

Advies hooglerarenpanel Risicobeleid seismiciteit overige mijnbouw

Advies geothermie

25 november 2020

INHOUDSOPGAVE	1
Samenvatting	2
Achtergrond en onderbouwing deeladvies geothermie	6
1. Aanleiding	6
2. Vraagstelling	6
3. Werkwijze	7
4. Toepassing geothermie en scope van het advies	7
5. Bouwstenen voor het advies	9
6. Reflectie adviespanel	19
BIJLAGE 1 Samenstelling adviespanel	23
BIJLAGE 2 Overzicht geraadpleegde literatuur	24

Managementsamenvatting

Dit advies van het hooglerarenpanel risicobeleid seismiciteit overige mijnbouw is gericht op de normering van de seismische risico's die verbonden zijn aan de toepassing van geothermie. Er wordt onderscheid gemaakt naar a) veiligheidsrisico's en b) de kans dat schade aan gebouwen en infrastructuur optreedt.

Normering veiligheidsrisico's

Het panel benoemt dat de algemene uitgangspunten voor het Nederlandse risicobeleid de volgende zijn:

- het veiligheidsrisico is acceptabel als het individueel risico (IR) kleiner is dan een overlijdenskans van eens per honderdduizend jaar (ook wel genoteerd als 10^{-5});
- op basis van vrijwilligheid bij de risico-ontvangers (en dus in dialoog met de risicoveroorzaker) kan tot acceptatie van een hoger risiconiveau worden besloten;
- gegeven het basisniveau voor het IR moeten eventueel verder te eisen veiligheidsmaatregelen redelijk zijn d.w.z. voldoen aan de gebruikelijke normen voor de verhouding tussen gewonnen gezonde levensjaren en de investeringen die noodzakelijk zijn voor veiligheidsmaatregelen die overwogen worden.¹

Het panel ziet geen reden af te wijken van de algemene uitgangspunten voor het Nederlandse risicobeleid. In het bijzonder adviseert het panel om het seismisch risico als gevolg van geothermie als acceptabel te beschouwen als het lokaal persoonlijk risico (LPR, de voor seismische risico's gebruikelijke term voor het individueel risico) kleiner is dan eens per honderdduizend jaar.

In aansluiting op het advies van het hooglerarenpanel dat adviseerde over de normering en berekening van veiligheidsrisico's van geïnduceerde aardbevingen in Groningen, adviseert dit hooglerarenpanel ook dat schade die uitval van vitale infrastructuur veroorzaakt onacceptabel is als dit een individueel risico voor blootgestelde personen aan de consequenties van de uitval met zich meebrengt van groter dan eens per honderdduizend jaar.

Normering kans op schade

Het panel merkt als eerste, en waarschijnlijk ten overvloede, op dat schade die tot letsel kan leiden, valt onder de norm voor veiligheidsrisico's.

Voor de normering van schade die niet tot letsel leidt bestaan in de Nederlandse beleidspraktijk geen eisen, dat wil zeggen dat er geen systeem van vergunningverlening bestaat dat op voorhand gekwantificeerde eisen stelt aan het niet mogen optreden van schade. Wel worden op diverse domeinen eisen gesteld zodat schade met zekerheid vergoed zal worden. Deze eisen betekenen dat er impliciet een relatie wordt gelegd tussen de maatschappelijke waarde van een activiteit en de kans op schade aan objecten en infrastructuur.

Het panel wil aansluiten bij deze Nederlandse beleidspraktijk. Het adviespanel adviseert daarom om (ook) bij geothermie de kans op schade aan objecten en infrastructuur als 'aanvaardbaar' te beschouwen indien met zekerheid kan worden gesteld dat de schade vergoed wordt.

¹ Zie onder andere de brief van de minister van BZK 'bestuurlijk balanceren met risico's en verantwoordelijkheden' van 15 november 2015, 34300-VII-15.

Afwegingen voor conventionele geothermie

Het adviespanel definieert conventionele geothermie als de winning van aardwarmte tussen 500 en 4000 meter diepte waarbij geen actieve hydraulische stimulatie optreedt en waarbij de injectiedruk zo laag is dat het onbedoeld vormen van haarscheuren rond de putten onwaarschijnlijk is.

Het panel observeert dat voor het inzichtelijk maken van de seismische veiligheidsrisico's van conventionele geothermie in Nederland de gebruikelijke statistische berekening van het lokaal persoonlijk risico (LPR, de voor seismische risico's gebruikelijke term voor het IR) niet mogelijk is vanwege de afwezigheid van relevante data in de vorm van tot op heden waargenomen seismiciteit.

Het gebruik van nieuwe (Bayesiaanse) statistische methodes op basis van bestuurlijk vast te stellen uitgangspunten daarvoor (zoals het gebruik van de verwachtingswaarde als centraal begrip cf. het eerdere standpunt van de minister van EZK zoals opgenomen in de Mijnbouwregeling) kunnen hier op termijn van enkele jaren mogelijk soelaas bieden.

Op de korte termijn is echter een andere 'robuste' beslismethodiek nodig die is gebaseerd op input waar nog onzekerheden in zitten. Het panel wil daarvoor met een realistische zwaarst denkbare aardbeving rekenen waarbij dus de eis is dat niemand aan een hoger LPR dan 10^{-5} wordt blootgesteld. Deze aanpak is dezelfde als waarvoor in de bestuurlijk vastgestelde LoC-methode in Groningen voor de berekening van de aardbevingsbestendigheid van de industrie is gekozen.

Het berekeningsprobleem geldt ook voor het voorspellen en vaststellen van schade. Het adviespanel zoekt ook hier een robuuste maat en denkt dat zowel omwonenden als de vergunningaanvrager recht hebben op vaststelling van een duidelijke grenswaarde voor de seismische belasting die gelijk is aan voor andere trilling veroorzakende activiteiten zoals heien en passage van zware transporten die al genormeerd zijn.

Die robuustheid van eisen is ook nodig omdat het panel zich op het uitgangspunt stelt dat, net zoals in andere domeinen, zodra de vergunning verleend is, daar niet meer op terug gekomen behoort te worden gekomen anders dan in uitzonderlijke omstandigheden. Buiten de gebruikelijke praktijk van een revisievergunning na bijvoorbeeld 10 jaar kunnen in de tussentijd redelijkerwijs geen aanpassingen aan nieuwe inzichten verlangd.

Afwegingskader voor veiligheidsrisico's en kans op schade door seismiciteit bij conventionele geothermie

Het adviespanel adviseert op grond van het bovenstaande het volgende afwegingskader voor de veiligheidsrisico's en kans op schade door geïnduceerde seismiciteit bij conventionele geothermie.

Voor veiligheidsrisico's:

- Op basis van de huidige inzichten is de inschatting van het panel dat het LPR vanwege de beperkte maximale aardbevingssterkte van $M_{max}=3,5$ in alle gebieden in Nederland – behalve binnen 10 km van de Roerdalslenk – kleiner dan 10^{-5} zal zijn. Daarmee is er in die gebieden geen beperking voor conventionele geothermie vanuit veiligheidsoogpunt.
- In het gebied binnen de 10 km van de Roerdalslenk zal een vergunningaanvrager tot genoegen van het bevoegd gezag moeten aantonen dat het LPR de 10^{-5} niet zal overschrijden. Het adviespanel ziet hier zelf momenteel geen kwalitatieve of kwantitatieve redeneringslijn voor.

Voor de kans op schade:

- Voor schade door seismische belasting geldt dat deze voor vergoeding in aanmerking komt zodra de PGV (maximale grondsnelheid, Peak Ground Velocity) gemeten of berekend als

verwachtingswaarde op bodemoppervlak of niveau van begane grond van een bouwwerk groter is dan een grenswaarde V_r zoals beschreven in de *SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken versie 2017*. Hiermee wordt aangesloten bij een geaccepteerde praktijkrichtlijn voor schade bij trillingen ten gevolge van verkeer en bouwwerkzaamheden.

- Bouwkundige schade die aanwijsbaar veroorzaakt is door seismische belasting als gevolg van geothermie, moet vergoed worden. Omgekeerd, zolang V_r niet wordt overschreden is het uitgangspunt dat er daardoor geen te vergoeden bouwkundige schade optreedt.
- Er moet een zekerheidsstelling bijvoorbeeld in de vorm van een verzekering zijn dat schade vergoed kan worden. Voorspelbaar zal dit uitgangspunt voor de omgang met mogelijke schade in de praktijk leiden tot beperkingen aan het gebruik van geothermie binnen de 10 km van de Roerdalslenk, bij sterk opslingerende ondiepe bodemlagen en in de buurt van gedepleteerde gasvelden.
- Teneinde vast te kunnen stellen of de grenswaarde voor grondsnelheid V_r al dan niet overschreden worden dient de vergunninghouder monitoringsactiviteiten uit te voeren gedurende de geothermische operaties. Hiervoor kunnen op locatie actieve versnellingsmeters worden. Voorafgaand aan de start van de geothermische operaties kunnen de actieve versnellingsmeters dienen voor een nulmeting van het bestaande trillingsniveau ter plaatse.

Het panel ziet daarmee in het bijzonder op dit moment buiten de 10 kilometer van de Roerdalslenk geen extra eisen die redelijkerwijs gesteld kunnen worden aan de vergunningaanvrager om het seismisch risico te verlagen bovenop het bestaande protocol dat SodM in 2013 heeft opgesteld en dat met name gericht is op de injectiedruk om te voorkomen dat waterkerende lagen worden doorbroken.

Afwegingen voor ultradiepe en hydraulische gestimuleerde geothermie

Het adviespanel definieert ultradiepe geothermie (UDG) als alle geothermie met een winning van aardwarmte beneden de 4000 meter. Onder hydraulische stimulatie verstaat het panel het gebruik van een methode waarbij actief scheurtjes met millimeter schaal doorsnee en meterschaal lengte in het reservoir worden gecreëerd om de doorstroom te bevorderen.

Voor UDG geldt dat deze nog niet wordt toegepast in Nederland waardoor er nog veel over onbekend is en daarmee ook de risico's nog niet eenduidig geschat kunnen worden. De belangrijkste onzekerheid is de ontbrekende kennis over samenstelling van de ondergrond op grote diepte en met name de reservoir karakteristieken, locatie en aard van breukzones en bestaande tektonische spanning ter plekke. Gezien de grotere diepte van de mogelijke aquifers is het wel te verwachten dat de permeabiliteit van de reservoirs gering zal zijn waardoor het aannemelijk is dat er voor de winning hydraulische stimulatie van de putten nodig zal zijn. Tevens zal dit ertoe leiden dat de exploitanten een voorkeur zullen hebben om via natuurlijke fractures in breukzones te injecteren/producen omdat daar de permeabiliteit mogelijk hoger zal zijn.

