

0.1 Inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen- Quick-Scan

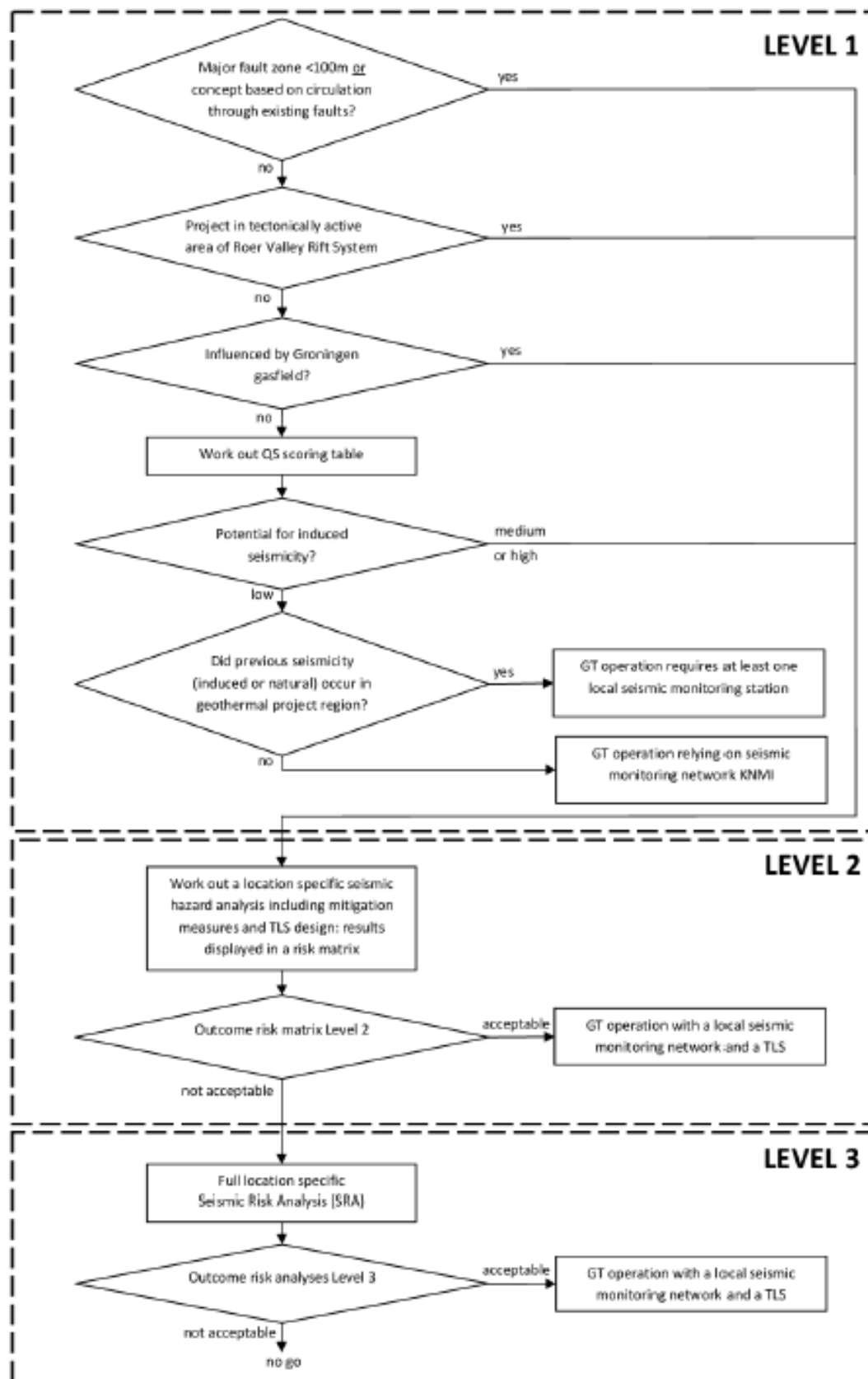
Geïnduceerde seismiciteit wordt veroorzaakt door een verandering in de lokale stress-situatie. Deze stress-situatie wordt beïnvloed door poro-elastische en thermo-elastische effecten. De drukverandering gerelateerd aan de poro-elastische effecten treedt voornamelijk op nabij de productieput (drukafname) en de injectieput (druktoename), en neemt snel af naarmate de afstand tot de putten groter wordt. Na initiële productie treedt een nieuwe evenwichtssituatie (equilibrium) op omdat de geïnjecteerde en geproduceerde volumes gelijk zijn. Als tijdens de initiële periode geen seismiciteit optreedt, is het geassocieerde risico in langdurige winningsperiode zeer klein geworden.

De inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen wordt gedaan op basis van het protocol ontwikkeld door IF Technology B.V. en Q-con GmbH ("Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects 5 V0.1") en de leidraad opgesteld door SodM in 2016 ("Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning, tijdelijke leidraad voor adressering"). Het seismische risico dat wordt toegeschreven aan de afkoeling van het geothermisch reservoir wordt in dit rapport niet behandeld.

