

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.2
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/206
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario's	2
1.4. Subvraag 2: Emissies en afvalstromen	2
1.5. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie	2
1.6. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Hoofdvraag	3
2.2. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario	3
2.3. Subvraag 2: Afvalstromen en emissies	4
2.4. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie	11
3. CONCLUSIES	15
3.1. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario	15
3.2. Subvraag 2: Afvalstromen en emissies	15
3.3. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie	15
4. REFERENTIES	17

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Onderzoeksvraag B.3.2 luidt: Kwantificeer de potentieel verhoogde emissies en afvalstromen op basis van de scenario's of case study uit het Status rapport. Geef aan, of dit leidt tot veiligheidsrisico's en hoe die eventueel zijn te mitigeren.

1.2. Afbakening

Dit deelonderzoek richt zich op emissies, afvalstromen, veiligheidsrisico's en mitigatie bij het commercieel winnen van schaliegas in Nederland op basis van ontwikkelingsscenario's voor Nederlandse omstandigheden.

1.3. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario's

Onderzoeksvraag A.2.1 uit het Status rapport betreft onder meer de ontwikkeling van fysiek en logistiek realistische scenario's voor de uitvoering van opsporing en winning van schaliegas en steenkoolgas in voor Nederland representatieve situaties (case study).

De voor Nederland representatieve ontwikkelingsscenario's zijn aangeleverd door EZ [ref. 1.]; deze dienen gebruikt te worden bij het beantwoorden van onderzoeksvragen waarbij dit een rol speelt. Het betreffen ontwikkelingsscenario's voor schaliegaswinning in Noord-Brabant. Aanvullend is gebruik gemaakt van verschillende ontwikkelingsscenario's voor schaliegas uit een onderzoek in Engeland [ref. 2.].

1.4. Subvraag 2: Emissies en afvalstromen

Beschrijf de omvang van afvalstromen en emissies van stoffen op basis van de ontwikkelingsscenario's in Noord-Brabant.

1.5. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie

Beschrijf de veiligheidsrisico's van afvalstromen en emissies in relatie tot verschillende milieucompartimenten. Beschrijf mogelijke maatregelen om deze risico's te beperken of te voorkomen.

1.6. Aanpak

Aan de hand van het ontwikkelingsscenario voor Nederlandse omstandigheden zijn omvang en duur van de emissies en afvalstromen in beeld gebracht. Daarnaast is gebruik gemaakt van scenario's voor de ontwikkeling van schaliegasexploratie in Engeland.

Gegevens met betrekking tot emissies, afvalstromen, risico's en mitigatie zijn met name gebaseerd op praktijkervaring in de Verenigde Staten, het bovengenoemd onderzoek uitgevoerd in Engeland en het onderzoek naar de risico's van hydraulic fracturing voor het milieu in Europa [ref. 3.].

2. ANALYSE

2.1. Hoofdvraag

2.2. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario

Een scenariostudie voor de ontwikkeling van schaliegasexploratie in Nederland is opgesteld door Halliburton [ref. 1.]. Dit betreft commerciële schaliegaswinning in Noord-Brabant. Dit ontwikkelingsscenario (de Case study uit het Statusrapport) vormt de basis voor de effectbeschrijving voor verschillende onderzoeksvragen.

Waar dit ontwikkelingsscenario onvoldoende informatie bevat om de onderhavige onderzoeksvraag te beantwoorden, is gebruik gemaakt van een scenariostudie voor schaliegasexploratie van de Bowland-shale in Engeland. Deze is opgesteld door Caudrilla Resources met daarin opgenomen een onderzoek naar effecten van schaliegaswinning op milieu en klimaat [ref. 2.].

Het ontwikkelingsscenario voor Noord-Brabant [ref. 1.] heeft onder meer de volgende kenmerken:

- schaliegaswinning uit de Posidonia-schalie;
- het betreft een zogenaamd 'droog' gas: een natuurlijk gas, dat voornamelijk methaan bevat;
- ontwikkeling van in totaal 13 winlocaties, elk met meerdere putten (de zogenaamde 'multi-well pads');
- realisatie op elke van deze winlocaties van 8 tot 10 putten, totaal 104 tot 130 putten; voor de effectbeschrijving is uitgegaan van 130 putten;
- elk put bestaat uit een verticale traject (diepte 3.100 m), gevolgd door een horizontale traject (lengte 1500 m) in het schaliegesteente;
- in dit horizontale traject wordt per put 22x gefract gedurende de levensduur van de put; in [ref. 1] is de wijze van fracken (multi-fracken, of in de tijd opeenvolgende fracks) niet aangegeven;
- per frac is 477 m³ (3.000 barrels) water nodig;
- de terugstroom van water (flowback) bedraagt 15 %;
- de hoeveelheid 'produced water' is geschat op 95 m³ (600 barrels) per dag.

In hoofdstuk 3.3 worden de termen 'flowback water' en 'produced water' toegelicht.

Om emissies en afvalstromen in de tijd te kunnen berekenen zijn aanvullende gegevens noodzakelijk ten aanzien van het ontwikkelen van de winlocaties en de levensduur van de winputten. Zoals aangegeven is gebruik gemaakt van ontwikkelingsscenario's voor schaliegasexploratie in Engeland door Caudrilla Resources [ref. 2.]. Dit onderzoek beschrijft 3 ontwikkelingsscenario's voor de Bowland Shale nabij Blackpool. In tabel 2.1 zijn kenmerken van de Bowland-ontwikkelingsscenario's vergeleken met het ontwikkelingsscenario van de Posidonia-schalie in Noord-Brabant.