Al met al kan deze werkwijze ertoe leiden dat het risico op direct dan wel indirect geïnduceerde aardbevingen bij UDG hoger is dan bij conventionele geothermie.

Voor hydraulische stimulatie op de diepte van conventionele geothermie geldt dat het panel geen principiële verschil ziet met de seismische risico's van reguliere gaswinning waarbij hydraulische stimulatie wordt gebruikt. Hier is al relatief veel over bekend en bestaat een normeringskader dat door het Staatstoezicht op de Mijnen wordt gehanteerd.

Wel dient in overweging genomen te worden dat de ondergrens van werkbare permeabiliteit voor gas duidelijk lager is dan die voor water. Dit betekent dat de eisen voor het resultaat van hydraulische stimulatie bij geothermie hoger zouden kunnen liggen dan bij gaswinning.

Afwegingskader voor veiligheidsrisico's en kans op schade door seismiciteit bij ultradiepe en hydraulisch gestimuleerde geothermie

Het adviespanel adviseert op grond van het bovenstaande het volgende afwegingskader voor de veiligheidsrisico's en kans op schade door geïnduceerde seismiciteit bij ultradiepe en hydraulisch gestimuleerde geothermie.

Voor veiligheidsrisico's:

- Het panel adviseert om ook bij ultradiepe en hydraulisch gestimuleerde geothermie als te hanteren veiligheidsnorm een LPR van 10^{-5} te gebruiken.
- Het panel adviseert om bij UDG in ieder geval vooralsnog injectie in en productie uit diepe breukzones te vermijden. Gezien de huidige ondergrondse onzekerheden is het tevens van belang om hydraulische stimulatie in het geval van UDG van een normeringskader te voorzien waarbij wordt gelet op maximale injectiedruk, volume en samenstelling van de frack vloeistof, temperatuur etc. Hiertoe dient op korte termijn onderzoek gedaan te worden, bijvoorbeeld in het kader van het KEM-programma.
- Het panel adviseert dat voor hydraulische stimulatie in geval van conventionele geothermie voorlopig wordt uitgegaan van dezelfde veiligheidseisen als bij toepassing in de gaswinning en daarmee zoals beschreven in de huidige Mijnbouwregeling. Echter, het panel adviseert om een review uit te laten voeren naar de effecten van de verschillen in operaties en permeabiliteitsvereisten tussen gaswinning en geothermie teneinde een specifiek kader voor de hydraulische stimulatie bij conventionele geothermie te ontwikkelen.

Voor de kans op schade:

- Het panel komt op basis van dezelfde argumentatie tot hetzelfde advies als voor conventionele geothermie.

Achtergrond en onderbouwing deeladvies geothermie

1. Aanleiding

Het omgaan met risico's als gevolg van seismiciteit door mijnbouw buiten de gaswinning uit het Groningenveld is een thema waar in toenemende mate vragen over ontstaan. Een belangrijke oorzaak hiervoor is dat relevante kennis buiten het Groningen gasveld nog onvoldoende is opgebouwd en een formele normering voor wat een aanvaardbaar risico is op dit moment ontbreekt.

Ook voor de toepassing van geothermie ontbreekt voorsnog een kader om risico's te beoordelen. Dit terwijl grootschalige toepassing van geothermie een belangrijk onderdeel is van het realiseren van ambities in de energietransitie. Om in deze lacune te voorzien zullen in de Mijnbouwwetgeving in 2021 bepalingen worden opgenomen over het omgaan met veiligheids- en schaderisico's van geothermie. Eén van de weigeringsgronden voor een startvergunning en/of een vervolgvrgunning zal dan zijn dat de veiligheidsrisico's en/of de kans van optreden van schade als gevolg van geothermie "onaanvaardbaar" zijn. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) bereidt een wijziging van het Mijnbouwbesluit voor met daarin een nadere uitwerking van wat daaronder moet worden verstaan.

Het is evident wenselijk om het aankomende beleid ook toepasbaar te maken voor risico's door seismiciteit als gevolg van andere mijnbouwactiviteiten. Dit is uitgezonderd gaswinning uit het Groningenveld waarvoor al risicobeleid bestaat, dus in het bijzonder zoutwinning, opslag in de diepe ondergrond en gaswinning uit kleine gasvelden.

EZK heeft ten behoeve van het opstellen van het risicobeleid voor geïnduceerde seismiciteit door mijnbouw een advies gevraagd van het daartoe ingestelde panel van hoogleraren: het Adviespanel risicobeleid seismiciteit overige mijnbouw. Aan het panel is gevraagd in twee delen een advies uit te brengen: een advies aangaande risicobeleid voor toepassing van geothermie enerzijds en een advies aangaande risicobeleid overige mijnbouw anderzijds.

Dit advies betreft geothermie. Het voorliggende advies is een geredigeerde versie van het advies dat op 25 november 2020 is uitgebracht. Het advies kan gezien worden als een specificatie voor geothermie van het advies over de omgang met de seismische risico's van overige mijnbouw dat separaat en tegelijkertijd met dit advies is uitgebracht.

Het advies van het panel is een expert opinion waarin op basis van bestaande kennis is gekomen tot een analyse van en advies over de risico's rondom toepassing van geothermie in Nederland.

2. Vraagstelling

Om te zorgen dat de beoordeling van aanvaardbaarheid van risico's en schade in startvergunningen voor geothermie tot de wetwijziging per 2021 eenduidig kan verlopen, heeft EZK zich in het tweede kwartaal van 2020 nader verdiept in wat verstaan moet worden onder (on)aanvaardbare risico's door seismiciteit bij geothermie. Ten behoeve van die definitie is het panel gevraagd spoedeisend een eerste advies uit te brengen dat concrete uitgangspunten bevat over de omgang met de risico's van conventionele geothermie (zie de definitie later in dit advies).² Het eerder uitgebrachte spoedeisende advies is verwerkt in dit advies geothermie.

² *Advies hooglerarenpanel Risicobeleid seismiciteit overige mijnbouw, Spoedeisend deel conventionele geothermie, d.d. 25 mei 2020.*

De kern van de uitvraag aan het panel richt zich op het onderscheid tussen risico's voor veiligheid en het optreden van schade en de wijze waarop die kunnen worden geoperationaliseerd naar begrippen van (on)aanvaardbaarheid. Tevens is gevraagd daarin waar mogelijk een relatie te leggen naar keuzen die in dat kader eerder zijn gemaakt over het risicobeleid voor de gaswinning uit het Groningerveld.

Het panel benadrukt dat het advies zich richt op het mogelijk optreden van trillingen vanwege geothermie (geïnduceerde seismiciteit) en daarmee de gevolgen van eventuele 'langzame' bodemdaling of stijging buiten beschouwing laat.

Deze notitie bevat het deeladvies van het panel over de omgang met de risico's van geothermie. Hierna wordt allereerst kort ingegaan op de werkwijze van het panel. Vervolgens wordt vanuit de toepassing van geothermie de scope van het advies geschetst. In de paragraaf daaropvolgend worden de bouwstenen beschreven die de basis vormen voor het advies zoals dat in paragraaf 6 is opgenomen. Tot slot is een reflectie op een aantal specifieke onderdelen uit het advies van het panel opgenomen.

3. Werkwijze panel

Het panel is in de totstandkoming van dit advies meerdere keren plenair bij elkaar geweest. Als gevolg van de coronamaatregelen heeft dit grotendeels online plaatsgevonden. Daarnaast is met individuele leden van het panel afstemming geweest voor fine-tuning en scherpstelling op specifieke inhoudelijke onderdelen.

Ten behoeve van collegiale afstemming en het ophalen van verduidelijkende vragen heeft enkele malen overleg plaatsgevonden met een afvaardiging van het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), TNO dat het ministerie van EZK regelmatig adviseert, de Mijnraad en eenmaal met de Technische commissie bodembeweging (Tcbb). Het panel is de genoemde partijen buitengewoon dankbaar voor hun kritische en constructieve reflectie.

4. Toepassing geothermie en scope advies

4.1 Wat is geothermie

Voor de afbakening en scope van dit advies is het belangrijk om onderscheid te maken naar de bestaande verschillen in toepassing van geothermie. Met name de effecten daarvan op groundbewegingen zijn relevant voor de reikwijdte van dit advies.

Geothermie (winning van aardwarmte) betekent dat energie wordt gewonnen door gebruik te maken van temperatuurverschillen tussen het oppervlak van de aarde en dieper gelegen watervoerende lagen. De temperatuur loopt immers op met de diepte. In de toepassing wordt warm formatiewater opgepompt vanuit de diepe laag; aan het oppervlak wordt de warmte aan het water onttrokken middels een warmtewisselaar om toegepast te worden voor verwarming van gebouwen, huizen of kassen. Het afgekoelde formatiewater wordt terug geïnjecteerd in de diepe watervoerende laag, waardoor het totale volume formatiewater in het reservoir op peil blijft. De vragen over risicobeleid die dit panel beschouwt, ontstaan wanneer dit onttrekken en injecteren van water leidt tot ongewenste bodembewegingen. Overige risico's van geothermie, anders dan seismische risico's, worden door dit panel buiten beschouwing gelaten.

In diverse studies wordt geothermie onderverdeeld in twee zogenaamde 'play types' die iets zeggen over de geologische omstandigheden in en rond de watervoerende laag. Het betreft hier de 'matrix play' en de 'fracture play'. Bij de eerste vindt de vloeistofstroom plaats via de connecties tussen de poriën van het reservoirgesteente. Bij de tweede gebeurt dit via haarscheurtjes dan wel grotere scheuren optredend in breukzones. Het panel is echter van mening dat in de meeste geothermische toepassingen beide play types gecombineerd kunnen optreden. Bijvoorbeeld een toepassing in een reservoir (aquifer) van het type matrix play kan een gedeeltelijke bijdrage van vloeistofstroming door fractures krijgen wanneer (te) dicht bij bestaande breukzones wordt geïnjecteerd of geproduceerd. Het panel heeft daarom in haar advies gekozen voor een andere classificatie van typen geothermische winning, hetgeen hieronder wordt gespecificeerd. Ter verduidelijking zal waar nodig in het advies naar de termen 'matrix' en 'fractures' worden gerefereerd

4.2 Buiten scope: Warmte Koude Opslag

Aan de ene kant van de bandbreedte van geothermie kennen we in Nederland de individuele toepassing. Deze systemen zijn de zogenaamde WKO's (Warmte Koude Opslag, in de wetgeving Open bodemenergiesystemen (OBES) en Gesloten bodemenergiesystemen (GBES) genaamd). Dergelijke installaties gaan circa 200 meter diep de grond in om tot een opwarming te komen tot circa 20 graden, hebben nagenoeg geen effect op grondbewegingen en zijn bovendien geen mijnbouwactiviteit in de wettelijke zin aangezien dit pas vanaf 500 meter als zodanig wordt aangemerkt. Daarmee valt WKO buiten de scope van dit advies.