Deze paragraaf beschrijft de richtlijn die is opgesteld en gebruikt kan worden voor het inschatten van de seismische dreiging. De beslisboom is weergegeven in Figuur 1. In deze beslisboom zijn drie levels weergegeven, waarbij level 3 de hoogste risico categorie weergeeft. In levels 1 en 2 ligt de nadruk op Seismic Hazard Analysis (SHA) en in level 3 op Seismic Risk Analysis (SRA). In dit hoofdstuk worden alle aspecten van level 1 beschreven en zal de beslisboom voor het eerste deel worden doorlopen. Dit zal worden ingedeeld in 3 onderdelen:

- De eerste vragen uit de beslisboom (Level 1A):
 - Distance to major fault zone < 100m?
 - Circulation through existing faults?
 - Project in tectonically active area of Roer Valley Graben?
 - Influenced by Groningen Field?
- QS scoring tabel (level 1B):
 - Has the injection location connection with the basement (<3 km distance)?
 - Distance to natural faults?
 - Fault orientation in stress field?
 - Distance to natural earthquakes?
 - Distance to induced seismicity?
 - Net injected volume?
 - Inter-well pressure communication?
 - Re-injection pressure?
 - Circulation rate?
- Laatste vragen uit de beslisboom (Level 1C)
 - Potential for induced seismicity?
 - Did previous seismicity (induced or natural) occur in geothermal project region?

De antwoorden voor de vragen uit de beslisboom en de scores voor de verschillende parameters van de Quickscan worden in deze paragraaf onderbouwd.



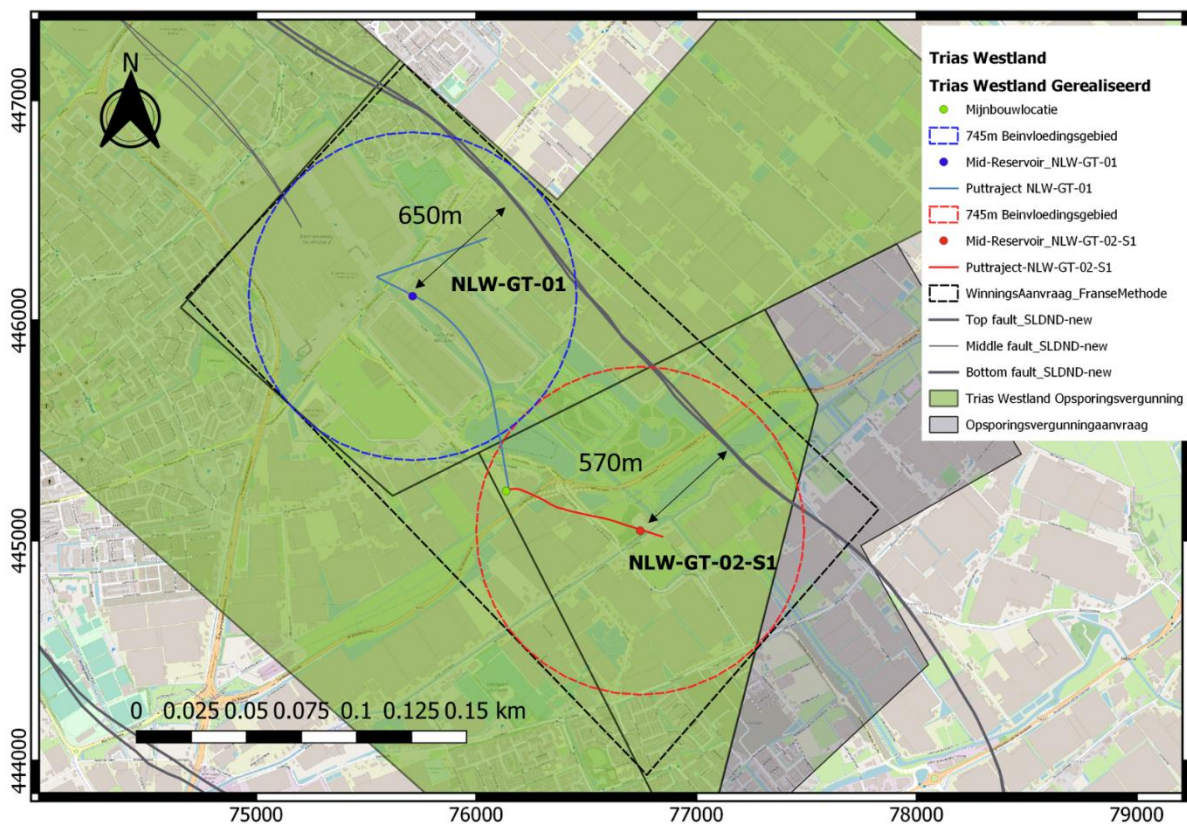
Figuur 1 Beslisboom voor de inschatting van seismische dreiging