Tabel 2.1. Ontwikkelingsscenario's Bowland Shale (UK) en Posidonia Schalie (NL)

locatie	Engeland, Black-pool	Engeland, Black-pool	Engeland, Blackpool	Nederland, Noord-Brabant
schalie-formatie	Bowland	Bowland	Bowland	Posidonia
ontwikkelingsscenario	laag	midden	hoog	Base-Case
aantal putten	190	400	810	104-130
aantal winlocaties ('multi-well pads')	20	40	80	13
aantal putten per winlocaties	10	10	10	8 - 10
diepte vertikaal traject van de boring (m)	2000	2000	2000	3100
lengte horizontaal traject van de boring in de schalieformatie (m)	1200	1200	1200	1500
hoeveelheid boorgruis ('drill cuttings') (m3/put)	138	138	138	geen gegevens (dit wordt afgeleid uit [ref. 2])
periode aanleg winlocaties (jaar)	6	9	16	geen gegevens
levensduur per put	7	7	7	geen gegevens
totale duur ontwikkeling en exploitatie (jaar)	25	25	25	geen gegevens
aanvoer van water door middel van	tankwagens	tankwagens	tankwagens	pijpleidingen

Als totale duur voor de ontwikkeling en exploitatie van het schaliegas uit de Bowland Shale is een periode van 25 jaar aangehouden. In het ontwikkelingsscenario van de Bowland Shale (UK) is voor elke winput uitgegaan van een verticale boortraject tot diepte van 2.000 m, gevolgd door een horizontale boortraject (in het schaliegesteente) van 1.200 m.

Voor het ontwikkelingsscenario in Nederland is uit gegaan van minder boringen (namelijk maximaal 130), maar tot een grotere diepte (3.100 m) en met een langer horizontale boortraject (1.500 m). Rekening houdend met de verschillen in het aantal winputten, de lengte en de diepte van de boringen, is het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant globaal vergelijkbaar met het 'Bowland-laag ontwikkelingsscenario', voor wat betreft aanleg- en exploitatieduur.

Voor een realistisch ontwikkelingsscenario in Nederland is dan ook uitgegaan van een aanlegperiode van 6 jaar en een totale exploitatieduur van 25 jaar.

Na de aanleg- en productiefase volgt nog de fase van het sluiten van de winlocaties. Deze periode is buiten beschouwing gelaten voor wat betreft de bepaling van emissies en afvalstromen.

2.3. Subvraag 2: Afvalstromen en emissies

De belangrijkste afvalstroom (wat betreft omvang en mogelijke milieu-implicaties) is de waterige afvalstroom, die ontstaat tijdens het boren van putten, tijdens het fraccen en tijdens de gasproductie. Een ander belangrijke afvalstroom is de afvoer van opgeboord materiaal. Daarnaast worden de emissies behandeld.

Afvalwater

De chemische samenstelling van het afvalwater en de hoeveelheid per tijdseenheid, op basis van het ontwikkelingsscenario voor Nederland, is in kaart gebracht.

Samenstelling afvalwater

Afvalwater bestaat uit 'produced water' en 'flowback water'. Met 'flowback water' wordt water bedoeld dat na het fracking proces terugstroomt naar het oppervlak. Dit gebeurt met name in de eerste dagen tot een maand na het fraccen van een put. Het flowback water heeft veel kenmerken van de gebruikte fracking vloeistof. Het is immers het na het fraccen terugstromend water. Het overige vrijkomende water wordt meestal aangeduid met 'produced water'. Dit betreft voornamelijk formatiewater vrijkomend bij de winning van gas. De definities van 'produced water' en 'flowback water' zijn niet in alle literatuurbronnen gelijk.

De samenstelling van het afvalwater is in onderzoeksnotities B.3.5 en B.3.6 toegelicht. Het afvalwater is ongeschikt om direct te lozen of om door bestaande RWZI's te laten verwerken. Dit vanwege de specifieke samenstelling (zie onderzoeksnotitie B.3.6).

Hoeveelheid afvalwater

De hoeveelheid afvalwater hangt af van de hoeveelheid terugstromend water ('flowback'), de hoeveelheid 'produced water' en het eventuele hergebruik van afvalwater.

Voor de ontwikkeling van de Bowland-Shale [ref. 3.] is een range van 15-80 % flowback water aangehouden (ten opzichte van het water dat tijdens het fraccen wordt geïnjecteerd). De hoeveelheid flowback water is afhankelijk van een groot aantal variabelen, waaronder de geologische gesteldheid van het schaliegesteente. Voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant dient 15 % flowback aangehouden te worden op basis van Halliburton [ref. 1.]. In tabel 2.2. is dit verder uitgewerkt.

Voor de hoeveelheid produced water dient voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant uitgegaan te worden van 95 m³/dag [ref. 1.]. Aangenomen is dat dit gedurende de gehele levensduur van een put wordt geproduceerd. Dit betekent ruim 240.000 m³ produced water per put.