4.3 Binnen scope: conventionele geothermie

De focus van dit advies ligt op toepassing van geothermie bij grote projecten die zijn gericht op verwarming van kassen en woonwijken waarbij sprake is van het oppompen van water van circa 60 tot 100 graden middels boringen in een dieptebereik van 500 tot 4000 meter.

Dit type geothermie staat centraal in dit advies omdat het van groot potentieel belang wordt geacht voor de energietransitie.

Het panel kijkt, nogmaals, alleen naar seismische risico's, maar hecht er wel aan op te merken dat onder het huidige veiligheidsbeleid het putontwerp aan strikte veiligheidsvoorwaarden (die niet zijn gericht op seismische risico's) moet voldoen. Deze eisen zorgen er alleen al voor dat conventionele geothermie op dit moment een grote mate van afhankelijkheid van subsidieverstrekking door de overheid kent.

4.4 Binnen scope: conventionele geothermie met actieve hydraulische stimulatie

Om water beter te laten vloeien in de aquifer rondom de putten wordt wel gebruik gemaakt van zogenaamde hydraulische stimulatie. Dit is een methode waarbij actief scheurtjes met een doorsnede op millimeterschaal en een lengte op meterschaal in het reservoir worden gecreëerd om de doorstroom te bevorderen. Deze methode is in Nederland reeds veelvuldig toegepast bij gaswinning, maar is als zodanig nog niet gebruikt bij geothermie. Het panel zal hier daarom in dit advies relatief kort over zijn.

Thermische scheurvorming rondom de injectieput die onbedoeld ontstaat als gevolg van de injectie van grote volumes koud water in het veel warmere reservoir valt evident ook binnen de scope. SodM heeft in 2013 een protocol opgesteld dat momenteel in winningsplannen als leidraad wordt gebruikt voor de beschrijving van risico's voor de integriteit van de afsluitende laag en op geïnduceerde

seismiciteit. Het gaat om normen gesteld aan het maximum debiet en de injectiedruk in de injectieput om onbedoelde hydraulische stimulatie van reservoir en/of afsluitende laag te beheersen.

4.5 Binnen scope: Ultra Diepe Geothermie

Aan de diepste kant van het spectrum bestaat Ultra Diepe Geothermie (UDG). Door dieper dan circa 4 kilometer in de grond te boren kan water met temperaturen worden bereikt van meer dan 120 graden.

Deze toepassing is door deze hoge temperaturen theoretisch interessant voor het gebruik in de industrie. Voor het behalen van duurzaamheidsambities in de toekomst ligt hier dan ook in theorie een groot potentieel.

Op dit moment zijn enkele aanvragen voor opsporingsvergunningen bekend o.a. in Utrecht en de Betuwe. De verwachting van het panel is echter dat er op korte termijn nog geen winningsvergunningen aangevraagd zullen worden gezien het feit dat de financiële investering groot is en de onzekerheden rondom de techniek van winning groot zijn. Het panel zal in dit advies daarom relatief kort zijn over deze toepassing.

5. Bouwstenen voor het advies

Het panel benoemt de volgende bouwstenen voor zijn advies.

5.1 Definities en criteria voor schade

Veiligheidsrisico's en kansen op schade laten zich op een verschillende manier definiëren. Tegelijkertijd bestaat er wel een logisch onderling verband bij seismische gebeurtenissen. Seismische schade (te categoriseren in zogenaamde 'damage-states 1 tot 5', zoals opgenomen in EMS-98 Europese Macroseismische Schaal) kan in oplopende mate leiden tot een kans op instortingsgevaar (te categoriseren naar zogenaamde 'collapse-states 1 tot 3') waarbij het veiligheidsrisico (te definiëren als het individueel risico op overlijden hetgeen in de context van geïnduceerde aardbevingen als lokaal persoonlijke risico is uitgewerkt in o.a. de eerdere adviezen van het hooglerarenpanel 'normering en berekening van het geïnduceerde aardbevingsrisico in Groningen'³) evident toeneemt naarmate de kans op instorten toeneemt.

In de situatie van gaswinning in Groningen is de genoemde classificatie van schade naar damage-states gebruikt voor de beoordeling van de ontstane schade aan huizen. Een vraag van EZK is of deze classificatie ook toepasbaar zou kunnen zijn voor een vertaling naar risico's voor veiligheid en schade als gevolg van toepassing van geothermie. De algemene conclusie van het panel is dat deze daarvoor onvoldoende bruikbaar is, omdat feitelijk alle te verwachte schade als gevolg van geothermie beneden of in de categorie DS1 valt met in worstcase situaties (zwaarste denkbare beving en oud metselwerk) uitzonderingen in DS2, zodat deze schaal onvoldoende onderscheidend is: feitelijk zouden binnen de lichtste schaal van DS1 nog extra onderverdelingen gemaakt moeten worden om werkbaar te kunnen zijn.⁴

³ Het gaat hier om een serie van vier adviezen in 2018 en 2019.

⁴ Zie bijvoorbeeld de onderverdeling en kwantitatieve scalaire maat voor fysieke schade en schade-toename in Korswagen et al. (2019, 2020). Als toelichting: ieder huis heeft 'schade' in de vorm van scheuren door verschillende oorzaken. Oudere huizen met steens-muren hebben vanwege oude funderingen vaak last van zettingsscheuren. Nieuwere huizen op betonnen strokenfunderingen kennen scheuren in kalkzandsteen-binnenwanden vanwege belemmerde krimp. Het kunnen bepalen wat de toename of verergering van deze scheuren is ten gevolge van lichte bevingen speelt een cruciale rol in de schade-diagnostiek bij

In de praktijk zal in gebouwen schade door de lichte aardbevingen die mogelijk veroorzaakt worden door geothermie moeilijk te onderscheiden zijn van schade door andere oorzaken. Mede daarom heeft het panel gezocht naar een praktisch werkbaar oplossingsrichting waarbij het met een zekere kans overschrijden van het bestaande achtergrondniveau aan trillingen op maaiveldniveau de maat is om opgetreden schade te vergoeden. Hiervoor wordt aansluiting gezocht bij de bestaande SBR-richtlijn.

5.2 De samenstelling van de ondergrond in Nederland is divers en maar deels bekend

Variabelen die relevant zijn in de beoordeling van potentiële veiligheidsrisico's en kansen op schade van geothermie betreffen bijvoorbeeld bestaande groundbewegingen dan wel breuklijnen, opslinger-effecten, injectiedruk of stapeling en herhaling van trillingen die zich bovendien ook deels bovengronds bevinden (zie ook hierna).

Daarmee is een vergelijking van geothermie met gaswinning uit het Groningerveld niet zomaar te maken omdat de variabelen voor geothermie (deels) andere zijn dan die bekend zijn en relevant zijn voor gaswinning. Hoewel er overeenkomsten lijken te zijn omdat het gaat over winningsactiviteiten op een gelijke diepte, zijn er vooral significante verschillen. Olie en gas bevinden zich bijvoorbeeld in ruimtelijk (verticaal en lateraal) beperkte accumulaties in (dus) weinig permeabel reservoirgesteente. Voor succesvolle geothermie is juist aanwezigheid van een met water gevuld reservoir ('aquifer') met een zekere permeabiliteit benodigd. De winning van koolwaterstoffen resulteert in een drukdaling in de poriën die tot deformatie van het reservoirgesteente kan leiden terwijl dit bij geothermie niet het geval is.

De verspreiding van geschikte aquifers over Nederland is veel groter dan van koolwaterstofhoudend reservoirgesteente. Daarmee is ook de diversiteit van de ondergrond groter dan in de situatie van Groningen het geval is. Als gevolg van die diversiteit is het veiligheidsrisico en/of de kans op schade ook (theoretisch) meer verschillend per gebied. Belangrijke elementen die het karakter van de ondergrond in dit kader bepalen, zijn onder andere bestaande breukzones (inclusief beoordeling van de diepte van deze breuken), tektonische spanning en de mogelijke aanwezigheid van oude, gedepleteerde gasvelden die aanvullende kritische spanningsvelden kunnen veroorzaken. Zo is de kans dat in Limburg seismiciteit ontstaat door toepassing van geothermie groter, omdat daar bestaande diepe, tektonisch reeds actieve breukzones kunnen worden geactiveerd. Deze breukzones zijn vaak samengesteld in meerdere breuken en de geometrie kan grillig van aard zijn.

De hierboven bedoelde gebiedsinformatie is slechts beperkt beschikbaar. In Nederland is de samenstelling en opbouw van de bovenste 3 tot 5 km van de diepe ondergrond in gebieden waar olie/gaswinning plaats vindt/vond goed in beeld gebracht dankzij boringen en seismische metingen. Voor de diepere niveaus ontbreekt het in het algemeen sowieso aan relevante data.

5.3 Relatie ondergrond en veiligheidsrisico's en kans op schade bovengronds

Cruciaal voor de voorspelbaarheid van veiligheidsrisico's en de kans op schade als gevolg van toepassing van geothermie is in de eerste plaats informatie omtrent de potentiële magnitude van de geïnduceerde bevingen. Op basis van TNO-onderzoek (TNO, 2019) naar door geothermie

mijnbouwactiviteit. Modelvorming en monitoring op basis van een objectieve maat voor de toename van de cumulatieve schade door (repeterende) geïnduceerde seismiciteit is een noodzakelijke stap om de effecten van lichte bevingen door mijnbouwactiviteit te kunnen vergelijken met schade-ontwikkeling door andere oorzaken, d.w.z. zonder mijnbouwactiviteit. Feitelijk zijn dan pas harde uitspraken te doen over causaliteit en toerekenbaarheid.

geïnduceerde bevingen zoals die internationaal zijn voorgekomen concludeert het panel dat in het grootste deel van Nederland, waar geen actieve breuklijnen zijn, geen sterke beving zal kunnen plaatsvinden die wordt veroorzaakt door geothermie. Concreet wil dat zeggen dat de theoretisch maximaal denkbare geïnduceerde aardbeving (M_{max}) door geothermie niet boven een magnitude van 3,5 op de schaal van Richter zal uitkomen. Realistisch is volgens het panel eerder de inschatting dat de M_{max} niet meer dan 1,5 op de schaal van Richter zal bedragen maar vanwege de robuustheid die het panel nastreeft (zie verderop) wordt $M_{max} = 3,5$ gehanteerd.