0.2 Resultaten Quick-scan

0.2.1 Level 1A

Afstand tot “major fault zone”

Zoals in eerdere paragrafen beschreven is het gebied rond Naaldwijk volledig gedekt door 3D seismiek, breuken kunnen daardoor met redelijke zekerheid worden geïnterpreteerd. Een criterium voor deze analyse is de afstand van de ondergrondse putlocaties tot een “major fault zone”. Een major fault zone wordt gekarakteriseerd als een breukengebied met een traceerbare lengte van minimaal 10km. De breuken ten noordoosten en zuidwesten van de projectlocatie hebben een traceerbare lengte langer dan 10km en kunnen dus gekarakteriseerd worden als een major fault zone. In Figuur 2 is te zien dat de afstand van de putten tot een major fault zone minimaal 570 meter bedraagt op reservoir niveau.



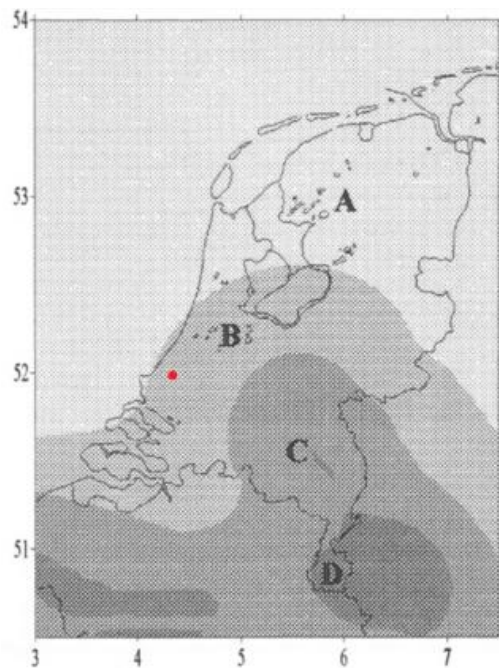
Figuur 2 Afstand van ondergrondse putlocaties tot major fault zone

Circulatie door bestaande breuken

Met “circulatie door bestaande breuken” wordt bedoeld dat de ondergrondse productie- en injectielocaties in een natuurlijke breuk gelegen zijn en dat de stroming tussen de putten parallel loopt aan de breuk. Bij de interpretatie van de seismiek (reprocessing) zijn er tussen de putten geen breuken gedetecteerd, ook zijn er tijdens de put- en interferentiestesten geen drukgolven waargenomen die een indicatie geven dat er een breuk bestaat tussen de twee putten.

Tektonisch actieve omgeving van Roer Valley Graben

De mijnbouwactiviteiten vallen niet in de actieve omgeving van het Roer Valley Graben (Figuur 3).



Figuur 3 Seismische zones in Nederland. Gebied C en D worden gezien als de actieve Roer Valley Graben (de Crook, 1996)

Invloed van Groningen gasveld

Het Groningen Gasveld is gelegen in de provincie Groningen in het noorden van Nederland. Het gebied dat beïnvloed wordt door het Groningen gasveld is gedefinieerd als alle Rotliegend breukblokken in het Groningen gasveld, en grenzend aan het in druk verlaagde Groningen Gasveld.

De afstand tussen het Groningen gasveld en Naaldwijk is 209 km. Daaruit kan geconcludeerd worden dat het geothermisch reservoir bij Naaldwijk niet beïnvloed wordt door het Groningen gasveld.

Conclusie deel 1A

Tabel 1: Samenvatting eerste set "decision tree" vragen.

Decision tree questions	Answer (Y/N)	Argumentation or Reference to relevant paragraph
Distance to major fault zone < 100m?	N	Paragraaf 0.2.1 'Afstand tot major fault zone'
Circulation through existing faults?	N	Paragraaf 0.2.1 'Circulatie door bestaande breuken'
Project in tectonically active area of Roer Valley Graben?	N	Paragraaf 0.2.1 'Project in tektonisch actieve omgeving van Roer Valley Graben'
Influenced by Groningen Field?	N	Paragraaf 0.2.1 'Invloed van Groningen gas veld'

Alle vragen uit de beslisboom zijn met "nee" beantwoord. De volgende stap is het invullen van de QS scoring tabel, dit zal in de volgende paragraaf nader worden besproken.