Mogelijk hergebruik van afvalwater als basis voor fracking water is van belang om de hoeveelheid benodigd water en de hoeveelheid afvalwater te kunnen inschatten. De ontwikkelingsscenario's voor Noord-Brabant en voor Engeland geven wel aan dat hergebruik mogelijk (en gewenst is), maar geven geen hoeveelheden aan. De hoeveelheden afvalwater die in aanmerking kunnen komen voor hergebruik, is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden [ref. 2.].

Onderzoek in de Verenigde Staten laat zien dat afvalwater afkomstig van de Pennsylvania Marcellus Shale in 2011 voor meer dan 67 % is hergebruikt (overgenomen in [ref. 3.]). In onderzoek door EPA wordt een gemiddeld percentage van 13 % aangegeven [ref. 4.]. Voor de berekening van de hoeveelheid afvalwater voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant zijn beide percentages gehanteerd. Hergebruik is ondermeer afhankelijk van de gebruikte frac-vloeistof en de kwaliteit van het flowback en produced water en de behandelmogelijkheden van dit water. Momenteel ontbreekt voldoende inzicht wat betreft het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant.

Berekening hoeveelheid afvalwater voor het ontwikkelingsscenario

Op basis van bovenstaande overwegingen en aannames is de hoeveelheid afvalwater berekend voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant.

Tabel 2.2. Afvalwater per jaar voor ontwikkelingsscenario Noord-Brabant

	waarde		eenheid
putten ontwikkelingsscenario's (max)	130		aantal
fracs per put	22		aantal
benodigd water per frac	477		m ³ /frac
waterhoeveelheid voor fraccen per put	10494		m ³ /put
totale hoeveelheid water benodigd voor fraccen (zonder hergebruik van afvalwater)	1,36		miljoen m ³
flowback [ref. 1.]	15		%
flowback per put	1574		m ³ /put
totaal afvalwater flowback na fraccen	204633		m ³
afvalwater overig (produced water per put)	242725		m ³ /put
totaal overig afwater	31,55		miljoen m ³
totaal afvalwater (overig+flowback)	31,80		miljoen m ³
periode ontwikkelingsscenario	25		jaar
totaal afvalwater per jaar (zonder hergebruik; het betreft een gemiddeld; de daadwerkelijke hoeveelheid afvalwater in een bepaald jaar is mede afhankelijk van de gebruikte frac-methode)	1,27		miljoen m ³ /jaar
hergebruik	13	67	%
totaal afvalwater per jaar (met hergebruik)	1,11	0,42	miljoen m ³ /jaar

Uitgaande van een hergebruik van 13 % is de verwachte afvalwaterstroom voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant circa 1,1 miljoen m³/jaar (gemiddeld) gedurende de periode van aanleg en exploitatie. Bij een hergebruik van 67 % heeft de afvalstroom een gemiddelde omvang van 0,42 miljoen m³/jaar.

In onderzoeksnotitie B.1.1.1 tot en met B.1.1.4 is verder ingegaan op de hoeveelheid benodigd water (in relatie tot andere gebruikers) en de mogelijkheden van behandeling van het afvalwater.

Opgeboord materiaal

Bij het boren van putten komt materiaal vrij (het zogenaamde boorgruis of 'drill cuttings'). Dit geldt zowel voor putten voor conventionele winning van gas, olie of aardwarmte als voor putten voor schaliegaswinning. Wel wordt opgemerkt dat de totale boorlengte bij schaliegasputten groter is, vanwege het horizontale boortraject in het schaliegesteente.

Het boorgruis dient te worden afgevoerd. Boorgruis uit diepere lagen kan licht radioactief zijn. Doordat het gesteente in contact komt met de boorvloeistof inclusief zuurstof kunnen chemische reacties ontstaan. Een voorbeeld is de afbraak van pyriet, waardoor zware metalen en sulfaat vrijkomt. Afvoer en opslag van boorgruis dient gecontroleerd te gebeuren. Bij contact van boorgruis met water kan er vervuild water vrijkomen (vergelijkbaar met Acid Rock Drainage).

De ontwikkelingsscenario's voor de Bowland Shale in Engeland [ref. 3.] gaan uit van een 'drill cuttings'-volume van 138 m³/put, waarbij de put een diepte heeft van 2000 m en een (horizontale) lengte van 1.200 m. Bij het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant wordt uitgegaan van een diepte van 3.100 m en een lengte van 1.500 m, wat een totale boorlengte van 4.600 m per put oplevert. Dit betekent een verwacht volume boorgruis van bijna 200 m³/put. Uitgaand van de aanleg van 13 winlocaties voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant wordt een totaal volume boorgruis van circa 26.000 m³ berekend, dat (gecontroleerd) dient te worden afgevoerd.

Emissies

Er kunnen verschillende typen emissies optreden in de verschillende milieu-compartmenten.

Bodem en grondwater

Ondergronds kunnen de volgende emissies worden onderscheiden:

1. emissies van gas (methaan) naar bodem en grondwater, vanuit fracs of boring;
2. emissies van verontreinigingen naar bodem en grondwater, vanuit fracs, boring of vanuit opslag van materiaal en afvalwater bovengronds;
3. emissie van warmte naar bodem en grondwater.

Ad 1. Emissie van methaan

Mogelijke migratie en emissie van methaan in bodem en grondwater wordt behandeld in onderzoeksnotitie B.3.1.