Daarentegen is het in gebieden met grote actieve breuklijnen (lees voor conventionele geothermie het gebied rondom de Roerdalslenk) op voorhand moeilijk in te schatten hoe groot de kans is op het activeren ervan door geothermie in de nabijheid daarvan en wat de impact hiervan aan het maaiveld zou kunnen zijn. In algemene zin geldt dat het doorboren van een breuk niet direct tot bevingen hoeft te leiden, maar dat injectie van vloeistoffen in een breukzone of in de nabijheid ervan wel dit effect kan hebben. Dit kan betekenen dat ook in het geval van conventionele geothermie waarbij wordt uitgegaan van stroming door de matrix, in de loop van de injectieperiode de vloeistoffen een breukzone zouden kunnen bereiken wanneer de injectieput te dicht bij de breukzone is gepositioneerd. Wat een 'voldoende afstand' precies is om dit verschijnsel te voorkomen, is ingewikkeld in algemene zin te bepalen. Het panel kiest daarom voor een voorzichtige redenering. In algemene zin is het drainage gebied van dit type geothermie cirkelvormig met een straal van maximaal zo'n 5 km. Het panel adviseert daarom als 'voldoende afstand' tweemaal de straal van het drainagegebied. Buiten die contour zal daarmee geen nadere risicoanalyse nodig zijn om te bepalen of de breuk geactiveerd kan worden. Binnen de contour moet door middel van modelstudies worden bepaald ten genoegen van het bevoegd gezag of de afstand tot die breukzone voldoende is om activatie te voorkomen.

Een ander, de effecten van een geïnduceerde aardbeving verhogend, element is het zogenaamde 'opslingereffect'. Wanneer in de diepe ondergrond, ter hoogte van de gebruikte aquifer een trilling optreedt, plant deze zich voort naar het maaiveld. Wanneer de bovenste bodemlagen (zoals bijvoorbeeld veen) slap en van water verzadigd zijn, wordt het trillingssignaal versterkt en spreekt men van opslinging. Aangezien de ondiepe bodemlagen in Nederland nogal variabel in samenstelling zijn, is dit opslingereffect dus ook locatie afhankelijk en daarmee dus de mate van de kans op schade.⁵

Ook is het zo dat de voortplantingsrichting van de op de diepte van de aquifer geïnduceerde seismische golven wordt beïnvloed door de samenstelling en geometrie van de overliggende lagen. Hierdoor kan de vorm van het gebied aan het oppervlak, waar de trillingen optreden, afwijken van de verwachte concentrische cirkels rond het epicentrum van de beving. Overliggende lagen kunnen ook het effect van geïnduceerde seismiciteit op de diepte van de aquifer zo reduceren dat er op maaiveldniveau geen effect meer is.

Bij het modelleren van het effect van door geothermie geïnduceerde seismiciteit zal daarom de samenstelling van de ondergrond in voldoende detail inzichtelijk moeten zijn. Deze data en kennis is in Nederland, zoals in de vorige paragraaf gesteld, niet overal in dezelfde mate aanwezig en ontbreekt soms zelfs geheel.

Het panel maakt in dit advies alleen onderscheid tussen het gebied rondom de Roerdalslenk (waar bestaande tektonisch actieve breukzones bekend zijn) enerzijds en de rest van Nederland anderzijds. Het gebied rondom de Roerdalslenk loopt van Noord Limburg naar Oost Brabant met een noordgrens

⁵ Alvast voor alle duidelijkheid, ook voor locaties met een opslingereffect zal het panel in paragraaf 5.5 betogen dat het veiligheidsrisico buiten de Roerdalslenk niet de daar voorgestelde norm zal overschrijden. Het opslingereffect is daarom 'slechts' een potentieel schade verhogend effect.

rond de grote rivieren. Binnen dit gebied bevindt zich een aantal grote breukzones die vaak doorlopen tot aan het maaiveld. Een nadere specificatie in gebieden wordt door het panel niet onderscheiden.⁶

Voor het gebied rondom de Roerdalslenk *adviseert* het panel dat de locatie van het doublet dat wil zeggen het reservoirniveau waarin geïnjecteerd wordt, minimaal 10 km lateraal van de breukzones in de Roerdalslenk verwijderd moet blijven om risico's op seismiciteit te verkleinen. Deze afstand is gebaseerd op een gemiddeld maximale invloedssfeer (druk/temperatuur verandering, vloeistofstroom) in een straal van 5 km rond een doublet gedurende de totale lifecycle van rond de 40 jaar. Hierbij opgeteld wordt een zone met een extra straal van 5 km teneinde de huidige geologische onzekerheid te representeren. Het panel realiseert zich dat dit een ruime marge vertegenwoordigt. Dit wordt echter ingegeven door de bevingshistorie in het tektonisch actieve Roerdalslenk-gebied, waarbij in de laatste 70 jaar meer dan tien bevingen in Limburg en Brabant zijn opgetreden met magnitudes variërend tussen 4 en 5.8 op de schaal van Richter.⁷ Tegen deze achtergrond acht het panel het risico van (re)activeren van deze breuken door geothermische activiteiten groot zodat een risicoanalyse aan zware voorwaarden moet voldoen (zie verderop).

5.4 Er is een gebrek aan data over de (ontwikkeling van) seismiciteit van geothermie daarom monitoring als randvoorwaarde

Door de relatief jonge toepassing van geothermie is er nog op zeer beperkte schaal informatie over de effecten ervan aan het oppervlak beschikbaar. Om in de toekomst beter te kunnen beoordelen welke proportionele maatregelen getroffen moeten worden om veiligheidsrisico's en de kans op schade te verkleinen dan wel te voorkomen, is daarom consequente dataverzameling in de vorm van adequate en continue monitoring noodzakelijk.

De monitoringsvraag is ook des te meer relevant omdat naarmate de injectietijd toeneemt, er zich een steeds grotere hoeveelheid 'koud' water in de aquifer zal bevinden. Het panel verwacht daarom dat het gebied met temperatuurcontrasten steeds groter wordt en dus ook de mogelijke krimp-scheurdichtheid en daarmee potentiële seismische activiteit. Dit proces neemt jaren in beslag en zal alleen bij adequate en continue monitoring zichtbaar worden.

Het panel *adviseert* daarom om adequate en continue monitoring bij geothermie verplicht te stellen (zie hierna paragraaf 6.4 voor gedachten over operationalisering van die verplichting). Het doel moet zijn om aan de hand van de metingen van seismiciteit en temperatuur tot nu toe, een goede inschatting te maken van de ontwikkeling van groundbewegingen. Afwegingen ten behoeve van besluitvorming aangaande risico's en al dan niet tussentijds bijsturen kunnen immers alleen gemaakt worden wanneer inzichtelijk is wat de fysieke ondergrondsituatie is vóór toepassing van geothermie, wat de bovengrondse effecten van trillingen zijn en wat de ondergrondsituatie is ná toepassing.

Mocht op basis hiervan het ingeschatte *veiligheidsrisico* te groot worden ten opzichte van de voorgestelde veiligheidsnorm (zie paragraaf 5.5) dan moet de toezichthouder kunnen ingrijpen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan (tijdelijk) afschalen van de water injectie/productie, dan wel acuut in zijn geheel stilleggen. De operator zelf heeft de verantwoordelijkheid om te reageren op een grotere *kans op schade* door verhoging van de zekerheidsstelling voor vergoeding daarvan (zie

⁶ Hierbij dient wel te worden aangetekend dat in die locaties waar reeds geïnduceerde seismiciteit is waargenomen daar in elke geothermische risicoanalyse die op schade gericht is rekening mee gehouden moet worden.

⁷ Het epicentrum van deze bevingen ligt in het algemeen veel dieper dan die van de geïnduceerde bevingen in Groningen zodat het effect niet direct te vergelijken is.

paragraaf 5.6) en waarop de toezichthouder toeziet. Het panel *adviseert* deze criteria en maatregelen nader uit te werken.

Wanneer deze inzichten gekoppeld worden aan bepaalde grenswaarden (zie de volgende bouwstenen) ontstaat een instrumentarium op basis waarvan tussentijds kan worden ingegrepen wanneer met name de kans op schade onaanvaardbaar groot dreigt te worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan (tijdelijk) afschalen van de waterinjectie en dus productie van de geothermische toepassing dan wel acuut en geheel stilleggen.

Monitoring kan als standaard minimumvereiste worden gesteld bij het uitgeven van de startvergunning. Meer specifiek gaat het daarbij om lokale monitoring: de huidig beschikbare meetapparatuur (KNMI-netwerk) ligt te ver van bepaalde locaties vandaan om microbewegingen te kunnen vastleggen. Monitoring kent twee aspecten:

- Het beschikbaar hebben van de *nulsituatie* is van belang bij het modelleren van de effecten op de seismiciteit van de geothermische toepassing omdat de verandering in tijd gemodelleerd moet worden.
- De *monitoring gedurende de exploitatie* is essentieel om twee redenen. Ten eerste om vast te stellen dat tot schade leidende trillingen veroorzaakt zijn door de geothermische toepassing en dat deze trillingen een PGV hebben veroorzaakt boven de gestelde grens V_r . Deze aanpak is een belangrijk aspect bij de regulering van aansprakelijkheid en de invulling van de zorgplicht die in de volgende paragraaf wordt besproken. Ten tweede stelt monitoring over langere tijd ons in staat om de eventuele groei van seismische activiteit ten opzichte van de nulsituatie te modelleren. Het doel is om op tijd te kunnen ingrijpen als de kans op schade of misschien zelfs het veiligheidsrisico te groot wordt.

In relatie tot bovenstaande is de gedachte van het panel dat in de huidige systematiek van de Mijnbouwwet de eis van monitoring geen consequenties hoeft te hebben voor het afgeven van initiële zoekvergunningen. Zodra echter met de startvergunning tot de winningsfase van geothermie wordt overgegaan, moeten de effecten ervan op groundbewegingen gemeten worden. Dit betekent dat een verplichting tot monitoring onderdeel van de startvergunning moet zijn. Hierbij ligt natuurlijk tevens een relatie met de noodzakelijke ontwikkeling van modelvorming gedurende de aankomende jaren.