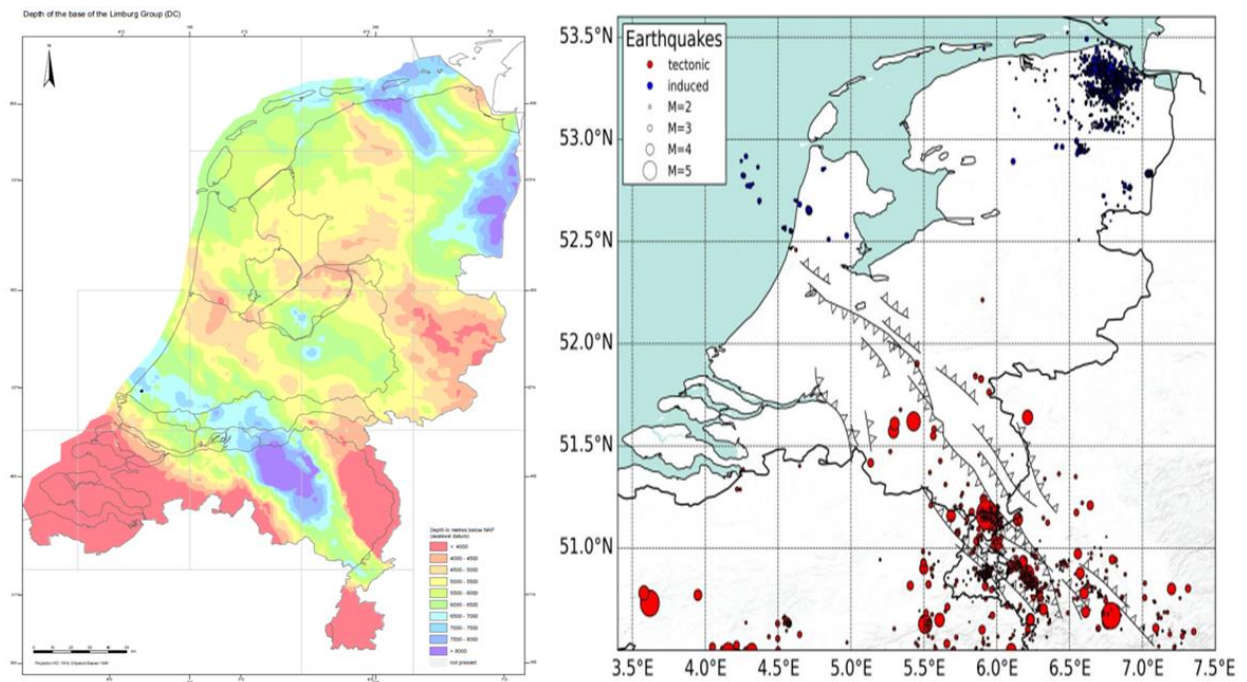
0.2.2 Level 1B – Quick Scan scoring tabel

In de Quick Scan wordt aan de hand van 9 parameters de potentie van geïnduceerde seismiciteit afgeleid. De eerste drie parameters volgen uit de geologische omstandigheden, parameters 4 en 5 worden bepaald door de nabijheid van eerder waargenomen seismiciteit en vraag 6 tot en met 9 volgen uit het ontwerp en de eigenschappen van het geothermische systeem.

Verbinding met kristallijne basis

De kristallijne basis is zeer hard gesteente en ligt in Nederland op grote diepte. Waterinjectie in kristallijn gesteente kan aanleiding zijn tot geïnduceerde seismiciteit. De basis van het geothermisch reservoir waaruit

geproduceerd wordt is 2462 meter terwijl in Figuur 4 te zien is dat de kristallijnen basis op een diepte van 6500 meter ligt. De verticale scheiding tussen het geothermisch reservoir en de kristallijnen basis is dus meer dan 3000 meter. Dit rechtvaardigt een score van 0.



Figuur 4 Diepte kristallijnen basis (links) en geïnduceerde en tektonische aardbevingen (rechts) in Nederland

Afstand tot natuurlijke breuken

De breuken op reservoirniveau zijn beschreven in alinea **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** In de seismische interpretatie die is gebaseerd op de meest recente reprocessing van de seismiek is een verstoring in de seismiek te zien die op een breuk kan duiden die niet meer waarneembaar is op een afstand van ~375 m van de injectieput. Het kan zijn dat de verstoring sub-seismisch nog doorloopt.