Ad 2. Emissie van verontreinigingen

Mogelijke emissie van verontreinigingen vanuit fracs of vanuit de put zijn behandeld in andere onderzoeksvragen (B.2.3 en B.2.7).

Ad 3. Emissie van warmte (thermische emissie)

In onderzoeksnotitie B.2.5 is aangegeven dat er temperatuureffecten nabij de boorputten kunnen optreden. Door de verbuizingen van de boring worden vloeistoffen en gassen van grote diepte naar het maaiveld gebracht. De temperatuur op een diepte van 2 km ligt in NL tussen 60 en 100 °C. Op een diepte van 5 km is dit tussen 130 en 230 °C. De vloeistoffen (en gassen) die van deze dieptes komen, hebben ook deze temperaturen. Dit betekent dat de buizen in het boorgat ook opwarmen. Deze warmte wordt overgedragen aan het omringend grondwater, afhankelijk van onder meer de thermische eigenschappen van de verbuizingen en het watervoerend pakket en de temperatuurverschillen. In het uitgevoerde literatuuronderzoek zijn geen temperatuurmetingen aangetroffen van het grondwater in de nabijheid van diepe putten. Dit effect kan modelmatig eenvoudig worden onderzocht, maar valt buiten het kader van het huidig (literatuur)onderzoek. Dit temperatuureffect op grondwater in de nabijheid van een diepe put is niet typisch voor de winning van schaliegas. Ook bij andere (diepe) putten, bijvoorbeeld voor olie- of gaswinning, of ten behoeve van winning van aardwarmte kan dit optreden.

Door het lokaal opwarmen van grondwater in de nabijheid van boringen kunnen de volgende effecten optreden [ref. 4.]:

- afname viscositeit en dichtheid van het water, wat betekent dat grondwater makkelijker gaat stromen en er grondwater uit diepere bodemlagen langs de boorputten omhoog kan stromen. Dit grondwater kan zout zijn en verontreinigingen of gas bevatten;
- optreden van geochemische reacties. Door verandering van temperatuur verandert de oplosbaarheid van verschillende stoffen in het grondwater. Dit kan resulteren in oplossen van stoffen of het neerslaan van stoffen die door grondwaterstroming vanuit diepere bodemlagen zijn toegestroomd.

In het uitgevoerde literatuuronderzoek zijn geen verwijzingen gevonden naar uitgevoerd onderzoek over mogelijke gevolgen van thermische emissie op het omringend grondwater (bijvoorbeeld temperatuurmetingen, onderzoek naar grondwaterstroming of naar grondwaterkwaliteit).

In hoofdstuk 2.4 wordt ingegaan op mogelijke risico's van het optreden van thermische emissie naar het grondwater.

Oppervlaktewater

Verontreiniging van oppervlaktewater kan optreden door lozing (emissie) van afvalwater. Bij reguliere bedrijfsvoering vindt echter geen lozing van onbehandeld afvalwater plaats.

Bij schaliegaswinning in de VS zijn er risico's op het optreden van verontreinigingen van oppervlaktewater doordat het afvalwater wordt opgevangen in 'ponds', een speciaal aangelegde 'vijver', vaak met onderafdichting. Opslag van afvalwater in open 'vijvers' bij schaliegaswinning zal voor de Nederlandse situatie (waarschijnlijk) niet worden toegestaan. Afvalwater zal opgeslagen moeten worden in tanks. Hiermee worden de risico's van opslag van afvalwater voor de bodem, grondwater en oppervlaktewater beperkt.

Lucht

Voor wat betreft de lucht zijn drie mogelijke emissies te onderscheiden [ref. 2.]:

1. diffuse emissie van natuurlijk gas;
2. gecontroleerde emissie van natuurlijk gas;
3. emissie door verbranding van fossiele brandstof.

Emissies van gasen en andere stoffen naar de lucht kunnen leiden tot afname van de luchtkwaliteit.

Ad 1. Diffuse emissie van natuurlijk gas

Diffuse emissie van natuurlijk gas kan optreden tijdens aanleg en productie door het meestromen van gas met flowback/produced water naar de oppervlak. Voor het ontwikkelingscenario Noord-Brabant betreft het met name 'dry gas'. Dit betekent dat het vrijkomend gas voornamelijk uit methaan zal bestaan. Onderzoeksnotitie A.2.4 gaat meer in detail op mogelijke diffuse emissie van natuurlijk gas.

Ad 2. Gecontroleerde emissie

Gecontroleerde emissie van stoffen naar de lucht kan plaatsvinden door affakkelen van overtollig gas ('flaring'), of gecontroleerd lozen van overtollig gas in de atmosfeer ('cold venting').

De te verwachten emissie van verschillende gasen per put is niet bekend. Bovendien is dit afhankelijk van de lokale omstandigheden, het productieproces en de wijze waarop met overtollig gas wordt omgegaan. Affakkelen kan leiden tot emissies van CO, NO_x, SO₂, Vluchtige Organische Stoffen (VOS's) en fijnstof [ref. 3.]. Lozen ('cold venting') leidt tot emissie van methaan direct in de atmosfeer [ref. 2.].

Er zijn onvoldoende gegevens om de grootte van gecontroleerde emissies voor het Ontwikkelingscenario Noord-Brabant vast te stellen.

Ad 3. Emissie door verbranding fossiele brandstof

Emissies door verbranding van fossiele brandstof ontstaan door transport van materiaal, water, chemicaliën en afvalwater (vrachtverkeer) en door aandrijving van motoren voor boren, pompen, compressoren, etc. op de winlocatie.