Het panel *adviseert* de modelvorming (d.w.z. specifiek technische kennisontwikkeling over de ondergrond en bodembeweging door geothermie) aan het Rijk voor te behouden omdat daarmee de kans op het delen van informatie ten gunste van het algemeen belang wordt vergroot, en het belang om data voor individuele doorontwikkeling te houden wordt verkleind. Bovendien brengt een eis om de vergunningshouder zelf te laten modeleren en innoveren een zware financiële druk voor middelgrote geothermie ondernemingen met zich mee, terwijl het realiseren van ambities in de energietransitie juist van deze partijen afhankelijk is. Deze situatie wijkt hiermee sterk af van de klassieke winning van fossiele brandstoffen door over het algemeen kapitaalkrachtige bedrijven.

Het panel *adviseert* dat onderdeel van de eisen in de winningsvergunning wordt dat de door de verplichte monitoring verzamelde data integraal beschikbaar wordt gesteld aan het KNMI, dat dan als 'custodian' van die gegevens kan optreden. Op deze wijze kunnen experts modellen ontwikkelen voor de lokale omgeving en deze vervolgens in het kader van verdere kennisverbreding openbaar delen. Het panel denkt hierbij aan experts van partijen zoals EBN en TNO-AGE.

Het panel *adviseert* verder dat partijen aan wie de winningsvergunning reeds is verstrekt, gevraagd wordt de informatie uit de metingen integraal beschikbaar stellen aan het KNMI.

Overigens, en ten overvloede, *adviseert* het panel om als Nederlandse vergunningverlenende overheid ook internationale data over de ontwikkeling van het seismisch veiligheidsrisico en de kans op schade goed in de gaten te houden.

5.5 Afwegingskader voor veiligheidsrisico's

Goed openbaar bestuur kenmerkt zich door het verantwoord omgaan met risico's. Het onderwerp heeft dan ook in verschillende sectoren de aandacht en er zijn daarin verschillende afwegingskaders ontwikkeld. Zo heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2014 het kader 'Bewust omgaan met risico's' opgesteld, dat een vervolg was op de visie 'Nuchter omgaan met risico's' van het kabinet van destijds. In 2015 heeft het kabinet zijn visie op veiligheidsbeleid geformuleerd in een brief aan de Tweede Kamer. Daarin zijn drie uitgangspunten benoemd voor de bestuurlijke omgang met risico's en verantwoordelijkheden:

- Het is wenselijk om burgers zo direct en transparant mogelijk te betrekken bij de besluitvorming over de omgang met risico's en de reactie op incidenten die hen betreffen;
- Waar mogelijk laat openbaar bestuur de samenleving de ruimte door ook op het veiligheidsaspect burgers en bedrijven minder regels op te leggen. Wie wil en kan, moet de mogelijkheid krijgen zelf over veiligheid te besluiten;
- De overheid beslist op proportionele, goed afgewogen wijze over het omgaan met risico's, ook naar aanleiding van incidenten.

In algemene zin ziet het panel geen reden af te wijken van deze algemene uitgangspunten voor het Nederlandse risicobeleid en vertaalt deze als volgt voor het seismische veiligheidsrisico voor alle vormen van geothermie.

Het acceptabele basisniveau voor het individueel risico (IR) is een overlijdenskans van 10^{-5} per jaar.

In de context van seismische risico's wordt het IR berekend volgens de adviezen van het hooglerarenpanel 'normering en berekening risico's geïnduceerde aardbevingen Groningen' als het Lokaal Persoonlijk Risico (LPR).

Als antwoord op de vraag of de LPR-norm van 10^{-5} ook voor geothermie afdoende is, refereert het panel aan de redeneerlijn van o.a. Meijdam: *De veiligheidsnorm in Groningen moet dezelfde zijn als in de rest van Nederland. Groningers dienen niet aan een hoger of lager risico te worden blootgesteld dan iedere andere inwoner van ons land. Dit betekent bijvoorbeeld dat het risico van instorting van een woning als gevolg van een aardgasbeving zich op hetzelfde niveau dient te bevinden als het risico dat inwoners van ons land lopen ten gevolge van bijvoorbeeld een storm of dijkdoorbraak.'*

Daarbij sluit het panel meer specifiek aan bij artikel 2.5 van de Integrale nota van toelichting van het Bouwbesluit 2012 waarin de wetgever aan de kans op bezwijken van een bouwconstructie als gevolg van een geïnduceerd seismisch risico een maximaal toelaatbaar individueel risico verbindt van 10^{-5} .

In reacties op het spoedadvies van het panel werd de vraag gesteld waarom wordt aangesloten bij het algemene Nederlandse veiligheidsbeleid en niet bij de unieke en strengere norm voor het IR van de chemische industrie die 10^{-6} bedraagt. Het panel verwijst op deze plaats naar de redenering van de commissie Meijdam en het hooglerarenpanel 'normering en berekening risico's geïnduceerde aardbevingen Groningen' die door de minister van EZK is overgenomen dat deze strengere norm een historisch verklaarbare afwijking is in het Nederlandse veiligheidsbeleid voor een heel specifiek risico. Het panel zal in haar overkoepelende advies over de normering van seismische veiligheidsrisico's en de kans op schade voor alle overige mijnbouw hier in detail op terugkomen.

Op basis van vrijwilligheid bij de risico-ontvangers (en dus in dialoog met de risicoveroorzaker) kan tot acceptatie van een hoger risiconiveau worden besloten;

In lijn met de uitgangspunten van Rijksbeleid voor bestuurlijke omgang met risico's en verantwoordelijkheden stelt het panel dat afspraken met de omgeving kunnen worden gemaakt voor het lopen van een hoger risico als daar iets tegenover staat. Dergelijke afspraken zijn reeds bekend bij wonen in uiterwaarden (overstromingsrisico) en bij windmolens en megastallen (overlast). Tevens wordt hiermee de mogelijkheid gecreëerd voor lokale bestuurlijke afwegingsruimte in lijn met de uitgangspunten van de Omgevingswet en de Nationale Omgevingsvisie.

Gegeven het basisoniveau voor het IR moeten veiligheidsmaatregelen om het risico nog verder te verlagen redelijk zijn, d.w.z. voldoen aan de gebruikelijke normen voor de verhouding tussen gewonnen gezonde levensjaren en veiligheidsinvesteringen.

Voor het inzichtelijk maken van nieuwe (seismische) risico's is de gebruikelijke statistische aanpak niet mogelijk vanwege de afwezigheid van relevante data en kennis. Nieuwe statistische methodes, inclusief bestuurlijk vast te stellen uitgangspunten daarvoor (zoals het gebruik van de verwachtingswaarde zoals eerder door de minister van EZK voor de gaswinning in Groningen vastgesteld), kunnen hier op termijn mogelijk soelaas bieden maar op de korte termijn is volgens het panel een andere robuuste beslismethodiek nodig.

Het panel *adviseert* daarvoor om tenminste de aankomende jaren met een realistische zwaarst denkbare aardbeving te rekenen waarbij dus de eis is dat niemand aan een hoger LPR dan 10^{-5} wordt blootgesteld. Deze aanpak is dezelfde als waarvoor in de bestuurlijk vastgestelde LoC-methode in Groningen voor de berekening van de aardbevingsbestendigheid van de industrie is gekozen.

Een conclusie van het panel is dan dat in Nederland over het algemeen bij conventionele geothermie (buiten het invloedsgebied van de Roerdalslenk, zie eerder en hierna) het veiligheidsrisico van geothermie aanvaardbaar is omdat het LPR kleiner is dan 10^{-5} . De onderbouwing hiervoor is volgens het panel te vinden in het TNO-rapport van Zegwaard (2019). Dit laat zien dat bij de voor Nederland relevante bodemsoorten en conventionele geothermische methoden de kans op het optreden van geïnduceerde bevingen zeer gering is en dat de mogelijke maximale magnitudes beperkt zijn (afhankelijk van de bodemsoort tot maximaal een Mmax van 3,5 op de schaal van Richter). Bij een dergelijk Mmax is de kans op slachtoffers aan de oppervlakte kleiner dan 10^{-5} zo blijkt uit de, inmiddels vele, studies die ten behoeve van de geïnduceerde aardbevingen in Groningen zijn verricht.

Er is daarom in het algemeen volgens het panel geen noodzaak om bij de vergunningverlening voor conventionele geothermie een op veiligheid gerichte seismische hazard analyse te vereisen.

De uitzondering is een zone van 10 kilometer lateraal aan beide zijden van de Roerdalslenk waar deze inschatting (nog) niet gemaakt kan worden omdat de Mmax in dat breuksysteem bewezen boven de 5 op de schaal van Richter ligt. Een robuuste inschatting op basis van Mmax dat het LPR onder de 10^{-5} ligt kan dus ook niet gemaakt worden.

In die zone rondom de Roerdalslenk is een voorspellend grondmodel dus noodzakelijk om het risico te kunnen inschatten en aan te kunnen tonen dat het LPR beneden de 10^{-5} ligt. Door het ontbreken van een volledig spectrum van waarnemingen van bevingen, alsmede voldoende lithologische karakteristieken, kan op dit moment echter nog geen voorspellend grondmodel opgesteld worden.

Dat betekent dat in deze zone rondom de Roerdalslenk de bewijslast voor berekeningen en/of een kwalitatieve redenering die laten zien dat het individueel risico inderdaad kleiner is dan 10^{-5} door het panel bij de vergunningaanvrager wordt gelegd. Het adviespanel merkt op dat zij zelf op dit moment nog geen mogelijkheid ziet om deze eis dat het LPR kleiner is dan 10^{-5} aannemelijk te maken.

Het panel *adviseert* daarom, vanwege zijn inschatting dat de kans op activatie van de breuken in de Roerdalslenk reëel is met mogelijk grote gevolgen, het voorzorgsbeginsel als volgt in te vullen. Er moet voor gezorgd worden dat injectie in de aquifer niet tot gevolg heeft dat het drukfront of temperatuurfront de breuk bereikt gedurende de gehele injectieperiode:

- Om de *horizontale* afstand tot een breuk te bepalen gaat het panel uit van een aquifer die lateraal continu is voor wat betreft de permeabiliteit van het reservoir.
- De *verticale* progressie van druk- en temperatuur -front wordt begrensd door de aan- of afwezigheid van niet-doorlatende (klei)lagen boven en onder de aquifer. Inzicht in de verticale lithologieveranderingen is noodzakelijk om de verticale minimumafstand van injectiepunt tot breuk te berekenen. Voor de helderheid: een 'veilige' aquifer onder de breuk is theoretisch mogelijk, dat wil zeggen dat door de breuk heen kan worden geboord (het breukvlak is hellend met meestal een gradiënt van 60-70°) en dat dan moet worden aangetoond dat de afdekkende lagen rond de aquifer voldoende afsluiten. In de praktijk lijkt voor conventionele geothermie, gezien de hellingshoek en de beperkte diepte van conventionele geothermie, de horizontale afstand tot de breuk leidend.

