CAL-GT-05 is het ganse interval *open hole* gebleven. De PLT (zowel in 2016 als in 2017) heeft aangetoond dat er water geïnjecteerd wordt in alle intervallen. Het merendeel stroomt echter weg in de Condroz zandsteen.



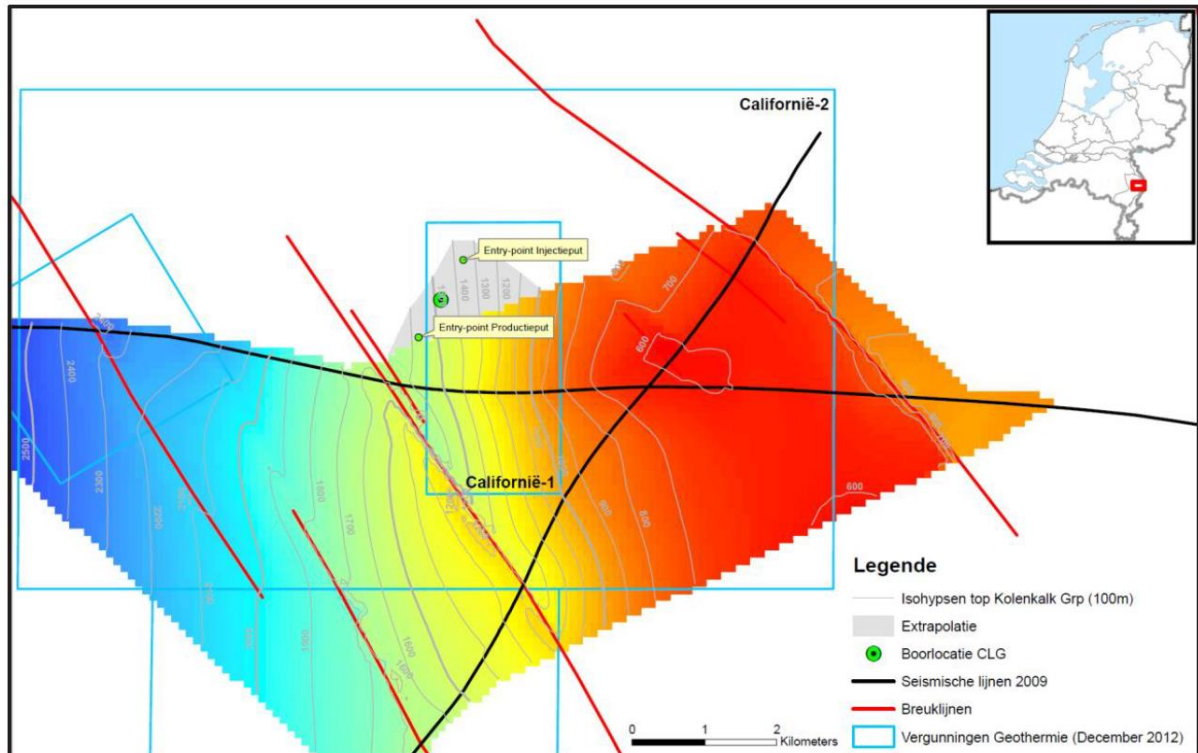
Figuur 10: Correlatiepaneel tussen putten CAL-GT-04 (links) en CAL-GT-05 (rechts). Beide putten maken contact met de Zeeland, Pont d'Arcole, Bosscheveld en Condroz pakketten.

De geothermieputten van CLG gebruiken de Zeeland Formatie (Kolenkalk Groep), de Pont d'Arcole Formatie, de Bosscheveld Formatie en de zandsteen van de informele Condroz eenheid als aquifer. De belangrijkste eigenschappen van deze aquifers zijn samengevat in tabel 2.

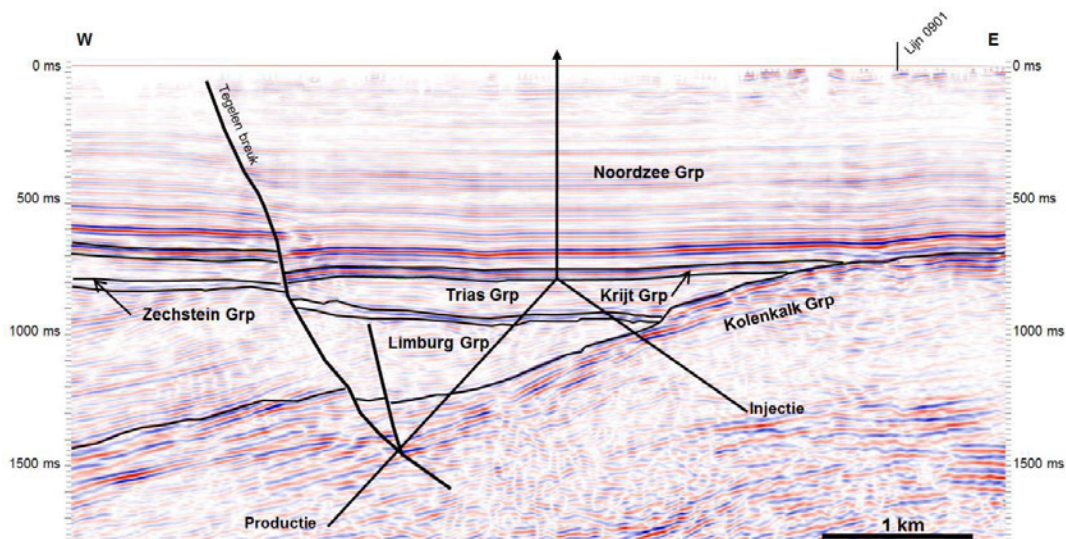
Parameter	CAL-GT-04	CAL-GT-05
Aquifer stratigrafie		
Diepte top Kolenkalk (m MD)	1818	1560
Diepte top Kolenkalk (m TVD)	1583	1378
Diepte top Pont d'Arcole Formatie (m MD)	2522	1715
Diepte top Pont d'Arcole Formatie (m TVD)	2131	1492
Diepte top Bosscheveld formatie (m MD)	2563	1763
Diepte top Bosscheveld formatie (m TVD)	-	-
Diepte top Condroz zandsteen (m MD)	2695	1895
Diepte top Condroz zandsteen (m TVD)	2282	1628
Diepte top Tegelen breuk (m MD)	2755	
Diepte top Tegelen breuk (m TVD)	2335	
Bruto Dikte (m)	480	
Permeabiliteit (mD) uit puttest	175	
Skin welltest (-)	-7	
Temperatuur mid-reservoir (C)	84	
Reservoir druk top aquifer (bar)	211	

Tabel 2: Aquifer karakteristieken. Bron: EOWR & well test rapportages

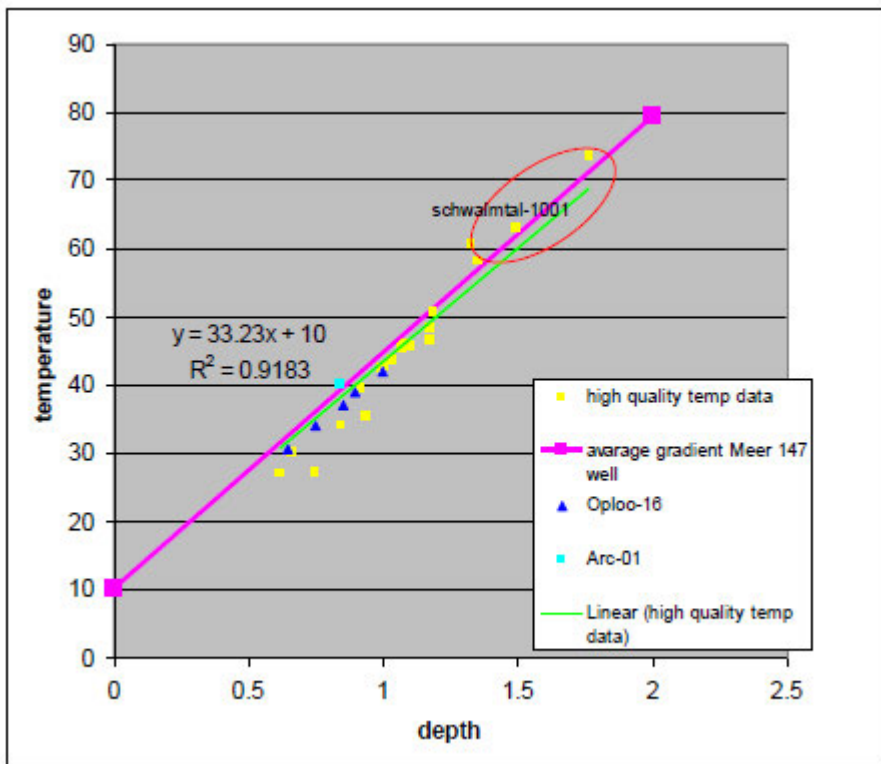
In figuur 11 is de ligging van de aquifers weergegeven. In figuur 12 is de diepte van de top van de Kolenkalk groep aquifer weergegeven, voor de Kolenkalk groep. In figuur 12 is een seismische sectie te zien met beide geothermieputten. In deze seismische secties zijn de aanwezige breuken in de ondergrond te zien als zwarte lijnen. De temperatuurgradiënt bedraagt ongeveer 33,23 °C per 1000 meter, met een oppervlaktetemperatuur van 10 °C (zie figuur 13).



Figuur 11: Diepte kaart van de top van de Kolenkalk groep. Met breuken en puttrajecten. Bron: geologisch onderzoek



Figuur 12: Seismische sectie met beide geothermieputten. Bron: geologisch onderzoek



Figuur 23: Temperatuur versus diepte. Bron: geologisch onderzoek

3.6 Formatiewater karakteristiek

In tabel 3 en 4 wordt de compositie van het formatiewater en de gasbijvangst gegeven op basis van watermonsters en gasanalyses. De hoeveelheid gas is overigens zeer gering. Deze wordt tijdens het proces van warmteonttrekking in oplossing gehouden.

Parameter	CAL-GT-04
TDS (mg/l)	95000
Density (g/l)	1,054
Bubblepoint pressure (bar)	-
GWR (m ³ /m ³)	nvt
OWR (m ³ /m ³)	nvt
Anorganische Componenten	
Aluminium (Al)	<0.5
Antimoon (Sb)	<0.5
Barium (Ba)	11
Boor (B)	11
Cadmium (Cd)	<0.1
Calcium (Ca)	4800
Calcium (CaCO ₃)	12000
Chroom (Cr)	<0.1
Koper (Cu)	<0.1
IJzer (Fe)	27
Lood (Pb)	<0.1
Lithium (Li)	25
Magnesium (Mg)	560
Magnesium (CaCO ₃)	2300
Mangaan (Mn)	2.9
Molybdeen (Mo)	<0.5
Nikkel (Ni)	<0.1
Kalium (K)	2100
Silicium (Si)	20
Silica (SiO ₂)	43
Natrium (Na)	29000
Natrium (CaCO ₃)	62000
Strontium (Sr)	240
Vanadium (V)	0.6
Zink (Zn)	0.5
Fluoride (F)	<50
Chloride (Cl)	63000
Nitriet (NO ₂)	<50
Bromide (Br)	<50
Nitraat (NO ₃)	<50
Ortho Fosfaat (PO ₄)	<50
Sulfaat (SO ₄)	88

Tabel 3: Formatiewater karakteristieken.