Vrachtverkeer

Voor de ontwikkeling van de Bowland Shale is een inschatting gemaakt van het te verwachten vrachtverkeer ('truck visits'). Dit betreft transport van materiaal voor wegaanleg, boortorens, boorvloeistof, pijpen, etc. en het vervoer van frac-water, zand en de afvoer van flowback water. In onderstaande tabel is dit aangegeven voor een winlocatie met 6 putten ('six well pad'), voor een 15 % flowback ('low'-scenario) en voor 80 % flowback ('high scenario'). Bijna 90 % van het transport is voor de aanvoer van frac-water en de afvoer van af-

valwater. Er wordt bij dit scenario niet uitgegaan van pijpleidingen voor aan- en afvoer van water.

Tabel 2.3. Kentallen vrachtverkeer gedurende de levensduur van een winlocatie voor een pad met 6 putten

Table 2.6: Truck visits over lifetime of six well pad				
Purpose	Per well		Per pad	
	Low	High	Low	High
Drill pad and road construction equipment			10	45
Drilling rig			30	30
Drilling fluid and materials	25	50	150	300
Drilling equipment (casing, drill pipe, etc.)	25	50	150	300
Completion rig			15	15
Completion fluid and materials	10	20	60	120
Completion equipment (pipe, wellhead)	5	5	30	30
Hydraulic fracture equipment (pump trucks, tanks)			150	200
Hydraulic fracture water	400	600	2,400	3,600
Hydraulic fracture sand	20	25	120	150
Flow back water removal	200	300	1,200	1,800
Total			4,315	6,590
<i>...of which associated with fracturing process:</i>			3,870	5,750
			90%	87%

Het totaal aantal 'truck visits' per put is $4315/6=719$ voor het Low-scenario in tabel 2.4. Deze komt, wat verwachte flowback hoeveelheid betreft, overeen met het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant. Wel moet worden opgemerkt dat het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant uitgaat van wateraanvoer per pijpleiding ten behoeve van hydraulische fraccen. Dit betekent 319 'truck visits' per put over de levensduur van een put. Uitgaande van 130 putten (Ontwikkelingsscenario Noord-Brabant) betekent dit 41.470 vrachtwagen-bezoeken over de levensduur van het gehele wingebied (totaal 25 jaar). Dit betekent circa 5 'truck visits' per winlocatie per dag gemiddeld over de gehele winperiode.

Activiteiten op de winlocatie

Op de winlocatie vinden verschillende activiteiten plaats zoals aanleg, boren, fraccen, verwerken van afvalwater, waarbij machines worden gebruikt met een bepaalde uitstoot.

In onderstaande tabel is aangegeven wat de extra CO₂-emissies zijn ten opzichte van die bij conventionele winning van aardgas [ref. 2.]. De extra CO₂-emissie is met name het gevolg van horizontaal boren, fraccen, transport van water en waterbehandeling.

Tabel 2.4. Extra emissie door verbranding fossiele brandstof per put bij schaliegas-exploitatie [ref. 2.]

Table 3.2: Key additional fossil fuel combustion emissions associated with shale gas extraction			
Process	Emissions (tCO₂)	Assumptions	Data Source
Horizontal drilling	15 – 75	Horizontal drilling of 300-1500m; 18.6 litres diesel used per metre drilled	Fuel consumption from: ALL Consulting (2008) Emission factor from DUKES (2010)
Hydraulic fracturing	295	Based on average fuel usage for hydraulic fracturing on eight horizontally drilled wells in the Marcellus Shale The total fuel use given is 109777 litres of diesel fuel	Cited from ALL Consulting "Horizontally Drilled /High-Volume Hydraulically Fractured Wells Air Emissions Data", August 2009, Table 11 p 10 by New York State (2009). Emission factor from DUKES (2010)
Hydraulic fracturing chemical production ^a	-	Unknown	
Transportation of water	26.2 – 40.8	Based on HGV emission factor of 983.11 g CO ₂ /km and 60km round trip	Emission factor from NAEI (2010). Truck numbers from Table 2.5.
Wastewater transportation	11.8 – 17.9	Based on HGV emission factor of 983.11 g CO ₂ /km and 60km round trip	Emission factor from NAEI (2010). Truck numbers from Table 2.5.
Wastewater treatment	0.33 – 9.4	Based on 15-80% recovery of 9-29 million litres of water that is required per fracturing process and emission factor 0.406t CO ₂ /ML treated	Emission factor from Water UK - Towards sustainability (2006). Water use and flow back rates from Section 2.2.3.
Total per well	348-438	Based on single fracturing process	

a: a further potential source of additional emissions may be the production of chemical used in the fracturing process. However, the level of these emissions is difficult to ascertain as: conventional wells may also include various chemicals in drilling mud and any fracturing activities so claiming shale creates additional emissions via this route is problematic; and LCA data for these chemicals is highly specialised and is not typically publicly available data.

Voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant is de lengte van de horizontale deel van de boring 1.500 m. De flowback ('recovery') is vastgesteld op 15 %. De extra CO₂e-uitstoot (ten opzichte van conventionele gaswinning) kan dan op circa 400 tCO₂ worden geschat per put.