Het panel benadrukt dat de voorgestelde normering zich richt op door geothermie veroorzaakte veiligheidsrisico's en geen cumulatieve norm is voor het totale seismische risico dat tevens natuurlijke seismiciteit omvat. Het panel heeft ervoor gekozen om geïnduceerde en natuurlijke seismiciteit als verschillende risico's te beschouwen en sluit daarmee aan bij bestaande uitgangspunten rondom compartimentering van risico's zoals beschreven in de nota 'Omgaan met risico's' uit 1989 en overigens ook bij het besluit van de minister van EZK daarover voor de omgang met geïnduceerde bevingen in Groningen.

5.6 Afwegingskader voor schade

Het panel citeert in de eerste plaats met instemming de brief van de minister van EZK van 30 mei 2018 aan de Tweede Kamer die aangeeft dat zonder acceptatie van een kans op schade activiteiten als geothermie niet kunnen worden uitgevoerd. 'Onze levensstandaard is gebaseerd op een ruime beschikbaarheid van betaalbare energie. Nu is die nog vooral fossiel, straks vooral duurzaam. Maar de opgave verandert in één opzicht niet: energieopwekking veroorzaakt onherroepelijk hinder, in de vorm van industriële activiteit, uitstoot, verandering van het uitzicht, ruimtebeslag of bodembewegingen.'⁸

Als gevolg van het op dit moment ontbreken van voorspellende grondmodellen richt dit advies zich noodzakelijkerwijs op het omgaan met zichtbare schade aan objecten of infrastructuur nadat die is opgetreden.

Het panel merkt op dat het Nederlandse beleid natuurlijk grenzen stelt aan de maximalisering van schade die tot letsel kan leiden (zie het eerdere deel van dit advies) maar niet op voorhand eisen stelt aan het niet mogen optreden van schade. Een bekend voorbeeld is het optreden van microbursts rondom Schiphol vanwege vliegbewegingen waardoor het dak van een huis zwaar kan worden beschadigd. Direct nabij Schiphol zijn hier preventieve maatregelen voor getroffen, iets

⁸ HTK 2017–2018, 33 529, nr. 469, pg 2.

verder van Schiphol af wordt de schade ruimhartig vergoed. De huidige Mijnbouwwet spreekt in bijvoorbeeld 35 artikel een vorm van inspanningsverplichting uit die echter ook niet gekwantificeerd is, namelijk dat het winningsplan de maatregelen *beschrijft* die genomen worden ter voorkoming van schade door bodembeweging.

Het panel ziet geen reden af te wijken van deze Nederlandse beleidspraktijk en *adviseert* daarom om daarbij aan te sluiten.

Een specifieke vraag van het ministerie betrof een advies over de concretisering van een passage in het nog vast te stellen artikel 24t Mijnbouwwet, namelijk dat het risico op onaanvaardbare schade een weigeringsgrond voor een startvergunning voor geothermie is. Het adviespanel houdt de redenering aan dat schade 'aanvaardbaar' is, als deze ontstaat ondanks dat aan alle wet- en regelgeving is voldaan en indien met zekerheid kan worden gesteld dat de schade vergoed wordt.

Om het voorgaande zeker te kunnen stellen *adviseert* het panel dat schade met voldoende garantie vergoed moet worden. Dat kan bijvoorbeeld door schade te laten verzekeren bij een commerciële verzekeraar, maar de politiek zou ook tot een schadefonds kunnen besluiten waaruit schade vergoed wordt.

Merk op dat bij toename van het mogelijk aantal beschadigde gebouwen ook de potentiële schadelast toe zal nemen op een wijze die maakt dat de zekerheidsstelling lastiger wordt en daarmee de toepassing van geothermie daarmee onaantrekkelijker wordt. Tevens geldt dat er altijd sprake zal zijn van een maximum van het te verzekeren bedrag en dat wanneer de schade hoger blijkt te zijn dan dat maximum de kans groot is dat de aansprakelijkgestelde partij failliet zal gaan. Dit wordt door het panel als niet te voorkomen beschouwd en is gebruikelijk in allerlei domeinen.

Het panel leest artikel 33 Mijnbouwwet dat over zorgplicht spreekt als een inspanningsverplichtingen die vergelijkbaar is met andere terreinen (zoals de milieuwetgeving of de Arbowet) waar de inspanningsverplichting betekent dat de activiteit met de redelijkerwijs best beschikbare technologie wordt uitgevoerd. Daarbij maakt het panel de volgende kanttekeningen:

- Zodra de vergunning verleend is, is het volgens het panel niet redelijk om daar op terug worden gekomen tenzij er zwaarwegende veiligheidsbelangen zijn. De huidige Mijnbouwwet geeft een 'te gemakkelijke' mogelijkheid om op elk moment nadere eisen te stellen. Het panel wijst op het rechtens verkregen niveau van veiligheid in het Bouwbesluit of de milieuwetgeving waarin na bijvoorbeeld 10 jaar een revisievergunning aangevraagd dient te worden maar in de tussentijd geen aanpassingen aan nieuwe inzichten worden verlangd tenzij er een zwaarwegend maatschappelijk belang is.
- Op dit moment ziet het panel geen extra eisen die gesteld kunnen worden aan de vergunningaanvrager om het seismisch risico te verlagen boven op de bestaande eisen van SodM ten aanzien van de injectiedruk om te voorkomen dat waterkerende lagen worden doorbroken. Vanzelfsprekend geldt de toepassing van deze eisen totdat nader onderzoek anders zou uitwijzen. Ook dan geldt echter dat een afweging gemaakt moet worden of het maatschappelijk belang van extra eisen aan een bestaande vergunning groot genoeg is om in de redelijke rechten van een vergunninghouder te treden.

Andersom geredeneerd stelt het panel dat schade wel onaanvaardbaar wordt geacht als deze niet adequaat vergoed kan worden. Impliciet wordt daarmee middels regelgeving op het gebied van (begrenzing van) (verzekerde) risicoaansprakelijkheid wel bepaald wat onaanvaardbare schade is. Te denken valt aan de reeds bestaande verplichting voor transport van gevaarlijke stoffen om voor 10 miljoen euro verzekerd te zijn tegen schade, zie onderstaand kader. Ook deze richting *adviseert* het panel te volgen.

Aansprakelijkheid vervoer gevaarlijke stoffen

In Nederland worden jaarlijks tientallen miljoenen tonnen gevaarlijke stoffen via spoor, weg of water vervoerd. Om incidenten hiermee te voorkomen bestaat er gedetailleerde Nederlandse en Europese wet- en regelgeving. De naleving door transportbedrijven van essentiële veiligheidsmaatregelen is volgens de Inspectie Leefomgeving en Transport hoog terwijl controle als gevolg van verschil in toezichtregimes nagenoeg niet en doorgaans altijd ex post plaatsvindt. Een reden is dat vervoerders van gevaarlijke stoffen in Nederland sinds de jaren negentig verregaand aansprakelijk zijn voor ongevallen die zij veroorzaken. Hiertoe is in 1992 de risicoaansprakelijkheid van de vervoerder geïntroduceerd in het Burgerlijk Wetboek. Aanvullend is een aansprakelijkheidsverzekering verplicht gesteld volgens artikel 3a van de Wet aansprakelijkheidsverzekering motorrijtuigen. Het verplichte verzekerde bedrag bedraagt momenteel 10 miljoen euro.

Het overleggen door de vergunningaanvrager van een bewijs van verzekering kan daarmee in de opinie van het panel een voorwaarde voor vergunningverstrekking zijn. Dit geeft eventueel gedupeerden een zekerheid dat hun schade vergoed wordt. Tegelijkertijd stelt het panel dat een grens gesteld moet worden (bijvoorbeeld aan de gemeten of met enige zekerheid berekende grondsnelheid bij objecten met schade) waar beneden geen aanspraak op vergoeding kan worden gemaakt om de vergunningaanvrager ook een redelijke zekerheid te bieden op dat alleen terechte claims uitbetaald moeten worden.

Het adviespanel *adviseert* daarom dat een kans op schade aanvaardbaar moet worden geacht als die schade met voldoende zekerheid vergoed wordt.

In haar algemene advies over de vergoeding van schade ten gevolge van overige mijnbouw gaat het panel dieper in op de ratio van de keuze die door het panel gemaakt wordt om te kiezen, net als in de huidige Nederlandse praktijk bij trillingsschade door bijvoorbeeld heien, voor een 1% grenswaarde gesteld aan de a priori kans op schade veroorzaakt door een trilling.

Heel concreet wil het panel aan te sluiten bij de volgende bestaande spelregels zoals die voor trillingsschade bij civiele werkzaamheden in de SBR Trillingsrichtlijnen zijn beschreven:

- Voor schade door seismische belasting geldt dat deze voor vergoeding in aanmerking komt zodra de PGV (maximale grondsnelheid, Peak Ground Velocity) gemeten op bodemoppervlak of niveau van begane grond van een bouwwerk groter is dan een grenswaarde V_r^9 , zoals beschreven in de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken, zijnde een geaccepteerde praktijkrichtlijn voor schade bij trillingen ten gevolge van verkeer en bouwwerkzaamheden.
- Het panel adviseert daarmee, net als de SBR zoals vermeld in paragraaf 10.1 van SBR Trillingsrichtlijn A, een grenswaarde V_r die correspondeert met een kans op schade van orde grootte 1%.
- Bouwkundige schade die aanwijsbaar te wijten is aan seismische belasting, moet vergoed worden. Omgekeerd, zolang V_r niet wordt overschreden is het uitgangspunt dat er daardoor geen te vergoeden bouwkundige schade optreedt. Merk dus op dat die grenswaarde V_r de lichtste vorm van vergoedbare schade beschrijft en dat bij die lichtste schade er een 1% kans is dat deze onterecht niet vergoed wordt. Als de schade oploopt, neemt de kans op onterecht niet vergoeden steeds verder af.

De werkwijze die het panel *adviseert* is een beperkte uitbreiding van de SBR-methodiek omdat niet alle bouwwerken waar schade kan optreden voorzien zullen zijn van een versnellingsmeter:

⁹ Zie hoofdstuk 10 en bijlage 4 van SBR Trillingsrichtlijn A.