	CAL-GT-04
Anorganische Componenten	(%)
Helium	1,822
Argon	0,225
Waterstof	2,124
Zuurstof	0,002
Stikstof	35,891
Kooldioxide	32,034
Koolmonoxide	0,015
Methaan	27,838
Ethaan	0,047

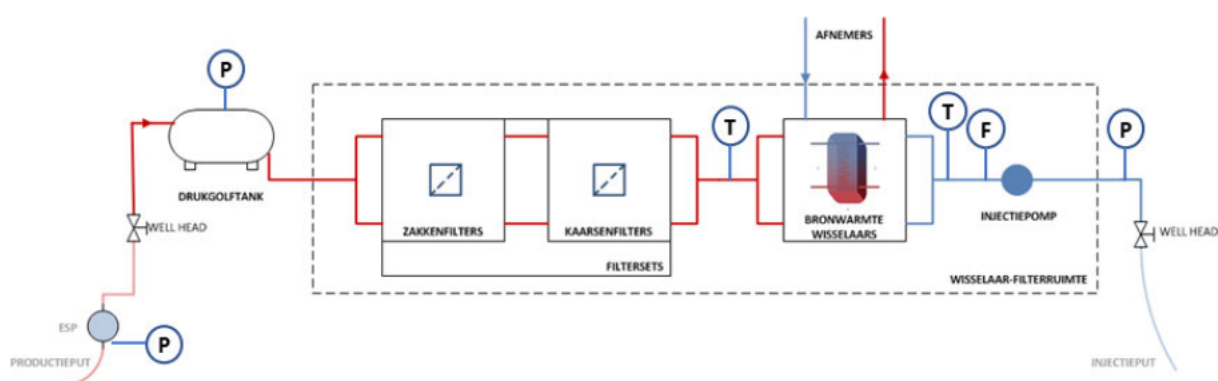
Tabel 4: Karakterisatie gas.

4. Wijze van winning

4.1 Beschrijving winning

Het primaire systeem van Californië Lipzig Gielen bestaat uit een geothermisch doublet (productie- en injectiebron), een drukgolftank en een aardwarmtecentrale. In stilstand staat het water vrij in de putten en onder maaiveld. Er is geen drukopbouw in de putten en de bronnen zijn niet zelfstromend (dode putten). In de productiebron wordt het bronwater met behulp van een ESP omhoog gepompt. Via leidingen en een drukgolftank wordt dit bronwater naar filters geleid die het water ontdoen van eventueel aanwezige zand/gesteente deeltjes. Na filtratie wordt dit water door een aantal warmtewisselaars geleid die de warmte afstaan aan een secundair circuit. Het afgekoelde bronwater wordt vervolgens door een injectiepomp terug naar de injectieput gebracht en vervolgens stroomt het weer naar de aquifer/reservoir.

In figuur 15 is een schematisch overzicht van de installatie weergegeven, inclusief de locaties van meetsondes waarmee het debiet, de temperatuur en drukken worden gemonitord en geregistreerd.



Figuur 15: Schematisch overzicht van de installatie met de meetsondes. Bron: Rapport Opstart en gebruik

In tabel 5 zijn de operationele begrenzings van de geothermieputten van Californië Lipzig Gielen samengevat.

Operationele begrenzing	waarde	dimensie
Max injectiedruk WABO	43	bar

Tabel 5: Operationele begrenzings. Bron: Omgevingsvergunning

In tabel 6 worden de drukken en productiegegevens bij regulier bedrijf weergegeven.

Put	Prognose waarde
Debiet geproduceerd water (m ³ /h)	320 (200 gemiddeld)
Gemiddelde temperatuur van het productiewater, gewogen per volume, gemeten voor de warmtewisselaar (°C)	87
Gemiddelde druk direct onder de pomp in productieput (bar)	38
Laagste druk direct onder de pomp in productieput (bar).	35
Druk aan de putmond van de productieput (bar)	3-5
Verhouding hoeveelheid olie uit productieput indien onttrokken uit de aquifer (Sm ³ /m ³)	Nvt

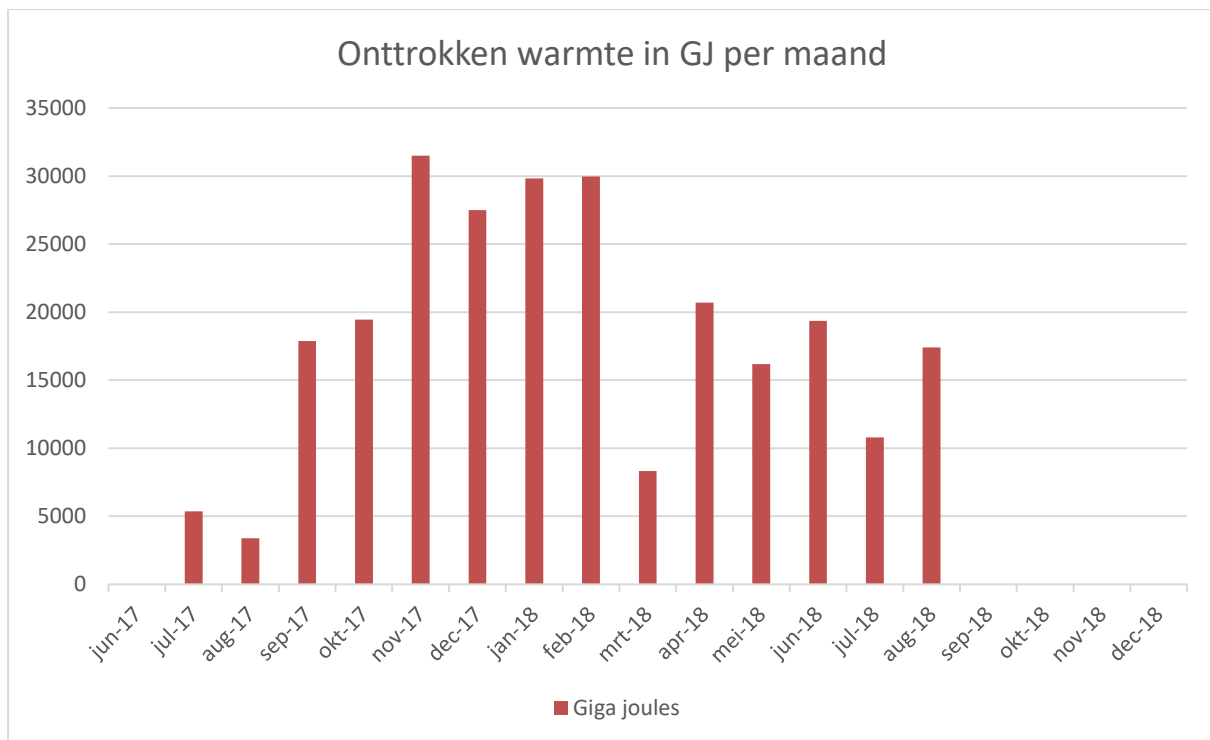
Verhouding hoeveelheid gas uit productieput indien onttrokken uit de aquifer (Nm ³ / m ³)	Nvt
Verhouding hoeveelheid condensaat uit productieput indien onttrokken uit de aquifer	Nvt
Hoeveelheid in de productieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	15 ppm
Debiet geïnjecteerd water (m ³ /h)	200 gemiddeld
Gemiddelde temperatuur van het injectiewater, gewogen per volume, gemeten tussen warmtewisselaar en de putmond (oC)	40
Gemiddelde druk aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	20-35
Gemiddelde operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	170
Maximale druk van aan de injectieputkant van de injectiepomp (bar)	43
Maximale operationele injectiedruk op reservoir niveau (bar)	183
Hoeveelheid in de injectieput ingebrachte inhibitor (l/m ³)	15 ppm via productieput
aantal vollasturen per jaar (d)	8600
Prognose onttrokken warmte per jaar (GJ)	338.000 GJ (maximaal)
hoeveelheid benodigde elektrische energie (kWh)	800 kWh
Geïnstalleerd vermogen installatie (MW _{th})	15 MW _{th}

Tabel 6: Karakterisatie geothermisch systeem performance onder beoogde standaard operationele condities.

In tabel 7 en figuur 16 is de historische productie van de aardwarmte installatie van Californië Lipzig Gielen vanaf 2017 weergegeven. In tabel 7 is ook de productie voor de komende jaren beschreven.

Jaar Vanaf status datum	Jaar	Prod. Temp. (°C)	Hoeveelheid water(mln m ³)	Energie (GJ)	Inhibitor (m ³)	Aantal vollast uren (hrs)	Energie- consumptie (kWh)
1	2017	87	535095	105086	7,767	2746,5	1251491
2	2018	87	808030	152556	12,912	3877	1800874
3	2019	87	1200000	253500	18	6450	2816650
4	2020	87	1600000	338000	24	8600	3755000
5	2021	87	1600000	338000	24	8600	3755000
6	2022	87	1600000	338000	24	8600	3755000
7	2023	87	1600000	338000	24	8600	3755000
8	2024	87	1600000	338000	24	8600	3755000
9	2025	87	1600000	338000	24	8600	3755000
10	2026	87	1600000	338000	24	8600	3755000
11	2027	87	1600000	338000	24	8600	3755000
12	2028	87	1600000	338000	24	8600	3755000
13	2029	87	1600000	338000	24	8600	3755000
14	2030	87	1600000	338000	24	8600	3755000
15-35	2052	87	1600000	338000	24	8600	3755000

Tabel 7: Productieprofiel voor 2017 en 2018 en prognose voor periode 2019-2030.



Figuur 16: Historische productie doublet, periode 2017-2018.

4.2 Duur van winning

Californië Lipzig Gielen is in het bezit van een winningsvergunning voor aardwarmte, welke op 5 Juli 2017 is verleend. Deze winningsvergunning is geldig voor een periode van 35 jaar, tot 16-08-2052.