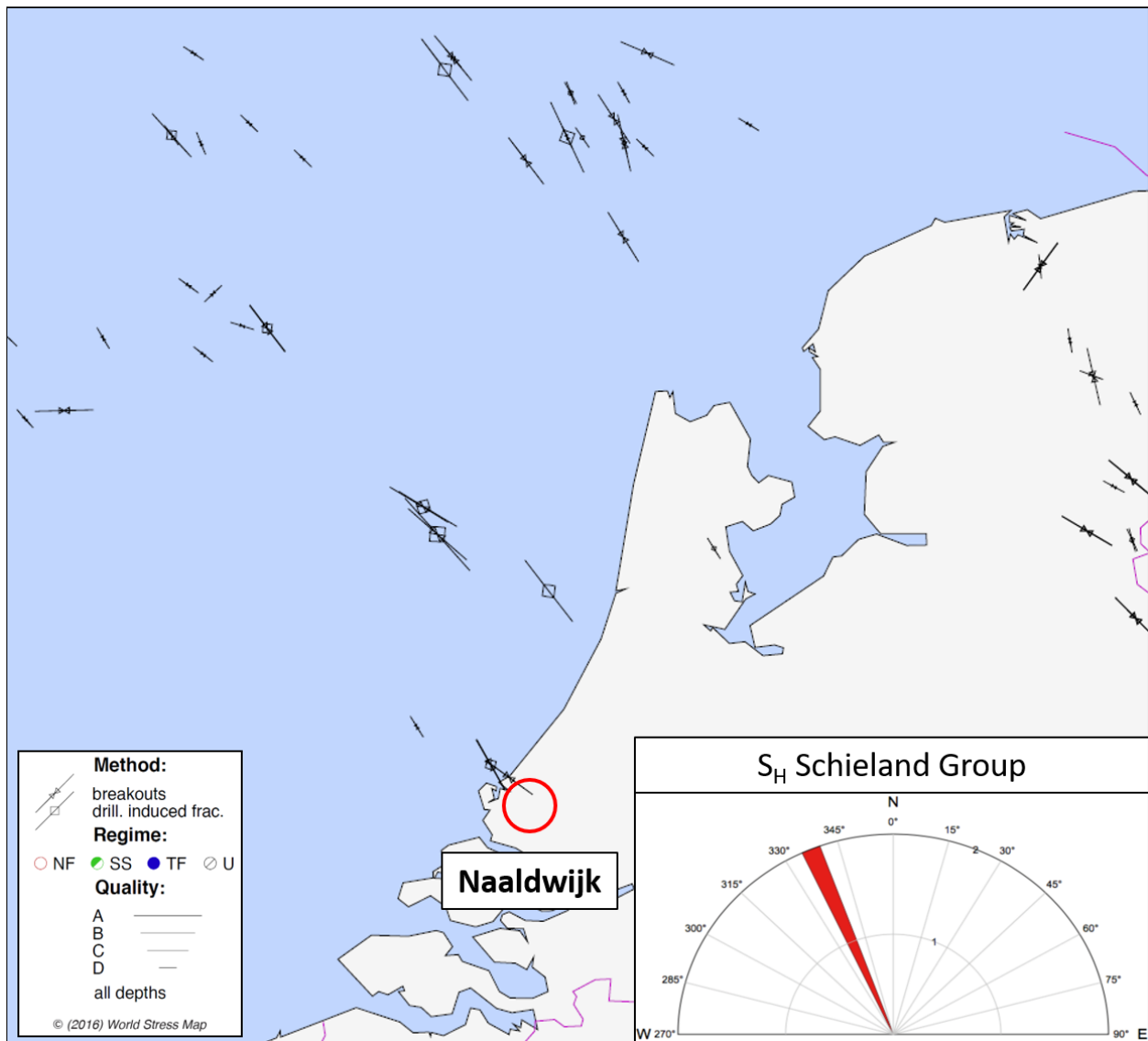
Bij het analyseren van de puttest van NLW-GT-01 zijn er barrières geconstateerd op 250 en 700 m afstand van de put in het reservoir. De barrière op 700 m correspondeert met de grote breuk ten noorden van de put zoals uit de seismiek geïnterpreteerd is (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). De barrière op 250 m afstand is niet op de seismiek te zien, dit zou een breuk met een sub-seismisch verzet kunnen zijn of een verandering in reservoir kwaliteit (Lingen, Analysis of Well Test NLW-GT-01, Maart 2018). Bij NLW-GT-02-S1 is er een barrière waarneembaar op een afstand van 370 meter waarvoor het zelfde kan gelden als de breuk op 250 m van NLW-GT-01 (Lingen, Analysis of Well Test NLW-GT-02, Juni 2018).

Er bestaat een verschil in interpretatie tussen het L3NAM1990C seismisch volume en de reprocessing uit 2015. Omdat de kwaliteit van de reprocessing beter is op reservoir niveau en de puttest deze interpretatie lijkt te bevestigen is de meest realistische inschatting dat de dichtstbijzijnde breuk op een afstand van 375 meter ligt. Echter, gezien de oude interpretatie van de seismiek en een onzekerheidsmarge wordt voor dit onderdeel van de quickscan een score van 10 toegekend. Dit houdt in dat er rekening wordt gehouden met een afstand van minder dan 100m tot de breuk.

Oriëntatie van breuken in het heersende stress veld

De oriëntatie van breuken in het stressveld geeft een eerste indicatie van mogelijke instabiliteit van de breuk. Een instabiele breuk (kritisch gestrest) is gevoeliger voor stressveranderingen en zal daardoor eerder bezwijken en seismiciteit veroorzaken.

Figuur 5 geeft een overzicht van het projectgebied in relatie tot diverse in-site stress metingen in Nederland. Deze metingen geven de maximale horizontale stress (S_H max) weer en zijn geïnterpreteerd uit putdata voor een aantal geologische formaties.