- Op basis van de gemeten versnellingen in het lokale meetnetwerk van versnellingsmeters aan de oppervlak en het meetnetwerk onder de grond wordt de verdeling van de piekgrondsnelheid voor het object met schade bepaald.
- De SBR-richtlijn bevat de kans op schade voor verschillende waarden van de verhouding van de piekgrondsnelheid ten opzichte van de grenswaarde. De gevonden verdeling kan dan dus gebruikt worden om met behulp van een convolutie de kans op schade aan het gebouw uit te rekenen. Als deze kans groter is dan 1%, dan wordt de schade vergoed.

Nogmaals, het panel *adviseert* dan als aanvullende 'spelregels':

- Er moet een zekerheidsstelling bijvoorbeeld in de vorm van een verzekering zijn dat schade vergoed kan worden. Voorspelbaar zal dit uitgangspunt voor de omgang met mogelijke schade in de praktijk leiden tot beperkingen aan het gebruik van geothermie binnen 10 km van de Roerdalslenk, bij sterk opslingerende ondiepe bodemlagen en in de buurt van gedepleteerde gasvelden.
- Teneinde vast te kunnen stellen of grenswaarden in grondsnelheid al dan niet overschreden worden, dient de vergunninghouder monitoringsactiviteiten uit te voeren gedurende en voorafgaand aan de start van de geothermische operaties (ten behoeve van informatie voor de nul-meting). Hiervoor kunnen op locatie actieve versnellingsmeters worden geplaatst aan de hand waarvan kan worden bepaald of SBR-waarden worden overschreden. Het panel geeft in haar reflectie in het laatste hoofdstuk een nadere duiding van de eisen waarmee de monitoring vormgegeven zou kunnen worden.

Het panel *adviseert* dat nader onderzoek nodig is om de toepasbaarheid van de SBR-grenswaarden voor aardbevingen te valideren. Tot dat gereed is, ziet het panel geen redelijk alternatief voor het gebruik van de SBR-waarden.

Het panel onderkent dat:

- maatschappelijke acceptatie van dit principe af zal hangen van het absolute aantal panden met schade.
- er een probleem kan zijn met de verzekerbaarheid van de risicoaansprakelijkheid. Dit is dan een indicatie dat de onzekerheid nog te groot is voor commerciële verzekeraars en daarmee ook een indicatie van de mate van volwassenheid van de sector. Wanneer de overheid hecht aan bevordering van geothermie zal zij (een deel van) het risico moeten dragen.

In het verlengde van hetgeen hierboven is beschreven is een additionele onzekerheid relevant om te benoemen. Er is namelijk ook altijd sprake van bovengrondse trillingen als gevolg van vrachtwagen- en treinverkeer, trillingen ten gevolge van bouwwerkzaamheden (bijvoorbeeld heien), trillingen bij normaal gebruik zoals het belopen van vloeren en het sluiten dan wel dichtslaan van deuren, etc. De impact van bevingen als gevolg van toepassing van geothermie zal moeten worden afgezet tegen deze bovengrondse trillingen om een mogelijk causaal verband te kunnen leggen tussen geothermie en impact en dus schade. De te beoordelen daadwerkelijke impact is bovendien mede afhankelijk van bijvoorbeeld de locatie waar het zich voordoet (impact is in een stedelijk gebied groter dan in een weideland). Het inzichtelijk maken van de nulsituatie van het bestaande trillingenniveau is van belang om de impact van die bestaande trillingen te kunnen beoordelen en afwegen tegen de impact als gevolg van geothermie.

Tenslotte geeft het panel nog in overweging om naast een verzekeringsplicht, ook te eisen om te onderzoeken of er omwonenden zijn voor wie het verwachte aantal schades dat zij als gevolg van de activiteit ondervinden, groter is dan eens per 5 jaar. Deze termijn van het optreden van schade van ten hoogste elke 5 jaar wordt door het panel als redelijk en billijk geacht. Indien dit het geval is

adviseert het panel om de exploitant te verplichten in overleg met de omwonenden hier een pro-actieve compensatieregeling voor te treffen, bijvoorbeeld door hen mee te laten delen in de winst van de exploitatie. In het meer algemene advies over de omgang met de seismische risico's van overige mijnbouw van dit panel wordt hier dieper op ingegaan.

5.7 Specifieke aandachtspunten voor in Nederland nog nieuwe vormen van geothermie: UDG en hydraulische stimulatie

Ultradiepe geothermie (UDG) wordt nog niet toegepast in Nederland, waardoor er nog veel over onbekend is en daarmee ook de risico's nog niet een eenduidig geschat kunnen worden. De belangrijkste onzekerheid is de ontbrekende kennis over samenstelling van de ondergrond op grote diepte en met name de reservoir karakteristieken, locatie en aard van breukzones en bestaande tectonische spanning ter plekke. Gezien de grotere diepte van de mogelijke aquifers is het wel te verwachten dat de permeabiliteit van de reservoirs gering zal zijn waardoor het aannemelijk is dat er voor de winning hydraulische stimulatie van de putten nodig zal zijn. Tevens zal dit ertoe leiden dat de exploitanten een voorkeur zullen hebben om via natuurlijke fractures in breukzones te injecteren/producen omdat daar de permeabiliteit mogelijk hoger zal zijn.

Al met al kan deze werkwijze ertoe leiden dat het risico op direct dan wel indirect geïnduceerde aardbevingen bij UDG hoger is dan bij conventionele geothermie.

Het panel *adviseert* derhalve om bij UDG in ieder geval vooralsnog injectie in en productie uit diepe breukzones te vermijden.

Het panel *adviseert* verder om gezien de huidige ondergrondse onzekerheden voor hydraulische stimulatie in het geval van UDG een normeringskader te ontwikkelen dat rekening houdt op maximale injectiedruk, volume en samenstelling van de frack-vloeistof, temperatuur etc. Onderzoek hiernaar zou passen in het bijvoorbeeld het kader van het KEM-programma.

Voor hydraulische stimulatie op de diepte van conventionele geothermie geldt dat het panel geen principiële verschil ziet met de seismische risico's van reguliere gaswinning waarbij hydraulische stimulatie wordt gebruikt. Hier is al relatief veel over bekend en bestaat een normeringskader dat door SodM wordt gehanteerd. Het panel *adviseert* dit normeringskader voor de korte termijn te gebruiken.

Wel dient in overweging genomen te worden dat de ondergrens van werkbare permeabiliteit voor gas duidelijk lager is dan die voor water. Dit betekent dat de eisen voor het resultaat van hydraulische stimulatie bij geothermie hoger zouden kunnen liggen dan bij gaswinning. Het panel *adviseert* daarom dit aspect met voorrang te onderzoeken zodra vergunningen aangevraagd worden.

6. Reflectie adviespanel

In deze laatste paragraaf geeft het adviespanel enkele slotoverwegingen en denklijnen ter overweging mee.

6.1 Een advies gericht op 'morgen' en 'over enkele jaren'

In het advies is gezocht naar proportionaliteit in de diepgang van de noodzakelijke risicoanalyse en voorgeschreven berekeningen en (daarmee) het voorkomen van het optreden van de risicoregelreflex om onredelijke belemmeringen voor de energietransitie tegen te gaan.

Het advies maakt daarom feitelijk onderscheid tussen twee fasen:

'Morgen' geeft de voorgestelde risicoanalyse een robuust startpunt voor vergunningverlening ten behoeve van geothermie die 'voldoende' veilig is en die 'voldoende' aandacht heeft voor schade.

Voor een verfijndere risicoanalyse die 'over enkele jaren' gereed kan zijn, pleit het panel voor een verplichting 'vanaf vandaag' tot informatievergaring. Daarmee kan er gewerkt worden om de aankomende jaren tot modelering te komen die een dieper, gedetailleerder inzicht geeft in de ontwikkeling van veiligheidsrisico's en de kans op schade.

6.2 Effect advies op schaalgrootte geothermieoperators

Het panel concludeert dat in de huidige praktijk de toepassing van geothermie doorgaans niet de corebusiness betreft van de partij die het geothermiesysteem in beheer heeft (denk aan toepassingen in woonwijken en tuinbouw). Dat betekent automatisch dat er minder kennis en financiële middelen beschikbaar zijn bij de beheerders voor verdere ontwikkeling van kennis en kunde.

De invoering van verplichte monitoring en een verplichte aansprakelijkheidsverzekering zal waarschijnlijk (vergelijk de ontwikkeling bij het vervoer van gevaarlijke stoffen in bulk) leiden tot een schaalvergroting van geothermieoperators omdat alleen grote partijen in staat zullen zijn aan deze eisen te voldoen. Dit wordt door het panel niet per se als een bezwaar gezien omdat zij van mening is dat daarmee als het ware een soort accreditatieproces ontstaat waarmee een noodzakelijke minimumkwaliteit van toepassing van geothermie kan worden geborgd.

6.3 Over de aanvaardbaarheid van schade

Ten aanzien van de grenswaarden voor het bepalen van al dan niet aanvaardbare schade en het vergoeden daarvan sluit het adviespanel zoals gesteld aan bij bestaande geaccepteerde richtlijnen. Daarbij merkt zij op dat er in Nederland geen wettelijke eisen aan schade worden gesteld (deze zijn alleen aanwezig voor eisen aan veiligheid). Het panel denkt in principe positief over het instellen van een schadefonds, maar doet geen uitspraken over de wijze waarop deze gevormd zou moeten worden. Het is evident dat hier tevens een relatie ligt met de al dan niet verzekeraarbaarheid van schade als gevolg van toepassing van geothermie.

Het panel benadrukt dat voor een effectieve, efficiënte en maatschappelijk aanvaardbare schadeafhandeling heldere causaliteit en eenduidige toerekenbaarheid belangrijke variabelen in het beoordelingsproces zijn. Ten behoeve van de uitwerking hiervan *adviseert* het panel de mogelijkheden te verkennen voor het hanteren van een drie-ringen model als nadere uitwerking van het feitelijke twee-ringen model van de SBR (binnenring met PGV's boven V_{max} , buitenring met PGV's onder V_{min} , tussenring met PGV's tussen V_{max} en V_{min}). Ook kunnen daarin resultaten van de nulmeting en de monitoring gedurende de winningsfase gebruikt worden voor een locatiespecifieke toerekenbaarheid van tot schade leidende zwaardere bevingen.