4.3 Toekomstige ontwikkeling

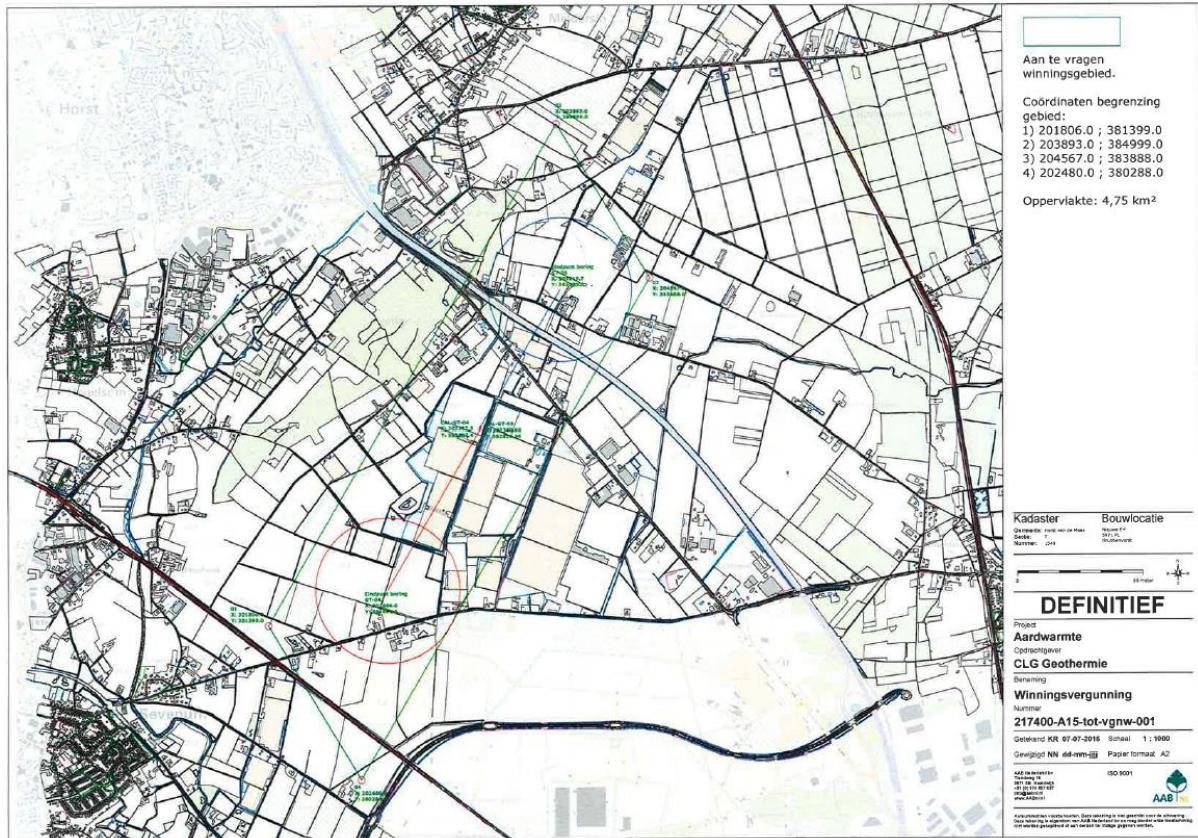
Californië Lipzig Gielen Geothermie BV is opgericht om duurzame warmte aan klanten in de directe omgeving te leveren. Daarmee kan zij een tastbare bijdrage leveren aan de energietransitie (van haar klanten) en aan de kennisontwikkeling rond de toepassing van geothermie nabij breuksystemen. In de periode 2019-2052 wil CLG op planmatige en veilige wijze warmte leveren en een gezonde/rendabele exploitatie realiseren. Zij zal bij de exploitatie van haar doublet rekening houden met omgevingsfactoren zoals risico's op seismiteit. Zij zal daartoe de relatie blijven onderzoeken tussen geothermische activiteiten en geïnduceerde seismiteit.

Indien mogelijk zal CLG kijken naar mogelijkheden om additionele klanten/afnemers aan te sluiten, dan wel naar de mogelijkheden om de afname van duurzame warmte te optimaliseren. Ook zal zij kijken waar mogelijke samenwerking gerealiseerd kan worden met andere duurzame warmte initiatieven in de regio.

Binnen diverse kennisgroepen zal CLG bijdragen aan de verspreiding van relevante ervaringen m.b.t. geothermie in of nabij breuksystemen. Deze kennis wordt met name relevant gedacht voor UDG-projecten, die een belangrijke sleutel vormen in een succesvolle warmtetransitie.

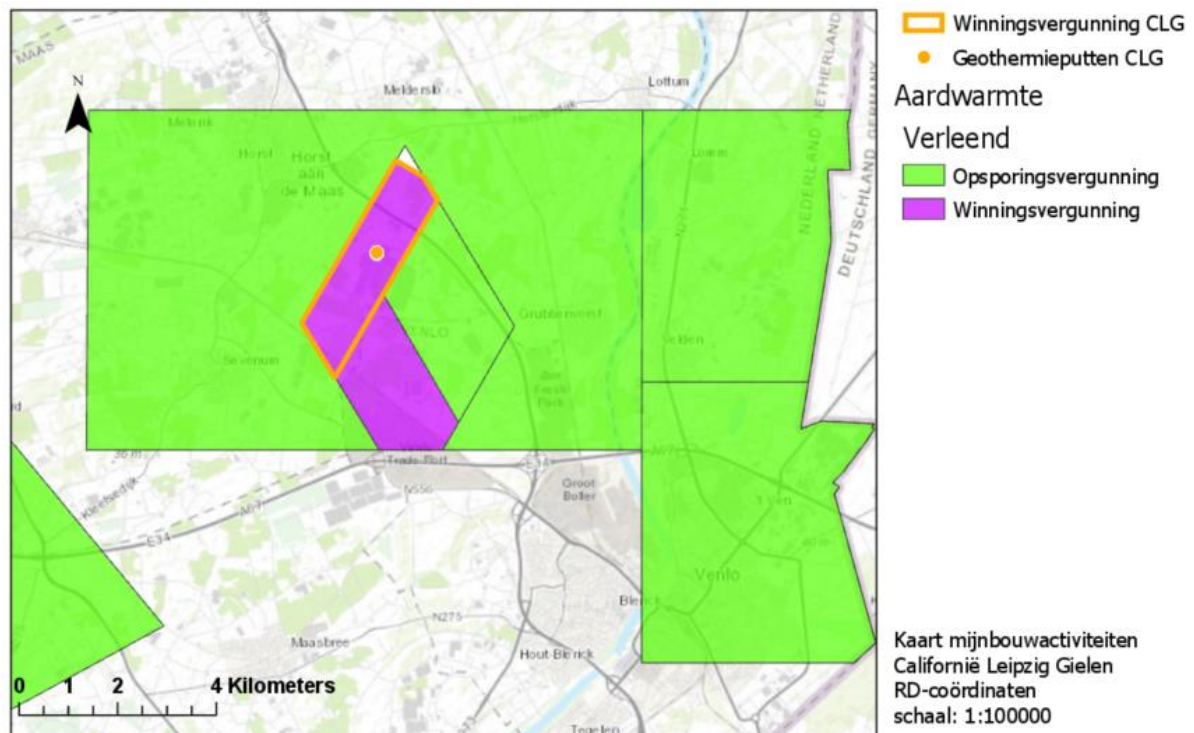
4.4 Interferentie

De gebiedsbegrenzing van de winningsvergunning Californië V is bepaald door de Franse methode toe te passen op de geothermieputten van Californië Lipzig Gielen. In figuur 17 zijn zowel de contouren van de winningsvergunning te zien als het gebied dat door de geothermieputten wordt beïnvloed volgens de Franse methode.

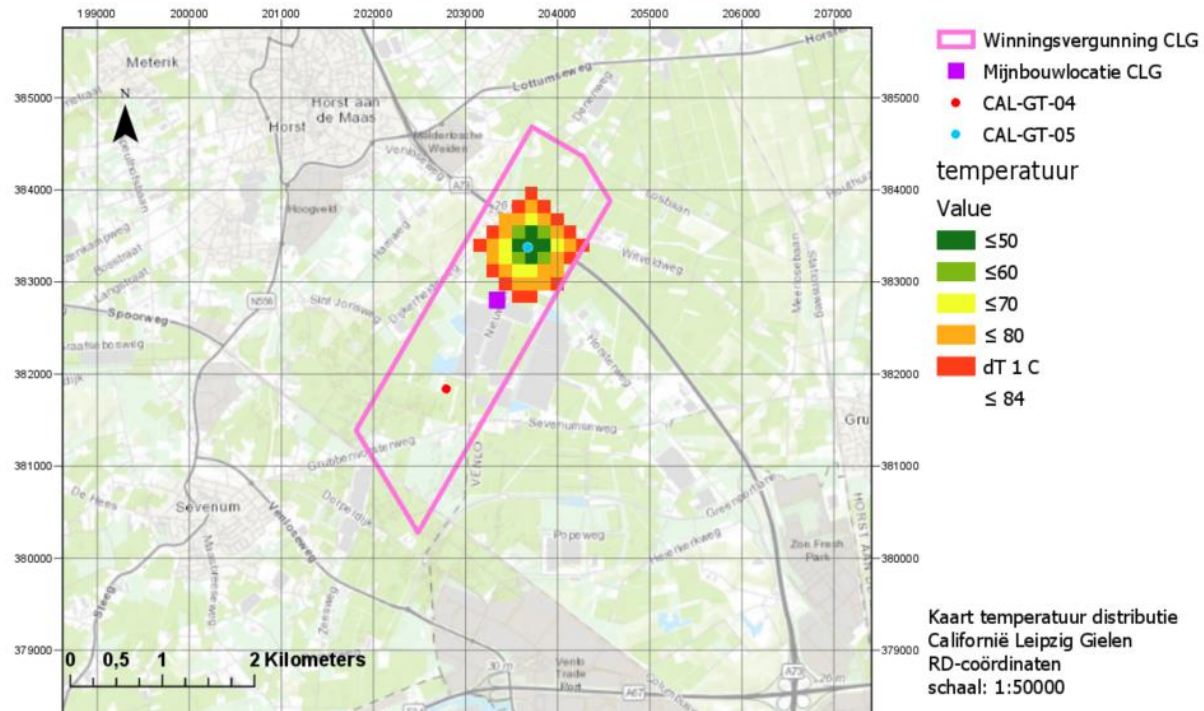


Figuur 17: Kaart met de huidige winningsvergunning van Californië Lipzig Gielen en de beïnvloedingsgebieden van de geothermieputten. Bron: Aanvraag winningsvergunning

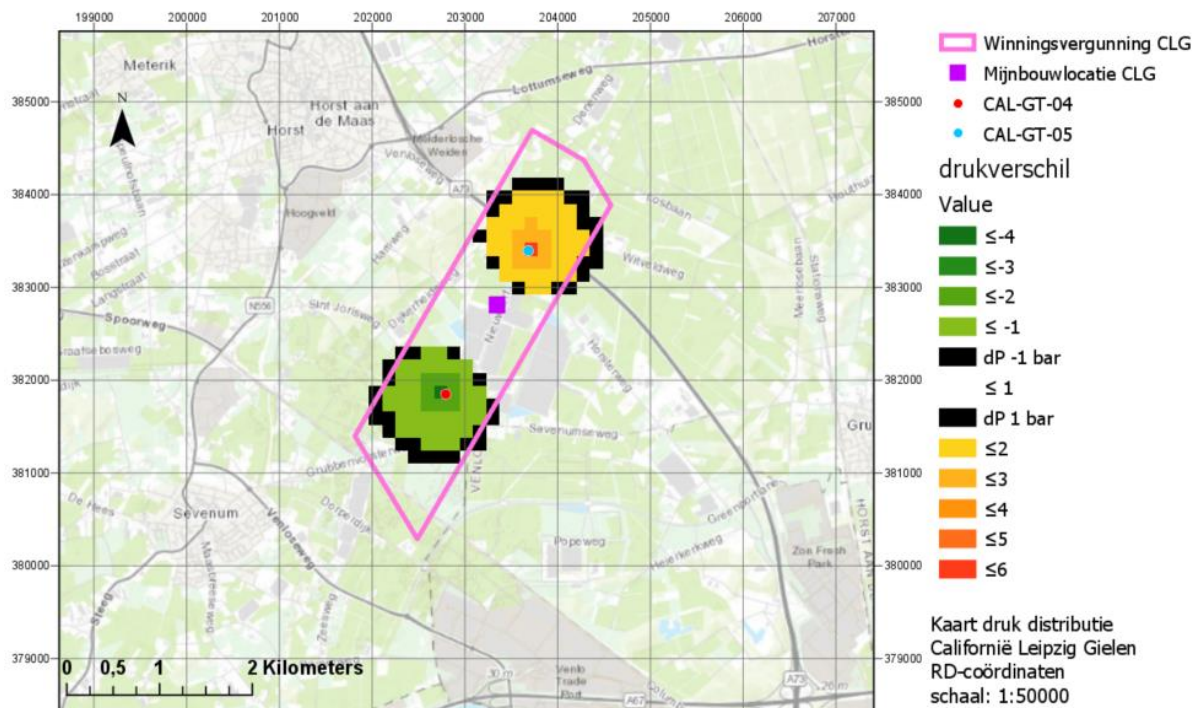
Binnen de winningsvergunning van Californië Leipzig Gielen is er geen sprake van interferentie met andere mijnbouwactiviteiten. De winningsvergunning grenst in het Zuidwesten aan de aardwarmte winningsvergunning Californië IV van Californië Wijnen Geothermie. Beide winningsvergunningen zijn in figuur 18 weergegeven.