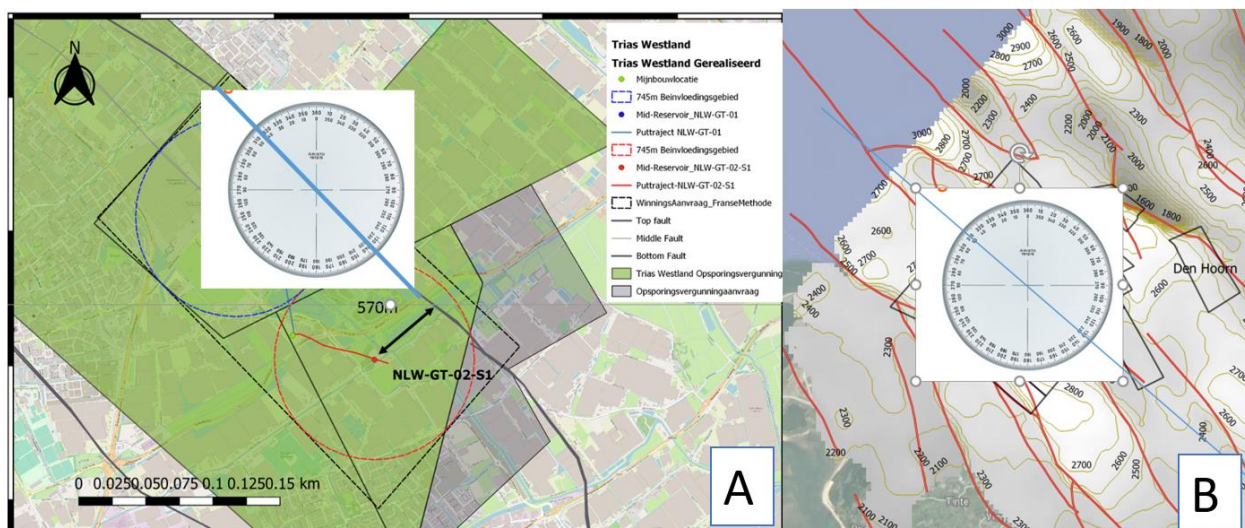


Figuur 5 Kaart met de data uit de “World Stress Map” en “rose diagram” van de Nederlandse kaart (Mechelse, 2017). Mechelse geeft een kleine afwijking in richting met betrekking tot de wereld stress kaart.

Uit de “World Stress Map” en vervolgonderzoek door Mechelse (2017)¹ kan worden afgeleid dat de maximale horizontale stress (S_H max) in de Scheiland Groep in Nederland een richting van **336,3** graden (NNE) laat zien met een standaard afwijking van 1,3 graden. De metingen dichtbij Naaldwijk laten een richting zien voor de S_H max van **335** graden. Dit is een kleine afwijking ten opzichte van de Nederlandse data, maar gezien de afstand tot de projectlocatie wordt dit laatste getal als meest waarschijnlijk geacht.

De richting van de breuken rondom Naaldwijk is variabel, maar een richting van **310-320** graden lijkt de prevalentie richting van de grote breuken, zie Figuur 6.

¹ Mechelse (2017). *The in-situ stress field in the Netherlands: Regional trends, local deviations and an analysis of the stress regimes in the northeast of the Netherlands*, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 4th of August 2017.



Figuur 6 Breukrichtingen rond Naaldwijk. Figuur 35-B is een regionale interpretatie van TNO.

	Richting van breuk ten opzichte van Sh max oriëntatie			
Hoek	0°-25°	25°-40°	40°-70°	70°-90°
Score	10	7	3	0

De richting van Shmax en de hoofdbreukrichting hebben een hoek van 25 tot 15°, volgens de richtlijnen van de quickscan krijgen breuken waarvan de hoek met 0-25° afwijkt van de Shmax een score van 10.

Afstand tot natuurlijke aardbevingen

In het zuiden van Nederland kunnen natuurlijke aardbevingen voorkomen als gevolg van een actief breukensysteem. Deze bevingen ontstaan door verschuivingen in het breuksysteem van de Alpen². Als dicht bij het geothermiesysteem natuurlijke aardbevingen zijn opgetreden, dan kan een relatief kleine beïnvloeding al seismische activiteit veroorzaken en is dus sprake van een verhoogde potentie.

Figuur 4 geeft een overzicht van de natuurlijke en geïnduceerde bevingen in Nederland. De dichtstbijzijnde natuurlijke aardbeving bevindt zich in de buurt van Eindhoven. Dit is een afstand groter dan 10 km en dat rechtvaardigt de score 0.

Afstand tot geïnduceerde bevingen

Evenals bij natuurlijke aardbevingen, blijkt uit het voorkomen van geïnduceerde seismiteit dat sprake is van actieve (gereactiveerde) breuken. Als op korte afstand geïnduceerde seismiteit is opgetreden is daarom sprake van een verhoogde potentie.

De dichtstbijzijnde geïnduceerde aardbeving bevindt zich bij Alkmaar zoals te zien is in Figuur 4. Dit is een afstand groter dan 10 km en dat rechtvaardigt de score 0.