Voor een totaal van 130 putten, over een exploitatieperiode van 25 jaar, wordt 2080 tCO₂e extra uitstoot per jaar verwacht door verbranding van fossiele brandstof.

De gegevens in tabel 3.5 zijn gebaseerd op een onderzoek naar de mogelijke effecten van schaliegaswinning op het klimaat [ref. 2.]. Dat onderzoek richtte zich daarom met name op de CO₂-emissies. Naast CO₂-emissies als gevolg van verbranding van fossiele brandstof kunnen, afhankelijk van het type brandstof ook zwavel- en stikstofverbindingen en fijn stof

worden geëmitteerd. Er zijn onvoldoende gegevens om dit te kwantificeren voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant.

2.4. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie

Deze subvraag gaat in op mogelijke veiligheidsrisico's die kunnen optreden als gevolg van afvalstromen en emissies. Daarnaast zijn maatregelen beschreven waarmee risico's kunnen worden beperkt of voorkomen.

Veiligheidsrisico's

Afvalwater

Afvalwater van schaliegaswinning kan stoffen bevatten die toxisch, carcinogeen, mutageen of licht radioactief zijn [ref. 3.] (zie ook onderzoeksnotitie B.3.5 en B.3.6). Het onjuist of onzorgvuldig behandelen van afvalwater kan leiden tot [ref. 2, 3.]:

- grondwaterverontreiniging;
- oppervlaktewaterverontreinigingen;
- bodemverontreiniging.

Bij schaliegaswinning in de VS wordt voor de opvang van flowback water gebruik gemaakt van 'ponds': een speciaal aangelegde 'vijver', vaak met onderafdichting, waarin dit water tijdelijk kan worden opgeslagen. Dit is voor de Nederlandse situatie (waarschijnlijk) niet toegestaan. Het flowback water zal opgeslagen moeten worden in tanks. Hiermee worden de risico's van opslag van afvalwater voor de bodem, grondwater en oppervlaktewater beperkt.

Daarnaast kunnen er risico's optreden bij transport van afvalwater op de winlocatie en op de weg.

Opgeboord materiaal

Opgeboord materiaal kan licht radioactief zijn, en er kan vervuild water vrijkomen bij contact met lucht en water. Het materiaal dient gecontroleerd te worden opgeborgen en vervoerd.

Emissies naar lucht

Emissies van stoffen naar de lucht als gevolg van schaliegaswinning kan leiden tot luchtverontreiniging. Dit kan gevolgen hebben voor ondermeer:

- de gezondheid van mens en dier;
- het klimaat.

Onderzoeksnotitie A.2.4 gaat in op de klimaatvoetafdruk van schaliegaswinning.

Thermische emissie

Door het lokaal opwarmen van grondwater in de nabijheid van boringen kan er grondwaterstroming ontstaan vanuit de diepere ondergrond. Hierdoor kunnen zouten, verontreinigingen of gas naar ondieper grondwater stromen. Door verandering van temperatuur veranderen geochemische evenwichten, waardoor stoffen kunnen oplossen of neerslaan in het ondiepere grondwater.

Mitigatie risico's afvalstromen en emissies

Verschillende maatregelen zijn mogelijk om risico's op het optreden van verontreiniging van het omringende grondwater, oppervlaktewater, bodem en lucht door afvalstromen of emissies te verminderen of te voorkomen.

In tabel 2.5 is een groot aantal mogelijke maatregelen met betrekking tot mitigatie van risico's van afvalstromen en emissies opgenomen. De aangegeven maatregelen (op basis van [ref. 4.]) zijn deels al onderdeel van de huidige EU-regelgeving, zijn deels opgenomen in de huidige vergunningverlening met betrekking tot schaliegaswinning, of zijn aanbevelingen van expert panels met name in de VS en in Engeland. Dit op basis van de huidige praktijk ten aanzien van schaliegaswinning in de VS.

Voor wet- en regelgeving ten aanzien van de situatie in Nederland en Europa wordt verwezen naar de desbetreffende onderzoeksvragen.