In figuur 19 is de winningsvergunning van Californië Lipzig Gielen weergegeven met de verwachte temperatuursdistributie in de aquifer na een periode van 35 jaar. In figuur 20 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 300 m3/uur (50% boven de gemiddelde productie) voor een periode van 35 jaar.



Figuur 19: Kaart met verwachte temperatuur verdeling na 35 jaar productie.



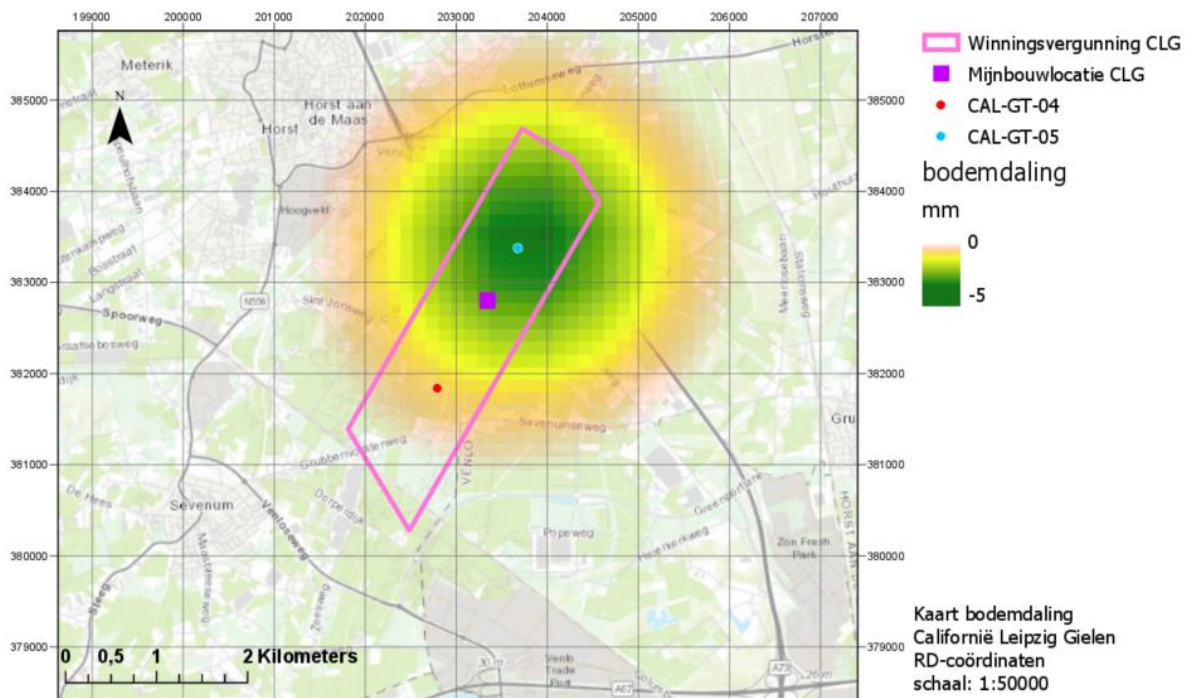
Figuur 20: Kaart met de verwachte drukverdeling in de aquifer gedurende 35 jaar productie.

1. Bodembeweging

5.1 Bodemdaling

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

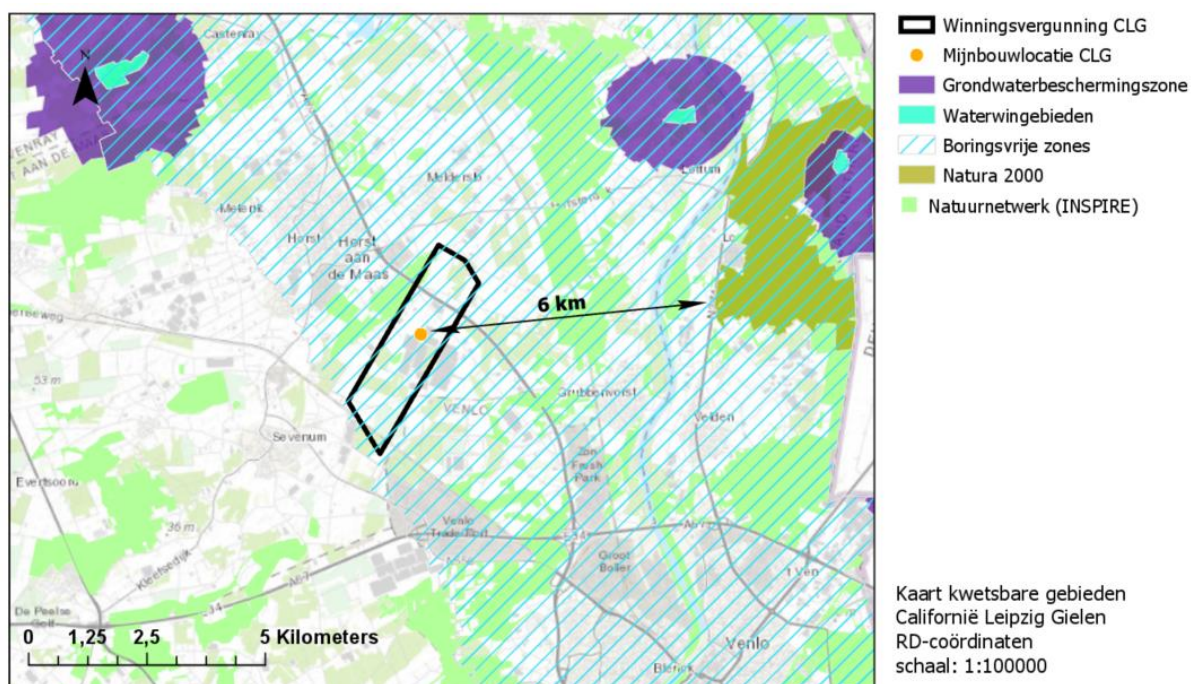
In theorie kan er wel compactie optreden in het reservoir door het thermo-elastisch effect rondom de injectieput. Ook kan compactie optreden door de drukverlaging rondom de productieput. De bodemdaling aan het maaiveld ten gevolge van compactie in het reservoir is berekend met behulp van DoubletCalc 2d. In figuur 21 is het reservoir met de putten CAL-GT-04 en CAL-GT-05 vereenvoudigd weergegeven. De bodemdaling is het hoogst in het donkergroene gebied en bedraagt hier ca. 5 mm. Hierbij is uitgegaan van een continue productie van 300 m³/uur (50% boven de gemiddelde productie) voor een periode van 35 jaar.



Figuur 21: Vereenvoudigde weergave van het reservoir met de putten CAL-GT-04 (rode stip) en CAL-GT-05 (blauwe stip) en de bodemdaling door productie en injectie in mm

In figuur 22 is de winningsvergunning van Californië Lipzig Gielen weergegeven, met de nabijgelegen natuurgebieden en drinkwatergebieden. De mijnbouwlocatie van Californië Lipzig Gielen bevindt zich niet in een kwetsbaar natuur- of drinkwatergebied. De putten doorboren ook geen drinkwater aquifers binnen een grondwaterbeschermingszone of waterwingebied. De geothermieputten en de mijnbouwlocatie van Californië Lipzig Gielen bevinden zich wel binnen een boringvrije zone, hierover is meer informatie opgenomen in hoofdstuk 5.3.

Binnen de winningsvergunning van Californië Lipzig Gielen ligt een natuurgebied dat onderdeel is van het Natuur Netwerk Nederland in Limburg. Het dichtstbijzijnde Natura 2000 gebied is het natuurgebied de Maasduinen. Dit natuurgebied bevindt zich op ca. 6 km afstand van de mijnbouwlocatie van Californië Lipzig Gielen.



Figuur 22 : Kaart met winningsvergunning Californië Lipzig Gielen en kwetsbare gebieden in Noord-Limburg

Naar verwachting zal er in de praktijk geen bodemdaling optreden, doordat er sprake is van drukcommunicatie tussen de putten en doordat de druk in het reservoir 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

Seismische monitoring

Reeds op het moment dat de eerste putten werden geboord in het glastuinbouwgebied Californië (2012), waren seismometers geplaatst. De seismometers waren afkomstig van het KNMI, dat de toestellen tijdelijk plaatste in de omgeving van de boorlocatie en ook de registratie van de gegevens voor haar rekening nam. Het monitoren van seismische activiteit gebeurde in overleg met SodM, na gesprekken over de mogelijke impact van drukverschillen veroorzaakt tijdens het doorboren van de Tegelen breukzone of in geval van verlies aan boorvloeistof (*mud losses*) bij het bereiken van de Zeeland Formatie.

Als één van de risico-mitigerende maatregelen (Vörös et al., 2015a) werd een netwerk voor seismische monitoring geïnstalleerd, in combinatie met een *Traffic Light System* (TLS), ook wel stoplichtsysteem genoemd. Het monitoring netwerk is operationeel sinds september 2014 en bestaat uit drie stations (K01, K02 en K03).