Netto geïnjecteerd volume

Bij TWL-01 is sprake van een gesloten massabalans, dit betekent dat het onttrokken water volledig wordt geïnjecteerd. Het volume dat afneemt door ontgassing is verwaarloosbaar. Dit rechtvaardigt de score 0.

² KNMI (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/natuurlijke-aardbevingen>)

Druk communicatie tussen de putten

De drukveranderingen in de omgeving van het geothermie systeem zijn een optelsom van de drukverhogingen als gevolg van de injectie en de drukverlagingen als gevolg van de onttrekking.

Bij ontwerp en uitvoering is het streven om goede drukcommunicatie tussen de putten te waarborgen en daarmee lokale disbalans in druk te mitigeren. Aspecten die van belang zijn en communicatie tussen putten toestaan zijn:

- De putten hebben een onderlinge ondergrondse afstand van meer dan 1000m
- De “open hole” secties van de putten bevinden zich in hetzelfde reservoir
- De “open hole” secties van de putten verschillen verticaal niet meer dan 100m

Aan de bovenstaande punten is voldaan bij TWL-01. Drukcommunicatie kan getest worden door middel van een interferentie test. Deze interferentie test is uitgevoerd in juni 2018 door tijdens het puttesten van NLW-GT-02-S1 een druksensor in NLW-GT-01 te hangen. Uit deze test is duidelijke drukcommunicatie gebleken tussen beide putten. Deze drukcommunicatie rechtvaardigt een score van 0.