Tabel 2.5 Mogelijke maatregelen mitigatie risico's afvalstromen en emissies

aspect	maatregel
Ruimtelijke zonering	Stel zones vast waar fracking niet wordt toegestaan, bijvoorbeeld: - grondwater beschermingsgebieden; - gebieden waar aquifers aanwezig zijn met een goede grondwaterkwaliteit; - natuurgebieden (bv. EHS, VHR, Natura2000).
Buffer zones	Stel bufferzones met restricties in rondom winlocaties: - zone rondom onttrekkingsputten voor drink- of industriewater (voorstel in de VS: 300 m); - zone rondom oppervlaktewater (voorstel in de VS: 90 m); - minimale afstand tot waterwingebieden (voorstel in de VS: 1200m); - speciale beschermingsmaatregelen voor winlocaties nabij oppervlaktewater (regelgeving VS: 800 m). Bij gebruik van pijpleidingen voor afvoer van afvalwater: stel een bufferzone in (niet in de nabijheid van aquifers met een goede waterkwaliteit (voorstellen in de VS: minimaal 15 tot 70 m dieper dan deze aquifers
Vastleggen huidige situatie	Stel een voor het publiek toegankelijke nationale database op met daarin: - onderzoeksrapporten schaliegas; - huidige stand van zaken ten aanzien van waterkwaliteit, -kwantiteit en geologische informatie van schaliegesteente voorafgaand aan het fraccen (de zogenaamde 'baseline' of T0- studie).
Monitoren effecten schaliegaswinning	Stel een voor het publiek toegankelijke nationale database op met daarin: - monitoringsgegevens tijdens alle fasen van schaliegaswinning (aanleg van winlocaties, exploitatie van schaliegas, sluiten winning, periode na sluiting); dit betreft zowel grond- als oppervlaktewater, luchtkwaliteit (in de context van de huidige onderzoeksvraag); - gebruik deze gegevens bij de ontwikkeling van nieuwe locaties, ten behoeve van optimalisatie effectiviteit winning en minimalisatie effecten op de omgeving.
Gebruik (tijdelijke) pijpleidingen voor transport van afvalwater	Beperk risico van verontreiniging van grondwater, door geen (tijdelijke) pijpleiding voor het vervoer van afvalwater in aquifers met een goede waterkwaliteit toe te staan. Gebruik de best mogelijke techniek bij aanleg op basis van de kennis die is opgedaan bij aanleg van leidingen in de VS ('established best practice' US shale gas industry)
Watermanagement benodigd water	- Ontwikkel en gebruik een integraal water management systeem; - Gebruik alternatieve waterbronnen; - Vermijd gebieden waar (grond)water wordt gewonnen.
Watermanagement afvalwater	- Beperk afvalwaterstroom door maximalisatie van het hergebruik van flowback water; - Opslag van afvalwater in tanks (niet in open water bekken); - Monitoren kwaliteit afvalwater; - Stem de zuiveringsinstallatie af op de specifieke kwaliteit van het afvalwater; - Pas on-site afvalwaterbehandeling toe indien mogelijk.

aspect	maatregel
Emissies gaswinning	- Verbied directe lozing (venting) van methaan; - Minimaliseren affakkelen (flaring); - Monitoren luchtkwaliteit; - Verbied open opslagtanks; - Minimaliseer VOS-emissie.
Emissies door lekkages	- Gebruik materieel met minimale lekkans; - Beperk het aantal opslagtanks; - Gebruik automatische systemen om lek in tanks of pijpleidingen vast te stellen.
Emissie door vrachtverkeer	Verschillende maatregelen kunnen bijdragen aan de reductie van emissie door vrachtverkeer: - inzet van uitsluitend voertuigen die voldoen aan de strengste emissie-eisen; - uitvoeren van effectief onderhoud aan deze voertuigen; - beperken wachttijden vrachtverkeer; - zorg voor onderhoud en zo nodig reparatie van wegen waar dit vrachtverkeer plaatsvindt, of stel fondsen beschikbaar om dit uit te laten voeren; - wateraanvoer via pijpleidingen in plaats van aanvoer met tankwagens; - afvoer afvalwater via pijpleidingen in plaats van afvoer met tankwagens; - maak een centraal punt ('hub') van waaruit watertransport naar de winlocaties via tijdelijke pijpleidingen gebeurt; vrachtvervoer vindt dan alleen plaats naar dit centrale punt; - winning van schaliegas op een bepaalde winlocatie trager laten verlopen, waardoor de emissies per tijdseenheid afnemen; - overlast door emissies (bijvoorbeeld nabij bebouwing) kan worden beperkt door opstellen van een (met overheden en bewoners overeengekomen) vervoersplan met daarin route en timing van het transport; - overlast door emissies (bijvoorbeeld nabij bebouwing) kan worden beperkt door aanleg van toegangswegen naar winlocaties op voldoende afstand van bebouwing; - houdt bij de selectie van winlocaties rekening met het benodigd vrachtverkeer (een winlocatie op een locatie die goed bereikbaar is vanaf een snelweg, zonder passages van bebouwing heeft de voorkeur boven andere locaties). Veiligheidsaspecten in relatie tot het toegenomen vrachtverkeer (verkeersongelukken, transport gevaarlijk stoffen) zijn in het kader van onderzoeksvraag B3.2. naar emissies en afvalstromen buiten beschouwing gelaten. Veel hier genoemde maatregelen ter beperking van emissie zijn ook van toepassing op het verhogen van veiligheid (beperken vrachtverkeer, opstellen vervoersplan, minimalisatie van verkeer nabij bebouwing, etc.). Vervoer van afvalwater met behulp van tankwagens is uiteraard gebonden aan bestaande wet- en regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. De Wet Vervoer Gevaarlijke Stoffen heeft als doelstelling het bevorderen van de openbare veiligheid bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit betekent het voorkomen van schade, of hinder voor mens, dier en het milieu als gevolg van dit vervoer centraal staat in deze wet. Voor details ten aanzien van wet- en regelgeving wordt verwezen naar de betreffende onderzoeksvragen.
Emissies machines op winlocaties	Beperk emissie van verbranding van fossiele brandstof op de winlocatie door: - uitsluitend gebruik van machines die voldoen aan de strengste emissienormen; - gebruik van natuurlijk gas als energiebron; - gebruik van elektriciteit als energiebron.
Minimalisatie risico's bij werken met en opslag	Opslag en verwerking van (gevaarlijke) vloeistoffen is gebonden aan wet- en regelgeving.