Station	Latitude	Longitude
K01	51° 25' 46,44" N	6° 5' 35,47" E
K02	51° 23' 47,97" N	6° 3' 48,21" E
K03	51° 24' 15,84" N	6° 6' 59,92" E

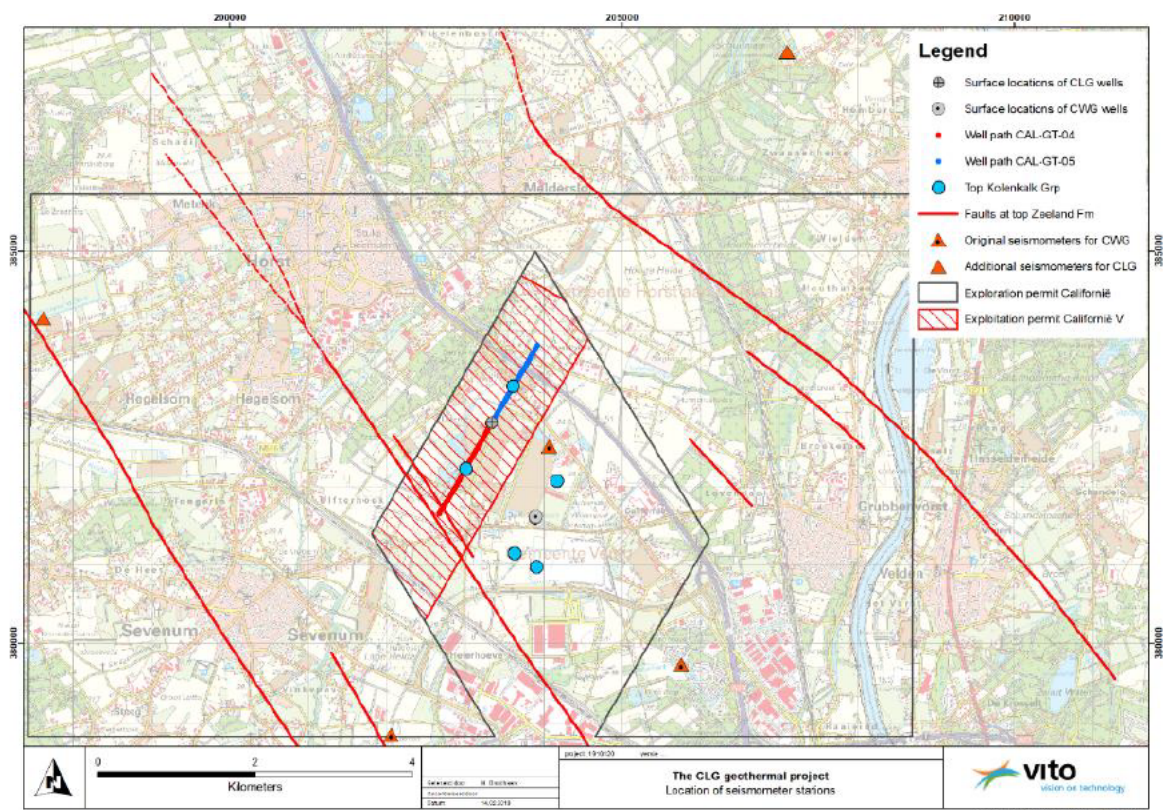
Tabel 8: Locatie van de eerste drie seismometers in het gebied, in gebruik sinds 2014.

Het TLS is een systeem waarbij maatregelen zijn beschreven, waaronder het wijzigen of staken van de geothermische en/of booractiviteiten, wanneer de gemeten reservoir-seismiciteit een vooraf bepaalde grenswaarde overschrijdt.

De putten voor het doublet van CLG werden geboord in 2015 en 2016. Tijdens de planningsfase was duidelijk dat het aanbevolen was om een TLS te hanteren voor de levensduur van het geothermisch project (Vörös et al., 2015b). Het door Vörös et al. gepresenteerde rapport rond de seismische gevaren analyse (SHA) geeft aan dat de verwachte spanningsveranderingen geïnduceerd door de geothermische activiteiten weliswaar klein zijn, maar mogelijk toch nog van orde van grootte kunnen zijn dat ze toch seismiciteit zouden kunnen induceren/triggeren op vlakbij gelegen breukvlakken.

Om het TLS te kunnen blijven hanteren was de detectielimiet van het seismometernetwerk niet overal in het projectgebied voldoende. Het bestaande netwerk van drie seismometers moest daarom uitgebreid worden, zodat ook in het noordelijke gebied een lage detectielimiet gerealiseerd kon worden. Simulaties toonden aan dat twee bijkomende seismometers vereist waren om aan de eisen van het TLS te voldoen. De positie van de twee additionele seismometers werd vastgelegd na het uitvoeren van simulaties en na het meten van de achtergrondruis in november en december 2015 (Rothert & Stang, 2015).

Het seismometernetwerk geopereerd door Q-con voor CWG en CLG is gevoeliger dan dat van KNMI. Er kunnen bevingen met kleinere magnitude worden gedetecteerd en hun positie (hypocentrum) kan met grotere precisie bepaald worden. Dit heeft te maken met de veel hogere ruimtelijke dichtheid van de seismometers en ook met de lokale snelheidsmodellen waarover Q-con beschikt.



Figuur 23: Locatie van de geïnstalleerde seismometer stations rondom het glastuinbouwgebied Californië.

Station	Latitude	Longitude
K04	51° 28' 28,06" N	6° 8' 13,91" E
K05	51° 26' 41,00" N	6° 0' 01,49" E

Tabel 9: Locatie van de twee seismometers toegevoegd aan het netwerk in 2015.

Het TLS voorgesteld voor CLG (Vörös et al., 2015b) gaat uit van een eerste limiet bij een piekgrondsnelheid (PGV) van 0,1 mm/s, en een tweede limiet bij een PGV van 0,3 mm/s. De limiet van 0,3 mm/s houdt rekening met de ondergrens voor de perceptibiliteit of waarneembaarheid door mensen van seismische events. Bij overschrijding van 0,1 mm/s voor de PGV wordt code Oranje van kracht waarbij de oorzaak onderzocht moet worden en mogelijke mitigerende maatregelen worden voorgesteld. Deze overschrijding moet gemeld worden aan de toezichthouder. Bij een PGV van minstens 0,3 mm/s wordt code Rood van kracht. Dit wordt onmiddellijk gemeld aan de

TLS Status			
Definition	PGV < 0.1 mm/s	PGV ≥ 0.1 mm/s	PGV ≥ 0.3 mm/s
Actions	none	1. investigate likely cause and potential mitigation measures 2. report to regulator	1. stop operations 2. report immediately to regulator

toezichthouder en de geothermische activiteiten worden zo snel als mogelijk afgebouwd en gestaakt.

Figuur 24: TLS gebruikt voor de activiteiten van CLG (Vörös et al., 2015b).

In mei 2018 maakten Vörös & Baisch een actualisatie van de SHA. Ze baseerden zich hiervoor op nieuwe gegevens afkomstig uit de putten CAL-GT-04 en CAL-GT-05. Hierbij werd enerzijds gebruik gemaakt van een geactualiseerd en meer gedetailleerd geologisch en reservoirmodel opgesteld door VITO (Broothaers & Harcouët-Menou, 2018). Anderzijds hielden de simulaties rekening met aangepaste reservoirkarakteristieken afkomstig uit de puttesten van CAL-GT-04 en CAL-GT-05, geanalyseerd door VITO (Broothaers & Harcouët-Menou, 2018). De conclusies van Vörös & Baisch (2018) bevestigen de resultaten van de oorspronkelijke SHA (Vörös et al., 2015b). Ze stellen dan ook voor om het TLS te hanteren met een “*next-business day*” responstijd zolang het debiet in dezelfde orde grootte blijft en er zich geen geïnduceerde bevingen hebben voorgedaan die een limiet van het TLS hebben overschreden.

Geregistreeerde seismiciteit en locatie

Sinds het begin van de metingen in 2014 heeft het netwerk van seismometers in totaal 17 seismische events gedetecteerd. Daarvan dateren er negen uit september 2018. De magnitude van de seismiciteit varieert tussen de -1.2 en 0.3, met één uitschieter tot 1.7. Een overzicht van de geregistreeerde bevingen is opgenomen in onderstaande tabel. Hierbij zijn telkens de datum, tijdstip en magnitude vermeld, zoals gerapporteerd door Q-con (Baisch & Vörös, 2018).

Event #	Datum & Tijd		Magnitude (M_L)
1	18.08.2015	02:47:05	-0.1
2	05.12.2015	08:07:28	0.3
3	26.01.2016	02:47:00	-0.3
4	02.04.2016	14:17:16	-0.5
5	25.01.2017	16:27:12	-0.3
6	31.01.2017	04:01:56	-0.5
7	08.04.2018	10:29:27	-0.2
8	25.08.2018	16:43:27	0.0
9	03.09.2018	18:11:23	-0.8
10	03.09.2018	18:12:35	-0.4
11	03.09.2018	18:20:31	1.7
12	03.09.2018	18:26:37	-0.3
13	03.09.2018	20:44:12	-1.0
14	04.09.2018	00:13:15	-1.2
15	06.09.2018	15:27:20	-0.4
16	06.09.2018	15:58:22	-0.5
17	09.09.2018	20:50:22	0.0

Tabel 10: Overzicht van de gedetecteerde events met het tijdstip van voorkomen en de magnitude (Baisch & Vörös, 2019).

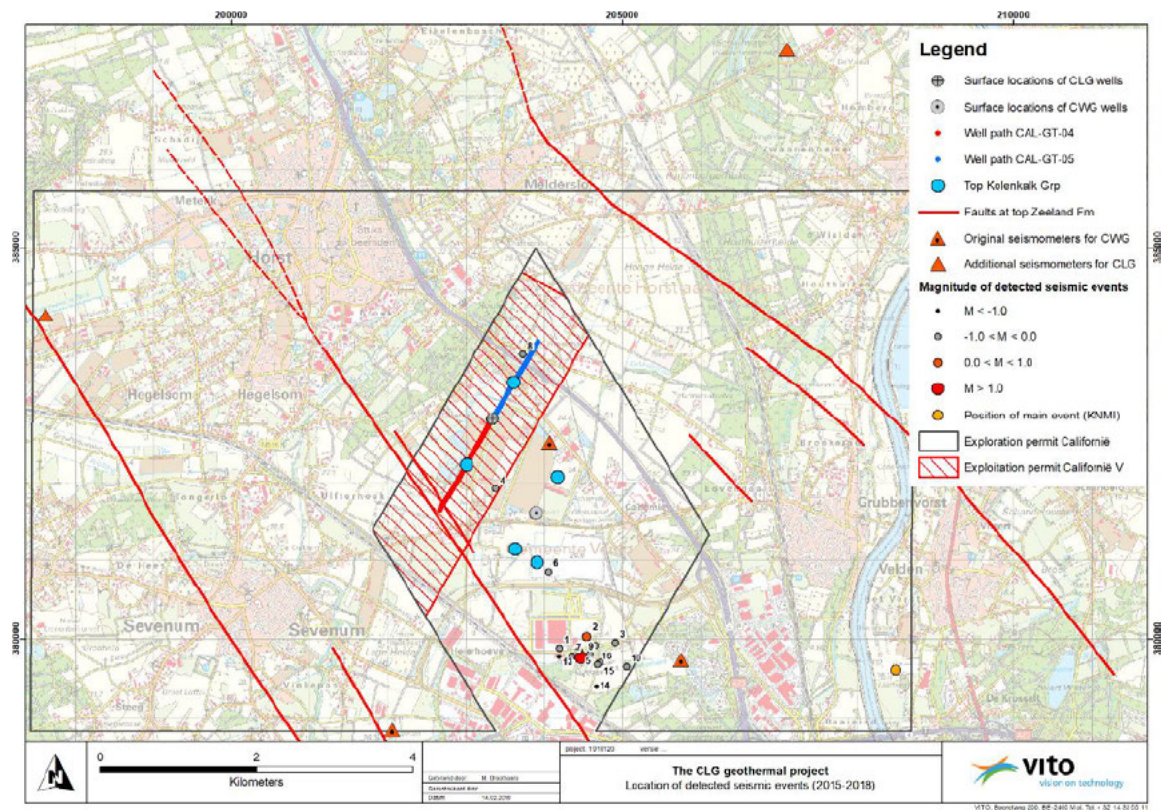
De absolute en relatieve positie van de hypocentra werd bepaald aan de hand van een regionaal 1D snelheidsmodel voor seismische golven, vastgelegd door KNMI. De meeste bevingen bevinden zich op korte afstand van elkaar, op een diepte tussen 5 en 6 km (figuur 28). De locaties en de onzekerheid op de juiste positie (fout) hangen echter in sterke mate af van de accuraatheid van het gebruikte snelheidsmodel (Baisch & Vörös, 2018c; Baisch & Vörös, 2019).