Het panel is zich ervan bewust dat er feitelijk ook sprake zou kunnen zijn van het optreden van vormen van immateriële schade als gevolg van de risico's van geothermie. Hierover bestaat ook maatschappelijke zorg. Tegelijkertijd zijn er in Nederland geen normen 'aan de voorkant' voor het

meewegen van het risico op immateriële schade bij een proces van vergunningverlening. In gevallen waar immateriële schade optreedt wordt 'aan de achterkant' door de rechter beoordeeld in hoeverre compensatie redelijk is. Een bekende vorm hiervan is de regeling voor planschade als gevolg van vergunde activiteiten. Het panel sluit zich bij deze landelijke beleidspraktijk aan en doet daarom verder geen uitspraken over normering van immateriële schade. Zij gaat er wel van uit dat de adviezen over de gegarandeerde schadevergoeding zoals in dit advies zijn beschreven, bijdragen aan het verminderen van deze maatschappelijke zorg.

6.4 Over invulling van de monitoringsverplichting in relatie tot modelvorming

Het panel opteert in dit advies voor een verplichte monitoring van groundbewegingen bij toepassing van geothermie. Dit leidt mogelijk tot vraagstukken voor partijen waar reeds een vergunning aan is verleend en waarin deze voorwaarde niet als zodanig is opgenomen. Deze partijen hebben derhalve bij het opstellen van hun businesscase hier geen rekening mee kunnen houden. Het panel *adviseert* daarom te onderzoeken in hoeverre het mogelijk is dat in die gevallen het KNMI het netwerk van bestaande seismometers (t.b.v. magnitude) en versnellingsmeters (t.b.v. effect aan aardoppervlak PGA/PVG) beschikbaar stelt voor datalevering.

Onafhankelijke seismische monitoring is essentieel bij mijnbouwactiviteiten, zoals geothermie, om een objectief beeld van eventuele seismiciteit te verkrijgen. Bij ondergrondse activiteiten kunnen aardbevingen optreden zowel bij de injectie als extractie van materiaal zoals gassen en vloeistoffen. Monitoring van de seismiciteit geeft inzicht in hoe de mogelijke aardbevingen zich in de tijd en ruimte ontwikkelen en kan sturing geven aan mitigerende maatregelen. De onafhankelijkheid is van belang in de communicatie naar stakeholders in geval van aardbevingen.

Bij het ontwerp van het monitoring netwerk spelen de volgende aspecten een rol: (1) wat is de gewenste resolutie in de locatie (het hypocentrum) van de aardbeving, i.e. welke nauwkeurigheid is vereist en (2) wat is de gewenste detectiedrempel, i.e. vanaf welke magnitude waarde moeten aardbevingen gedetecteerd worden. Hoe zwaarder deze eisen zijn, des te meer seismische stations nodig zijn om de gewenste monitoring te realiseren.

Een typische opstelling van een seismisch station bestaat uit seismometers (geofoons) in een boorgat in de ondergrond en een versnellingsmeter aan het aardoppervlak. Met de seismometers wordt de aardbeving gekarakteriseerd (tijdstip, hypocentrum en magnitude). De metingen worden in boorgaten verricht omdat de ruiscondities in het grootste deel van Nederland aan het aardoppervlak ongunstig zijn om een goede ruisarme meting te kunnen doen. De versnellingsmeters geven de impact van de aardbeving aan het oppervlak (grondversnelling en -snelheid). Die meetwaarden van de impact dragen bij aan inzicht over de schade.

Voor het lokaliseren van een aardbeving of andersoortige trillingen is ook een seismisch snelheidsmodel van de ondergrond nodig. Met een snelheidsmodel kan de reistijd van de seismische golven bepaald worden. Hiermee kan de seismische tijdsregistratie vertaald worden naar een afstand en diepte, waarmee de lokalisatie gerealiseerd wordt. De nauwkeurigheid van dit snelheidsmodel, speelt ook een rol in de nauwkeurigheid van het te bepalen hypocentrum. Als onderdeel van de vergunningverlening kan de operator verzocht worden zo'n snelheidsmodel aan te leveren.

Naast trillingen in de ondergrond worden trillingen in de lucht ook vaak ervaren als aardbevingen. Beide soorten trillingen kunnen leiden tot aardbevingsachtige fenomenen als het schudden van huizen en zware rommelde geluiden alsof er een vrachtwagen door de straat rijdt. Akoestische trillingen in de lucht worden onder andere door ontploffingen en supersone straaljagers veroorzaakt. Om bronnen in de atmosfeer te onderscheiden van bevingen in de vaste aarde, i.e. bronidentificatie,

is het raadzaam op enkele punten bij de mijnbouwactiviteit microbarometers te plaatsen om (infra)geluid te meten.

Het panel *adviseert* dat de overheid zich verantwoordelijk voelt voor een basis seismisch-akoestisch monitoringsnetwerk in Nederland. Het panel weet dat er gesprekken tussen EZK en het KNMI gaande zijn hoe zo'n basisnetwerk er uit zou moeten zien als een drempelwaarde in de magnitude van 1,5 wordt gehanteerd. Het basisnetwerk kan ook gebruikt worden om een beeld te krijgen van mogelijke seismiciteit voorafgaand aan de mijnbouwactiviteit. Deze zogenaamde nulmeting is, zoals al eerder beschreven, van belang om aardbevingen die tijdens de activiteit optreden te kunnen onderscheiden van mogelijke natuurlijke seismische activiteit.

Bij mijnbouwactiviteiten zoals geothermie is een verdichting van dit basisnetwerk nodig om kleinere aardbevingen te kunnen detecteren en lokaliseren. Het meten van aardbeving met een magnitude lager dan 1,5 is van belang omdat, over het algemeen, de seismiciteit met kleine aardbevingen begint, waarna de aardbevingen in aantal en kracht kunnen toenemen. De verantwoordelijkheid voor de aanleg van dit netwerk ligt, zo *adviseert* het panel, bij de operator. De meetgegevens zouden vervolgens, zo *adviseert* het panel, in real-time met het KNMI gedeeld worden om de onafhankelijke monitoring gestalte te geven. Dit is reeds gebruikelijk bij gas- en zoutwinning en waterinjectie.

De monitoring kan ook gebruikt worden om tot werkbare basisaannames voor (Bayesiaanse) statistiek (de zogenaamde priors) te komen zodat op termijn voor nieuwe locaties (wel) een (Bayesiaanse) statische analyse kan worden gedaan. Het panel acht het wenselijk dat gestreefd worden naar het gebruik van een voorspellend statistisch model als instrument bij de vergunningverlening. De drie kernstappen hierbij zijn:

- Bepaal op grond van analyse van de huidig beschikbare data over de seismische gevolgen van geothermie een eerste ruwe inschatting van de parameters (voor een statistisch model). Dit zijn de zogenaamde priors. Hiertoe is het wel van belang dat de gegevens van deze monitoring van alle sites centraal worden verzameld en beschikbaar gesteld. De grote huidige onzekerheden zullen worden weerspiegeld in priors met een grote variantie.
- Verzamel en analyseer seismische data van geothermie over de aankomende jaren. Dit leidt telkens tot een beter statisch model (posterior).
- Wanneer de variantie voldoende klein is geworden, kan besloten worden het statistische model als beleidsinstrument voor vergunningverlening in te zetten.

Het panel *adviseert* deze aanpak verder uit te werken. Zo moet bestuurlijk worden vastgelegd wanneer de variantie klein genoeg wordt geacht.

BIJLAGE 1 SAMENSTELLING ADVIESPANEL

Leden adviespanel:

- Eric Cator, hoogleraar Statistiek aan de Radboud Universiteit
- Láslo Evers, hoogleraar Seismologie en Akoestiek aan de TU Delft / KNMI
- Ira Helsloot (vz), hoogleraar Besturen van veiligheid aan de Radboud Universiteit / Crisislab
- Rien Herber, hoogleraar Geo – Energie aan de Rijksuniversiteit Groningen / lid Mijnraad
- Jan Rots, hoogleraar Constructiemechanica aan de TU Delft
- Raphaël Steenbergen hoogleraar Structural reliability aan de Universiteit Gent / TNO

Secretaris:

- Karin Broekhuizen, L&B CC

BIJLAGE 2 **Overzicht geraadpleegde literatuur**

- Baijense H., N. Oberijé, et al., Een internationale verkenning naar fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie., 2020, Instituut Fysieke Veiligheid
- Buijze L., L. van Bijsterveldt, et al., Review of worldwide geothermal projects: mechanisms and occurrence of induced seismicity, 2019, TNO
- Contrucci I., E. Klein, Knowledge review concerning hazards and risks related to anthropogenic seismicity, 2018, Ineris-DRS-18-171539-05280A
- Draganov D.S., C. Weemstra, et al., Resultaten seismologische metingen in Kwintsheul, 2019, Energy Geotechnics, Delft
- Jonker A., SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017, 2017, SBR CURnet, Delft
- Korswagen P.A., Meulman E., Longo M. and Rots J.G. (2019). Crack initiation and propagation in unreinforced masonry specimens subjected to repeated in-plane loading during light damage. Bulletin of Earthquake Engineering. 17(8), p. 4651-4687.
- Korswagen P.A., Longo M. and Rots J.G. (2020). Experimental and computational study into the lower damage state of DS1 of Dutch masonry structures. Heron, in press.
- Kamerbrief Tweede Kamer der Staten-Generaal, Stimulering duurzame energieproductie, vergaderjaar 2017-2018, 31 230, nr. 282
- Kamerbrief Tweede Kamer der Staten-Generaal, Bestuurlijk balanceren met risico's en verantwoordelijkheden, 9 november 2015, (gepubliceerd in Kamerstukken 2015-2016, 34 300-VII, nr.15)
- Kamerbrief Tweede Kamer der Staten-Generaal ter aanbieding van het Energierapport (gepubliceerd in Kamerstukken 2015-2016 31 510, nr.50)
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Ontwerp Structuurvisie Ondergrond, 2016
- Smink M., J. van den Broek, T. Metze, E. Cuppen & R. van Est m.m.v. E. van de Grift & A. van Waes, Samen kennis aanboren - Verkenning van kennis en opvattingen over ultradiepe geothermie. Den Haag, Rathenau Instituut 2017
- Staalduinen P.C. van, K.C. Terwel, J.G. Rots, Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen. Methodologie en case studies ter duiding van de oorzaken, 2018, Rapport nummer: CM-2018-01, Projectcode: C31H16, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
- Staatstoezicht op de mijnen, Staat van de Sector Geothermie, 2017
- Trutnevyte E., S. Wiemer, Tailor-made risk governance for indices seismicity of geothermal energy projects: An application to Switzerland, 2016, www.elsevier.com/locate/geothermics
- Zegwaard J. A. J., Risico's van eventuele seismiciteit bij geothermie, 2019, TNO