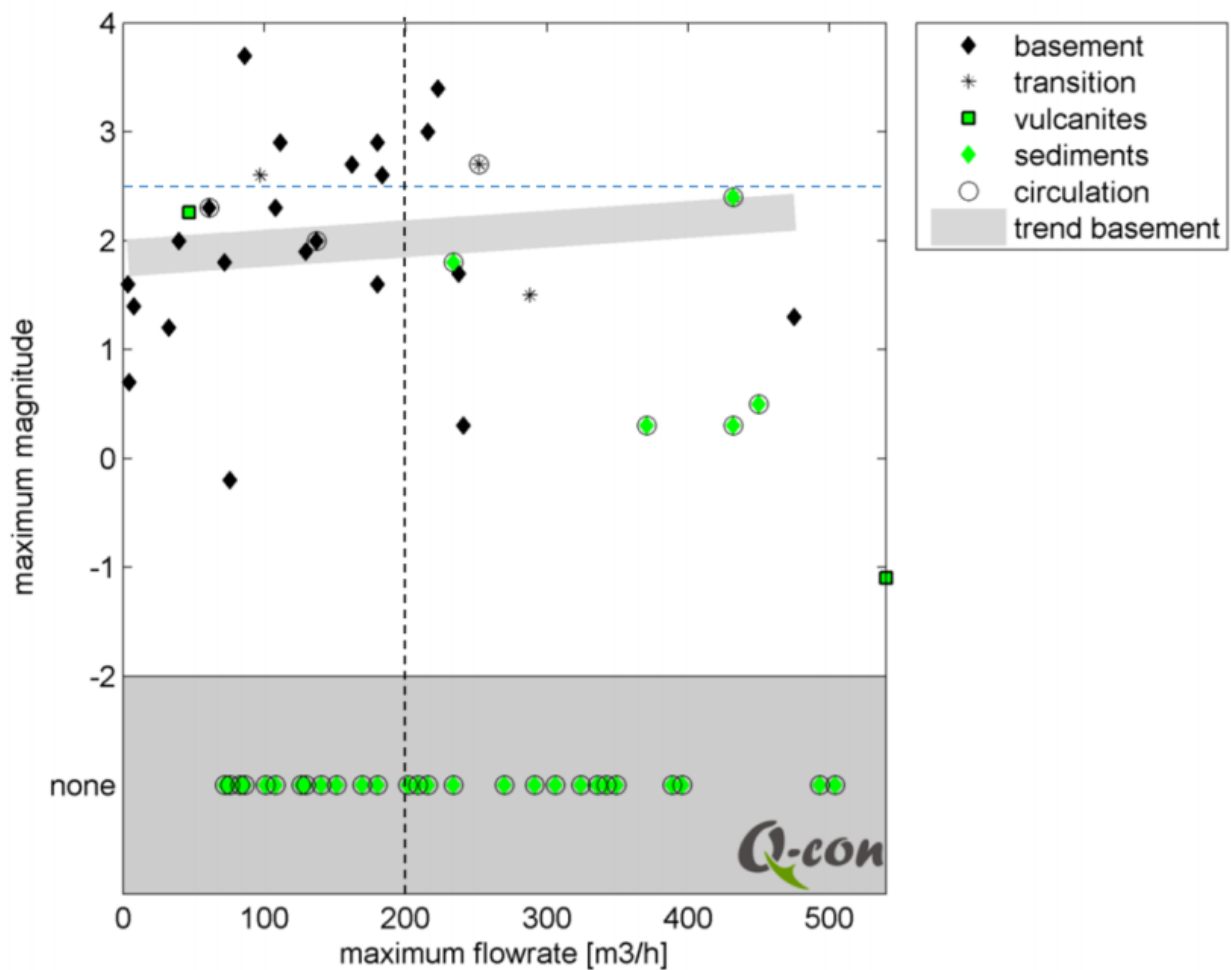
Injectiedruk

Bij een toename van de injectiedruk treden drukveranderingen op en groeit ook het gebied waarbinnen bepaalde drukveranderingen optreden. De maximum injectiedruk op reservoir niveau is volgens het SodM injectiedruk protocol is 64,6 bar (zie paragraaf 5.2, appendix 2). Op basis van de gegevens van de puttest wordt echter een injectiedruk van 29 bar verwacht. Dit rechtvaardigt een score van 3.

Systeemdebiet

In Figuur 7 is de plot te zien uit het IF/QCON document dat een relatie laat zien tussen debiet en bevingen met een bepaalde magnitude. Hierin is onderscheid gemaakt tussen geothermie projecten die gerealiseerd zijn in de kristallijne basis, vulkanische- en sedimentaire reservoirs. TWL-01 wordt gerealiseerd in een sedimentair reservoir. In Figuur 7 is te zien dat in de grote meerderheid van sedimentaire reservoirs opgenomen in deze studie nooit een beving heeft plaatsgevonden. De trendlijn die wordt gepresenteerd is gebaseerd op kristallijne basispunten, en slechts twee sedimentaire projecten plotten in de buurt van deze lijn. Zelfs dan vallen deze bevingen onder de drempel van 2,5 zoals gesteld door de richtlijn van SodM. Deze relatie van debiet en seismiciteit is dus vooral geënt op reservoirs in de kristallijne basis en wordt voor sedimentaire reservoirs niet als heel relevant geacht.

Ondanks dat de argumentatie voor dit criterium niet representatief lijkt te zijn, komt de score met een debiet van 355 m³/h op 7.



Figuur 7 Maximale grootte van geïnduceerde bevingen als een functie van maximaal debiet voor geothermie projecten. Het type gesteente en soort formatie is aangegeven in de legenda. Open symbolen geven productie weer en dichte symbolen injectie. Een trend lijn over de basement data punten is aangegeven in lichtgrijs, data zonder seismiciteit is niet meegenomen in de trendlijn.

Conclusie deel 1B – Scoring tabel

Op basis van voorgaande paragrafen kan de Quick-Scan scoring tabel worden ingevuld (Tabel 2). De totale score op basis van de besproken parameters komt op 30, dit resulteert in een genormaliseerde score van 0,33 (Tabel 18).

Tabel 2 QS-scoring tabel

score	basement connected	inter-well pressure communication	re-injection pressure [MPa]	circulation rate [m ³ /h]	epicentral distance to natural earth- quakes [km]	epicentral distance to induced seismicity [km]	distance to fault [km]	orientation of fault in current stress field	net injected volume [1000 m ³]	Sum of column scores
10	yes	no	> 7	> 360	< 1	< 1	< 0.1	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	3	7	0	0	10	10	0	Σ30
										90

Tabel 3: Resultaat Q- scoring.

	Normalised score	Seismicity potential	Hazard level and risk assessment procedure
TWL-01	0,33	Laag	QuickScan

0.2.3 Level 1C

Met een genormaliseerde score van 0,33 (1/3^e van de totale score van 90) wordt de potentie voor seismiciteit voor TWL-01 onder de huidige productieparameters ingeschat op **laag**. Ook heeft er geen (geïnduceerde) beving plaatsgevonden in de buurt van de projectlocatie.

Volgens de beslisboom zoals weergegeven in Figuur 1 kan TWL-01 gebruik maken van het KNMI netwerk om seismische activiteit te meten. Alinea **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** beschrijft dat het huidige KNMI netwerk op de projectlocatie van TWL-01 momenteel een beving van ML=1,5 kan registreren en een beving van ML=2,0 kan lokaliseren.

0.3 Locatie specifiek Seismisch Gevaar Analyse (SHA)

Op basis van de resultaten van de Quick-Scan is voor TWL-01 in dit stadium geen SHA nodig. Echter met het oog op het op termijn optimaliseren van de winningsmogelijkheden tot een maximum debiet van het huidige systeem van 430 m³/hr in combinatie met de ontwikkeling van een tweede doublet is TWL voornemens een SHA uit te voeren.

0.4 Locatie specifiek Seismisch Risico Analyse (SRA)

Gezien de score die volgt uit de Quick-Scan is er geen SRA nodig.

0.5 Nadelige gevolgen

Op basis van de resultaten uit de analyses met betrekking tot het optreden van bodembeweging, zoals beschreven in de voorgaande paragrafen (4.1 – 4.6), zijn er geen nadelige gevolgen van de aardwarmtewinning vanuit het eerste doublet te verwachten.