De sensitiviteitsanalyse van de localisatie van de hypocentra geeft aan dat:

- de hypocentra aanzienlijk dieper liggen dan het geothermisch reservoir;
- de hypocentra zich op een diepte tussen 5000 en 6000 m bevinden;
- en het epicentrum redelijk centraal binnen het seismometernetwerk ligt.

Deze sensitiviteitsanalyse is gebaseerd op de data voor de beving met hoogste magnitude ($M_L = 1.7$ op 3 september 2018, event #11). Voor de andere geregistreeerde bevingen zijn de locaties relatief

bepaald ten opzichte van event #11. De positie van de seismische events werden bevestigd door een onafhankelijke studie van KNMI waarin vergelijkbare resultaten werden vastgesteld.



Figuur 25: Localisatie van de geregistreerde seismiciteit in het glastuinbouwgebied Californië (2015-2018).

Event #	X	Y	Z	2σ X	2σ Y	2σ Z
1	227	586	-6214	178	170	159
2	989	-334	-5974	543	585	716
3	1410	-442	-5759	672	711	861
4	46	1428	-6153	874	905	1353
5	431	220	-5765	540	468	453
6	399	559	-5908	656	696	961
7	237	-247	-5994	1297	919	1034
8	-133	3350	-6049	635	628	1090
9	1233	0	-5724	108	68	86
10	446	585	-5974	167	122	126
11	414	-291	-5924	706	614	663
12	632	368	-5442	444	386	425
13	143	224	-5931	525	453	429
14	622	-152	-5793	495	444	411
15	643	-354	-5744	689	599	643
16	621	-374	-5810	650	564	603
17	826	-443	-5904	467	513	624

Tabel 11: Coördinaten van de absolute locaties van de hypocentra (in meter), relatief ten opzichte van 51°24'26,85" N, 6°5'31,41" E en +24 m NAP. De kolommen 2σ X tot en met 2σ Z geven de 2σ fout weer in meter.

Analyse van de waargenomen seismische activiteiten

Q-con (Baisch & Vörös, 2019) vindt de resultaten voor de localisatie van de gedetecteerde seismiciteit enigszins verrassend vanwege twee redenen:

- de waargenomen ruimtelijke correlatie tussen de epicentra en de positie van de geothermische putten zou toevallig zijn gezien de verticale afstand van meerdere kilometer;
- de mechanismen die seismiciteit veroorzaken zijn het meest effectief op reservoirdiepte en worden verwaarloosbaar klein op een afstand van meerdere kilometer.

Het tijdstip van de eerste zes bevingen kan gecorreleerd worden met de afname van het debiet (of zelfs volledige stopzetting van productie) bij CWG. Latere bevingen vinden eveneens plaats wanneer de productie bij CWG was stilgelegd of wanneer het debiet sterk was teruggeschaald. Deze relatie tussen de timing van geothermische activiteiten en het optreden van seismische activiteiten verklaart nog niet de wijze (mechanismen) hoe geothermische activiteiten invloed op het optreden van seismische events hebben.

De relatieve positie van de hypocentra toont aan dat de meeste bevingen zich bijna op dezelfde plaats voordoen. Wanneer zowel de ruimtelijke als de temporele correlaties in acht worden genomen, dan concludeert Q-con (Baisch & Vörös, 2019) dat het aannemelijk is dat alle bevingen, op één na, te relateren zijn aan de geothermische activiteiten bij CWG.

De oorzaak van een beving (#8 met $M_L = 0.0$) is onduidelijk. Een potentiële correlatie met de productie bij CLG kan niet uitgesloten worden, maar een bijdrage van de activiteiten van CWG is ook mogelijk. Het achterliggende mechanisme is voor deze specifieke beving niet duidelijk.

De waargenomen correlatie tussen het tijdstip van de bevingen en de afname in debiet (of stoppen van de productie) geeft aan dat de bevingen zich voordoen op een moment dat de vloeistofdruk in de Tegelen breukzone zich van een verlaagd niveau (bij productie vanuit de breukzone) herstelt tot de evenwichtstoestand.

Q-con (Baisch & Vörös, 2018c; Baisch & Vörös, 2019) stelt een conceptuele verklaring voor waarbij thermische contractie in het reservoir heeft geleid tot de opbouw van Coulomb spanningen in de Tegelen breukzone. De thermische contractie is het gevolg van de injectie van afgekoeld bronwater in CAL-GT-03 nabij de Tegelen breukzone. De contractie wordt gezien als de meest waarschijnlijke oorzaak voor het voorkomen van de bevingen. Omwille van de verlaagde drukcondities tijdens productie uit de breukzone kunnen spanningen zich opbouwen, zonder dat dit leidt tot een (over)kritische situatie. Een kritische spanningstoestand (en seismische activatie) wordt pas bereikt nadat productie wordt teruggeschroefd of gestaakt en de in situ druk in de Tegelen breukzone zich terug in de oorspronkelijke staat herstelt. Dit kan het waargenomen patroon verklaren voor de bevingen die direct gecorreleerd zijn met het verlagen van het debiet (of compleet stoppen). De conceptuele numerische modelsimulaties van Q-con tonen de efficiëntie aan van het voorgestelde effect. Ze geven ook de gevoeligheid weer voor de gemaakte aannames wat betreft parameters. De simulaties tonen aan dat de bevingen veroorzaakt zouden kunnen zijn door zeer kleine veranderingen van de spanningscondities, in een grootteorde die volgens eerdere studies als minimale waarde mogelijk geacht werd.

Relevante mechanismen voor aardbevingen

Vörös et al. (2015a, 2015b) presenteerden de verschillende mogelijke mechanismen die kunnen leiden tot geïnduceerde seismiciteit. Voor de geothermische activiteiten van CWG en CLG werden twee processen geïdentificeerd die dit zouden kunnen veroorzaken: 1) een verhoogde poriënwaterdruk als gevolg van injectie van het water, en 2) thermische contractie door de afkoeling van het reservoir. Baisch & Vörös (2019) zien thermische contractie van het reservoir als het meest

waarschijnlijke mechanisme voor de bevingen geregistreerd onder het tuinbouwgebied Californië, maar ze evalueerden ook andere mogelijke processen.

Aangezien de locatie zich bevindt in een tektonisch actief gebied (breukensysteem van de Roerdal Slenk), waarbij de breuken op geologische schaal nog actief zijn, is een tektonische oorsprong van de seismiciteit zeker niet ondenkbaar. Maar rekening houdend met de lengte van de Tegelen breukzone van meerdere tientallen kilometer is de ruimtelijke correlatie tussen de ligging van de geothermische putten en de locatie van de epicentra weinig waarschijnlijk. Het belangrijkste argument tegen een puur tektonische oorsprong van de bevingen is echter de correlatie tussen het tijdstip waarop ze zich voordoen en het moment waarop het debiet van één van de doubletten gewijzigd wordt (Baisch & Vörös, 2019).

In de literatuur wordt op verscheidene plaatsen (geothermische reservoirs) melding gemaakt van geïnduceerde seismiciteit als gevolg van een verhoogde vloeistofdruk bij injectie. De vertraging waarmee de seismiciteit zich nog kan voordoen na het insluiten van de putten is gerelateerd aan de tijdsduur van de voorafgaande injectieperiode. Wanneer de injectie van korte duur was, dan ligt de vertraging in de orde van uren tot dagen. De vertraging volgend op het terugschroeven van het debiet (of stoppen) bij CWG bedraagt enkele uren tot een dag. Dit kan niet verklaard worden door het bovenstaande proces van diffusie. Bovendien neemt de seismiciteit bij injectie doorgaans toe met de tijd en is deze niet beperkt tot de periodes waarin het debiet verlaagd is. In het gebied Californië zijn de eerste bevingen gedetecteerd nadat het CWG-doublet reeds meer dan een jaar actief was. De injectiviteit had zich toen al gestabiliseerd en de verwachting is dat de vloeistofdruk in het reservoir in de omgeving van het doublet toen reeds stabiel/quasi-stationair was (Baisch & Vörös, 2019). De locatie, het tijdstip en het patroon van de seismiciteit zijn dus in tegenspraak met een mechanisme van verhoogde poriënwaterdruk in het reservoir (Baisch & Vörös, 2019).

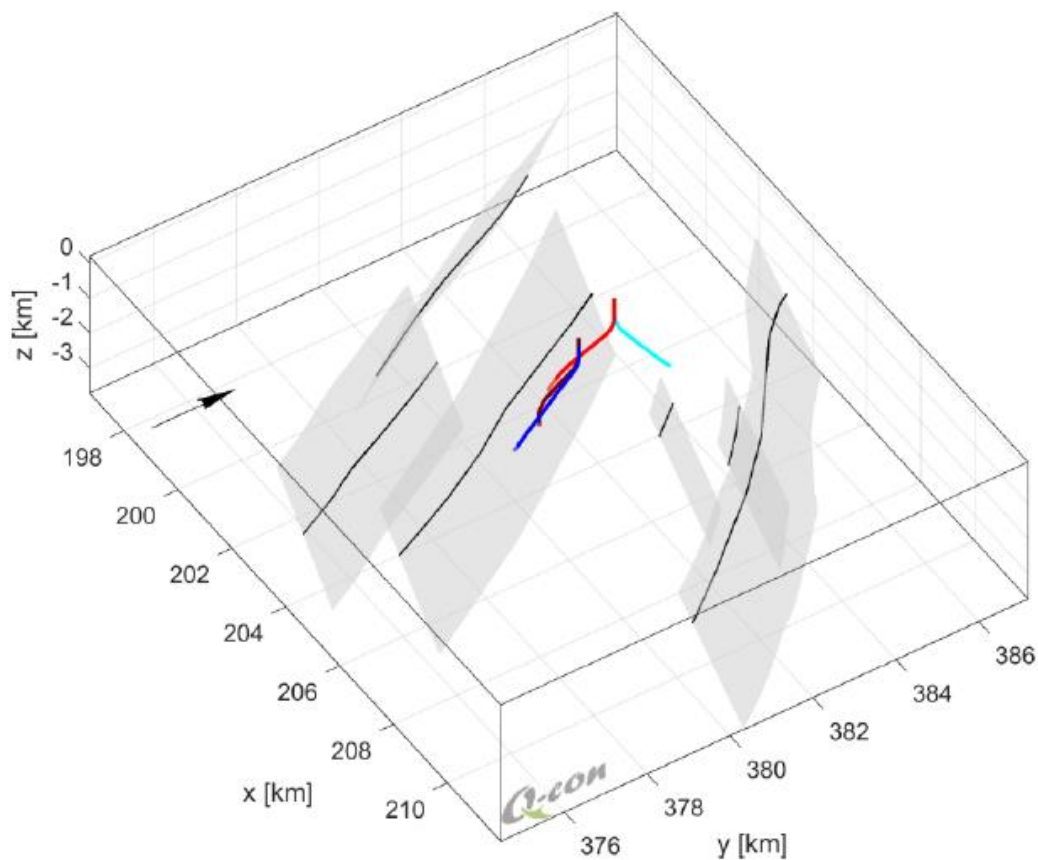
Wanneer door een ver doorgedreven productie het reservoir leeggepompt zou worden, dan zou compactie van het gesteente en de daarmee samenhangende spanningsveranderingen kunnen leiden tot een verhoogd niveau van criticaliteit op seismogene breuken aanwezig in dit pakket. De mate waarin het reservoir wordt geledigd moet hiervoor echter vrij groot zijn (minstens 30% of tientallen bar). Rekening houdende met de wijzigingen qua debiet en de daarbij horende verschillen in druk, dan ligt dit niveau in het gebied Californië slechts in de orde van 0,2 bar (Baisch & Vörös, 2019). Het is niet de verwachting dat dit niveau stijgt: aangezien er zowel geproduceerd als geïnjecteerd wordt, wordt er aan de productiezijde geen continue daling van de druk vastgesteld. Voor dieperliggende watervoerende lagen zou de drukdaling sowieso nog kleiner zijn. Daarom wordt compactie als gevolg van drukdaling als onwaarschijnlijk gezien als oorzaak voor de seismiciteit in het gebied Californië.

De conclusie van Baisch & Vörös (2019) is dan ook dat de thermische contractie van het reservoir als gevolg van uitkoeling het enige plausible mechanisme is om de seismiciteit in het gebied te verklaren.

Actualisatie van de SHA

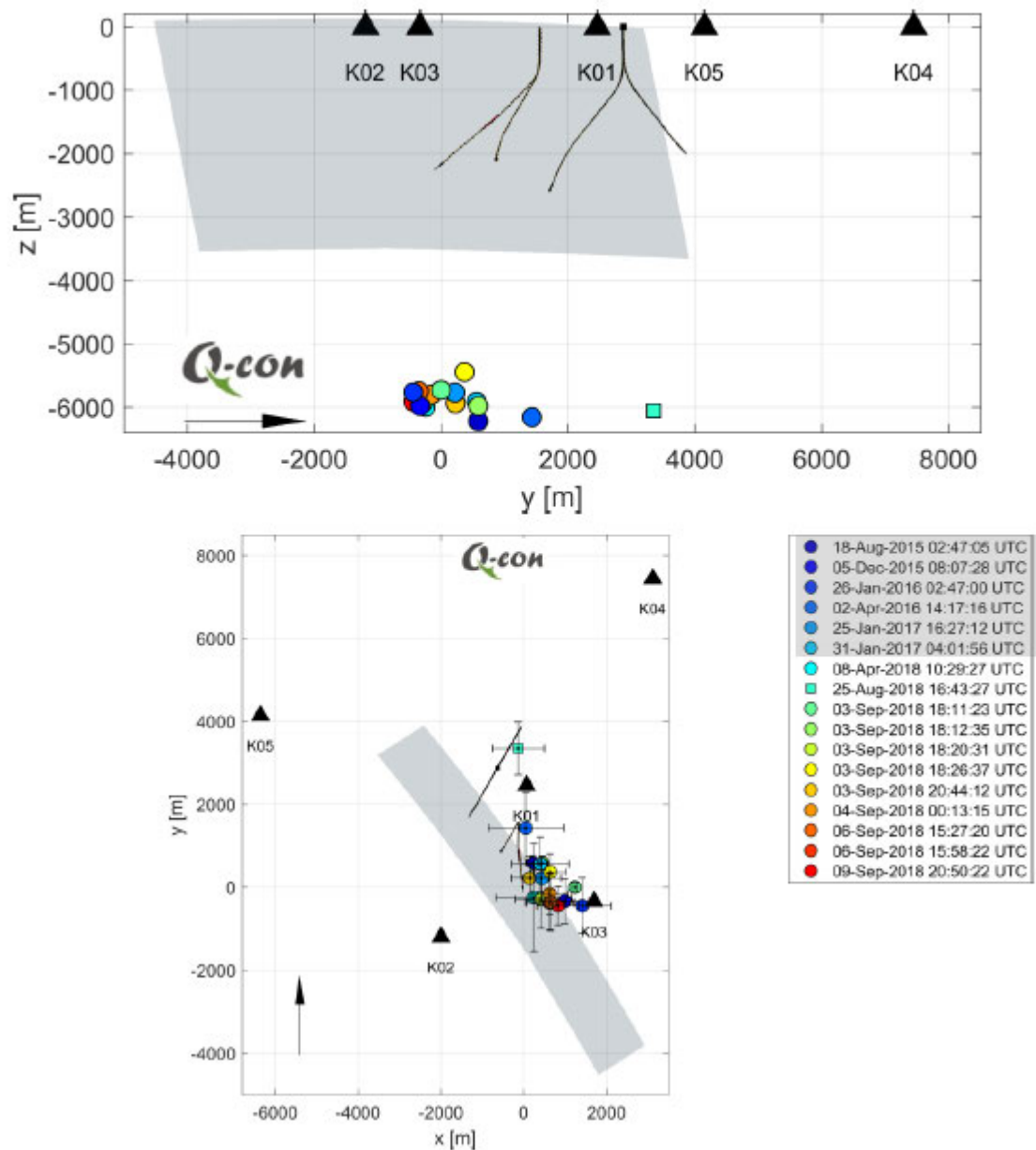
In het voorjaar van 2019 heeft Q-con aan de actualisatie van de Seismic Hazard Assessment (SHA) voor het CLG-doublet gewerkt. Daarbij zijn de resultaten van eerdere studies en de data van het seismische meetnetwerk meegenomen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen van de SHA gepresenteerd. Voor het achterliggende onderzoek van Q-con wordt verwezen naar 'Seismic Hazard Assessment for the CLG-Geothermal System – Study Update March 2019'.

Belangrijk onderdeel in de studie van Q-con was het maken van een geologisch model met daarin de in het gebied aanwezige breuken (seismische gevoelige objecten). De breukvlakken zijn weergegeven in grijs en zijn afgeleid van de ligging van de breuklijnen aan de top van de Carboon Kalksteengroep. De boortrajecten van de huidige doubletten zijn in het model verwerkt. Het CWG-doublet in donkerrood: (GT01) en donkerblauw: (GT03). Van het CLG-doublet is weergegeven in lichtrood (GT04) en lichtblauw (GT05). GT01 en GT04 kruisen de Tegelen-breukzone (midden) en dit is de zone van waaruit het warmte bronwater wordt opgepompt. Duidelijk is het verschil tussen de opzet van het CWG en CLG-doublet te zien. De injectieput van CWG is in de nabijheid van de Tegelen breuk gesitueerd, terwijl de injectieput van CLG van de breuk af gelegen is. De breuktrajecten zijn afgeleid van seismische gegevens. RD-coördinaten zijn in kilometers, zwarte pijl geeft de noordelijke richting aan.



Figuur 26: Weergave van het ruimtelijke model dat als basis is gebruik voor diverse simulaties.

Belangrijk onderdeel van de studie naar een mogelijke correlatie tussen geothermische activiteiten en geïnduceerde seismiciteit is de ruimtelijke relatie tussen de geothermische aquifer, met name de zones waar bronwater aan het reservoir onttrokken wordt en waar het afgekoelde bronwater geïnjecteerd wordt, en de locaties waar de seismische events zich hebben voorgedaan. Onderstaande figuren laten de ruimtelijke relatie, zowel in het verticale als ook horizontale vlak, van de ligging van de geothermische putten en de locaties waar seismiciteit is opgetreden.



Figuur 28: Ruimtelijke weergave van seismische events en hun spreiding.

Bovenstaande figuren laten de seismische events (aardbevingen) zien die in de ondergrond bij tuinbouwgebied Californië gemeten zijn. Puttrajecten en meetstations zijn in de figuren aangegeven. De Tegelen Breuk wordt als grijs vlak weergegeven. De kruisen bij de individuele events geven 2σ betrouwbaarheidslimieten aan (formele inversiefout). De eerste 6 aardbevingen (aangegeven met een grijs vlak in de legenda) deden zich voor vóór de productiestart van het tweede (CLG) doublet. Het referentiepunt van het coördinatenstelsel is $51^{\circ} 24'26.85'' \text{N} / 6^{\circ} 5'31.41'' \text{E}$.

Op basis van de analyse van alle beschikbare informatie komt Q-con tot de onderstaande conclusie:

De thermisch contractie van het reservoir, bij de CWG-injectieput, wordt geïdentificeerd als het meest waarschijnlijke mechanisme dat de seismiciteit in het onderzoeksgebied (tuinbouwgebied Californie) veroorzaakt heeft. De timing van de aardbevingen wordt verklaard door tijdelijke productie gerelateerde drukvermindering in de Tegelen-breuk.

In het onderzoeksgebied zijn de breuken over het algemeen gunstig georiënteerd voor afschuiving en Q-con acht het waarschijnlijk dat delen van deze breuken kritisch belast zijn door tektonische spanningen. Dit wordt bevestigd door de waargenomen seismische activiteiten in het gebied.

In een eerdere studie uit 2019 interpreteerde Baisch & Vörös de waargenomen seismiciteit bij Californië als gevolg van thermische contractie veroorzaakt door koudwaterinjectie bij de Tegelen-breuk via CWG-put GT-03. Het niveau van (samentrekking) spanningen waarbij seismiciteit werd geïnduceerd, is echter niet definitief duidelijk vanwege enige onzekerheid van de dieptelocatie. Deze observaties sluiten aan bij de hierboven gepresenteerde conclusie (blauw kader).

Numerieke simulaties van de hydraulische druk geven aan dat de maximale vloeistofdruk op de breuken tijdens de toekomstige CLG-productie niet merkbaar hoger is dan het drukniveau dat werd verkregen tijdens eerdere productiefases. Volgens het concept van het 'Kaiser-effect' wordt voor het toekomstige productiescenario geen seismiciteit door overdruk verwacht, op voorwaarde dat er geen andere bron van stressverandering in het gebied werkzaam is.

Op de reeds bekende breuken liggen de gesimuleerde spanningsveranderingen als gevolg van thermische contractie in de orde van 0,2 bar en deze worden als te klein beschouwd om seismiciteit te veroorzaken. In het kader van het ondergrondse model ('verwachte case') concludeert Q-con daarom dat er geen geïnduceerde seismiciteit te verwachten is in het toekomstige productiescenario van CLG (gemiddelde productie van 200 m³/uur en afkoeling van 87 naar 40 graden gemiddeld).

Q-con wijst echter op de onzekerheid die samenhangt met het gebruikte ondergrondse model. Numerieke simulatieresultaten tonen aan dat de hydraulische drukomstandigheden op een hypothetische breuk dicht bij de injector al quasi-stationaire omstandigheden bereikten tijdens de testfase. Omdat de vloeistofdruk de eerder bereikte drukwaarden in het toekomstige productiescenario niet overschrijdt, wordt er geen seismiciteit veroorzaakt door overdruk, zelfs niet op een hypothetische breuk in de buurt van de injector. Deze conclusie is onafhankelijk van de geometrie van de hypothetische breuk en de hydraulische eigenschappen ervan. Het is ook van toepassing op het hypothetische geval van een 'drukkanaal' dat een efficiënte hydraulische verbinding tussen de injector en de Tegelen-breuk tot stand zou kunnen brengen.

Koud waterinjectie in de buurt van een dergelijke hypothetische breuk kan echter resulteren in aanzienlijke Coulomb-spanningsveranderingen op de breuk als gevolg van thermische contractie. In dit geval zou seismiciteit kunnen optreden en de omvang van geïnduceerde aardbevingen zal naar verwachting toenemen met de tijd, volgend op de geleidelijke groei van de breukzone die onderworpen is aan een dergelijke positieve Coulomb-spanningsveranderingen.

Tot slot merkt Q-con op dat in de toekomst seismiciteit kan blijven voorkomen in de regio van het tuinbouwgebied Californie, zelfs zonder verdere geothermische activiteiten. Stressniveaus in de diepe ondergrond in de omgeving van eerdere seismiciteit zijn zeer waarschijnlijk en mogelijk nagenoeg-kritisch. Kleinschalige spanningsdiffusie vergelijkbaar met het proces van 'na deformatie'

en externe stressverstoringen kunnen leiden tot toekomstige seismiciteit. De afwezigheid van meetbare seismiciteit gedurende de periode na 9 september 2018 tot eind maart 2019 kan echter wijzen op stressomstandigheden die zijn teruggekeerd naar een 'stabiele' situatie.

In de studie van Q-con uit 2016, waarin zij aanbevelingen doen voor een gevarenbeoordeling van seismische risico's, is gekozen om piekgrondtrillingen (PGV) te nemen als een maat voor het beoordelen van seismische gevaren. Volgens Nederlandse technische normen (SBR, 2010) wordt schade aan gewone gebouwen als onwaarschijnlijk beschouwd voor $PGV < 5 \text{ mm/s}$. Voor kwetsbare gebouwen is het bijbehorende trillingsniveau 3 mm/s . De menselijke waarneembaarheid zal naar verwachting beginnen bij $0,3\text{-}0,5 \text{ mm/s}$.

In het projectgebied is de grootste gemeten grondtrillingen $M_L = 1,7$. Dit levert een piekwaarde op van $PGV = 1,1 \text{ mm/s}$. Q-con gebruikt deze waarde in combinatie met de definitie van de Richter-magnitude om een magnitudedrempel van $M_L \geq 1,4$ te bepalen, waarbij een aardbeving op dezelfde locatie kan worden gevoeld (dat wil zeggen $PGV \geq 0,5 \text{ mm/s}$ veroorzaakt). Het magnitudeniveau waarbij schade aan 'normale' gebouwen mogelijk wordt geacht (d.w.z. $PGV > 5 \text{ mm/s}$) wordt geschat op $M_L \geq 2,4$ voor een aardbeving die optreedt op dezelfde locatie.

Om te voorkomen dat aardbevingen van grotere omvang optreden, is een veel gebruikte risicobeperkende maatregel het instellen van een verkeerslichtsysteem/stoplichtensysteem (TLS), waarbij geothermische activiteiten worden gestopt als de sterkte van de seismiciteit in het reservoir de vooraf gedefinieerde drempelwaarden overschrijdt. Voor toekomstige gebruik van het CLG-doublet adviseert Q-con om een TLS te gebruiken zoals hieronder uiteengezet.

TLS Status			
Definition	$PGV < 0.1 \text{ mm/s}$	$PGV \geq 0.1 \text{ mm/s}$	$PGV \geq 0.3 \text{ mm/s}$
Actions	none	1. investigate likely cause and potential mitigation measures 2. report to regulator	1. stop operations 2. report immediately to regulator

Figuur 29: Stoplicht systeem ter mitigatie van seismische risico's

Drempelwaarden zijn zodanig ontworpen dat geothermische activiteiten worden gestopt als een aardbeving plaatsvindt op het laagste niveau waarbij menselijke waarneembaarheid mogelijk wordt geacht. De trillingsamplitude van de roodlicht drempel is in een orde kleiner dan het amplitudeniveau waarbij materiële schade mogelijk geacht wordt.

De veiligheidsmarge tussen de TLS rode-drempelwaarde en de waarde waarbij er mogelijk materiële schade kan op treden, houdt rekening met na-ijl effecten. Op de schaal van Richter komt de voorgestelde veiligheidsmarge overeen met $1,3$ magnitude-eenheden M_L , d.w.z. geothermische activiteiten bij CLG worden gestopt als een aardbeving optreedt met een grootte van $1,3 M_L$ - eenheden kleiner dan het magnitudeniveau waarbij materiële schade aan gangbare gebouwen mogelijk geacht wordt.

Hoewel een TLS mogelijk niet met absolute nauwkeurigheid werkt (vergelijk Baisch et al., 2019), duiden observaties van andere geothermische doubletten in actieve Graben-systemen (Landau, Insheim, Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen) niet op het optreden van oncontroleerbare magnitude-escalatie.

De werking van een TLS vereist een seismisch netwerk voor het bewaken van het gehele gebied dat onderworpen kan worden aan stressverstoringen en een systeem met een voldoende snelle reactietijd. Het lagere detectieniveau van het seismische bewakingssysteem dat momenteel in Californië wordt gebruikt, wordt door Q-con als voldoende geacht voor het gebruik van de voorgestelde TLS.

Conclusies

Uit bovenstaande hoofdstukken is duidelijk geworden dat niet uitgesloten kan worden dat geothermische activiteiten invloed hebben gehad op (de timing van) seismische events. Het sluit ook niet uit dat, mede gezien de diepte van de events, een tektonische oorsprong van de seismische verschijnselen ook tot een mogelijkheid behoort. Zowel tektonische als geothermische effecten kunnen elkaar beïnvloeden en dus van invloed zijn op welke diepte en op welk moment seismische events zich kunnen voordoen. De afgelopen jaren is veel kennis opgedaan over de opbouw van de ondergrond in de regio van het tuinbouwgebied Californië in gemeente Horst aan de Maas. Middels metingen, analyses, opbouw van modellen en berekeningen is uitvoering onderzoek gedaan naar de invloed van geothermie op de ondergrond. Dit heeft tot een aantal inzichten geleid met betrekking tot seismische risico's. Op basis van deze inzichten is een up-date van het Seismic Hazard Assessment (SHA) opgesteld door Q-con. Op basis van de uitgangspunten en conclusies van dit SHA wil CLG haar geothermische activiteiten, met in achtneming van een aantal voorwaarden, voortzetten.

Indien de geothermische activiteiten een rol hebben gespeeld bij de seismische activiteiten op ca. vijf tot zes kilometer diepte, dan wordt dit waarschijnlijk veroorzaakt door het ontstaan van spanningen in de breuk door afkoeling ten gevolge van injectie van afgekoeld bronwater nabij CAL-GT-03 (thermische contractie van naastgelegen project). Tijdens productie neemt de vloeistofdruk in de breuk af, waardoor deze verder stabiliseert. Nadat productie vanuit de breuk vermindert of stopt, vermindert de mate van stabilisering van de breuk en leidt de intussen toegenomen thermische contractiespanning tot een situatie van een hyperkritische breuk. Op enig moment zal deze hyperkritische situatie zich vertalen in een seismisch event. Op basis van dit mechanisme is naar de risico's gekeken omtrent het opstarten en continueren van de geothermische activiteiten bij CLG.

Q-con stelt echter dat er altijd enige mate van onzekerheid in de modellen schuilt en dat ook de geologische opbouw van de ondergrond complexer kan zijn dan nu bekend. Om met deze onzekerheid om te gaan stelt Q-con voor om het 'stoplicht systeem' (TLS) te blijven hanteren. Daarbij gaat dit TLS voor CLG uit van een 'oranje' situatie wanneer een seismisch event een hogere 'Peak Ground Velocity' (PGV) heeft dan 0,1 mm/s. Wanneer deze waarde wordt overschreden zal dit de volgende werkdag bij de toezichthouder gemeld worden. Indien een PGV gemeten wordt van hoger dan 0,3 mm/s (rode situatie) dan zullen de geothermische activiteiten zo snel mogelijk na de melding van dit event, veilig afgebouwd worden en de installatie stilgezet worden. Indien aanwezig zal een eventuele overdruk aan de injectieput afgelaten worden en het bronwater opgevangen worden in een daartoe aanwezige silo. Daarna zullen de putten ingesloten worden. In deze rode situatie wordt dit direct bij de toezichthouder gemeld.

CLG neemt de aanbevelingen van Q-con integraal over en zal dit 'stoplichtsysteem' hanteren om eventueel aanwezige seismische risico's als gevolg van haar geothermische activiteiten te beperken. Q-con stelt overigens dat vanwege de ligging van het doublet, in een seismisch actieve regio, het voorkomen van seismische activiteiten nooit geheel uitgesloten kan worden. Ook niet wanneer alle geothermische activiteiten gestaakt zouden worden. Tenslotte stelt Q-con voor om de ondergrond met de huidige vijf seismometers te blijven monitoren om daarmee 'vinger aan de pols' te kunnen houden en verder kennis te vergaren over de opbouw van de diepe ondergrond. Eventuele toekomstige seismische activiteiten kunnen dan ook tot aanpassingen leiden in de SHA en als gevolg daarvan in het TLS. Door de aanbevelingen van Q-con integraal over te nemen, gaat CLG er van uit dat op een verantwoorde wijze de geothermische activiteiten hervat kunnen worden.

5.3 Overige omgevingsaspecten

De geothermieputten en de mijnbouwlocatie van Californië Lipzig Gielen bevinden zich binnen een boringvrije zone, zie ook figuur 22. Er zijn in het putontwerp en tijdens de boringen maatregelen getroffen ter bescherming van zoet/brak grondwater in ondiepe aquifers. De put barrières, die contact tussen enerzijds de vloeistoffen in de put en anderzijds de omgeving voorkomen, worden beheerd volgens een Well Integrity Management Systeem conform de ISO 16530-2. Hierover is meer informatie opgenomen in hoofdstuk 3.5.

De geothermieputten bevinden zich op een mijnbouwlocatie met een vloeistofdichte vloer. Al het regenwater op het terrein van de mijnbouwlocatie wordt eerst opgevangen in een olieafscheider alvorens het naar een silo wordt verpompt. Na verblijf in de silo wordt het regenwater naar het oppervlaktewater afgevoerd. Bij calamiteiten kan de silo ingesloten worden en de afvoer naar het oppervlaktewater stopgezet worden. De inhoud van de silo kan separaat afgevoerd worden naar een verwerker. Rondom de locatie bevinden zich peilbuizen om het grondwater te kunnen monitoren. Deze peilbuizen worden conform de Omgevingsvergunning Milieu jaarlijks bemonsterd om vast te stellen dat er geen bodemvreemde stoffen in het grondwater geraken.

De geothermieputten van Californië Lipzig Gielen bevinden zich niet in een natuur- of drinkwatergebied en hebben geen invloed op het grondwater doordat voorzieningen getroffen zijn waarbij evt. vervuilingen opgevangen en separaat afgevoerd kunnen worden. De aardwarmtewinning van Californië Lipzig Gielen heeft dus geen nadelige gevolgen voor kwetsbare natuur- en drinkwatergebieden.



Figuur 30 : Opvang silo voor (regen)water op de mijnbouwlocatie.

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.

Vörös, R., Baisch, S., (2019). Seismic Hazard Assessment for CLG-Geothermal System- Study Update March 2019

Bijlages

Wordt apart meegestuurd:

Vörös, R., Baisch, S., (2019). Seismic Hazard Assessment for CLG-Geothermal System- Study Update March 2019