aspect	maatregel
van vloeistoffen op winlocaties	De volgende maatregelen kunnen risico's beperken: - het niet toestaan van opslag van afvalwater in oppervlaktewater bekkens (zoals in de VS gebruikelijk is); - geen opslag van afvalwater toestaan in gebieden waar inundaties kunnen plaatsvinden (uiterwaarden, risicogebieden); - toepassen maatregelen om bij lekkage van opslagfaciliteit of bij het werken met vloeistoffen wegstroom naar de ondergrond of afstroom naar de omgeving te beperken of te voorkomen (bijvoorbeeld vloeistofdichte vloeren, zoals bij tankstations voorkomen); - opstellen rampenplan en training omgaan lekkage gevaarlijke stoffen; - installatie specifieke meetapparatuur om eventuele lekkages snel op te merken (online, real-time monitoring, met automatische melding van overschrijding toegestane waarden); - inspectie installaties voor aanvang fraccen.
Samenstelling boorvloeistof	- Minimaliseer mogelijke milieu-effecten van boor-afval door hierop te letten bij het samenstellen van boorvloeistof. - Hergebruik boorvloeistof.
Samenstelling fracking-vloeistof, gebruik toevoegingen ('additieven')	Risico's kunnen worden verminderd door: - verminderen gebruik additieven in frac-vloeistof; - overschakelen op alternatieve additieven, met minder potentiële milieu-implicaties - verbod op het gebruik van bepaalde chemicaliën; - minimaliseer gebruik biociden in fracking vloeistof, bijvoorbeeld door UV-desinfectie - gebruik 'proppants' , die verwerking van afvalwater minimaliseren.

3. CONCLUSIES

3.1. Subvraag 1: Ontwikkelingsscenario

Een scenario is opgesteld voor de ontwikkeling van schaliegas in Noord-Brabant, met onder meer de volgende kenmerken:

- 13 winlocaties;
- per winlocatie 8 tot 10 putten;
- het toepassen van 22 fracs per put gedurende de levensduur van de put;
- fraccen wordt uitgevoerd op een diepte van circa 3 km;
- ontwikkeling van winlocaties en exploitatie van schaliegas heeft een duur van 25 jaar.

3.2. Subvraag 2: Afvalstromen en emissies

Afvalstromen komen vrij, onder meer door boren en fraccen. Vrijkomend afvalwater kan niet worden behandeld door bestaande RWZI's, vanwege de specifieke samenstelling. De grootte van de afvalstroom hangt af van vele factoren, waarbij met name de verwachte flowback, de hoeveelheid produced water en mogelijk hergebruik van flowback water een rol spelen.

Op basis van het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant, aangevuld met enkele aannames, is een inschatting gemaakt van de te verwachten hoeveelheid afvalwater per jaar. Dit is gemiddeld circa 0,42 tot 1,1 miljoen m³/jaar in totaal voor alle winlocaties gedurende de exploitatie van het schaliegas (25 jaar). Onderzoeksnotitie B.1.1.4 gaat in op behandelmogelijkheden van dit afvalwater.

Het af te voeren boorgruis ('drill cuttings') is geschat op 26.000 m³ voor het ontwikkelings-scenario Noord-Brabant. Dit materiaal is mogelijk licht radioactief en dient gecontroleerd te worden opgeslagen en afgevoerd.

Directe emissies van methaan, of emissies door affakkelen van gas kunnen van invloed zijn op de luchtkwaliteit. Daarnaast treden emissies op door verbranding van fossiele brandstof door het gebruik van machines op de winlocaties en door het benodigd vrachtverkeer voor aan- en afvoer van water, materieel, chemicaliën, etc.

Voor een nauwkeurige inschatting van de verwachte emissie op basis van het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant ontbreken de benodigde gegevens.

3.3. Subvraag 3: Veiligheidsrisico's en mitigatie

Afvalwater van schaliegaswinning kan stoffen bevatten die toxisch, carcinogeen, mutageen of licht radioactief zijn. Het onjuist of onzorgvuldig behandelen van afvalwater kan leiden tot:

- grondwaterverontreiniging;
- oppervlaktewaterverontreinigingen;
- bodemverontreiniging.

In Nederland en de EU worden risico's van opslag van afvalwater tot een minimum beperkt, doordat dit water moet worden opgeslagen in tanks.

Directe emissies van methaan, emissies door affakkelen van gas of emissies door verbranding van fossiele brandstof kunnen van invloed zijn op de luchtkwaliteit. Dit kan gevol-

gen hebben voor gezondheid of klimaat. Emissies dienen dan ook zoveel mogelijk beperkt te worden, met name emissies zonder rendement (affakkelen, lozen).

Thermische emissie rondom putten kan leiden tot toestroom of ontstaan van ongewenste opgeloste stoffen in het ondiepere grondwater. Dit effect is niet specifiek voor schaliegaswinning, en kan ook optreden bij conventionele winning van gas, olie of aardwarmte.

Belangrijke maatregelen om mogelijke veiligheidsrisico's te minimaliseren en te mitigeren zijn het verbeteren van fracking vloeistof, het maximaliseren van hergebruik van water, het gecontroleerd opslaan van afvalwater, het beperken van emissies naar de lucht, het instellen van ruimtelijke zonering in relatie tot andere gebruikers van de ondergrond (waar is schaliegaswinning toegestaan en waar niet) en het gebruik van de best beschikbare technieken bij exploitatie van schaliegas. Dit op basis van de huidige kennis van risico's van schaliegaswinning, met name in de Verenigde Staten.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Halliburton, 'EBN Notional Field Development, final report', Nov. 2011.
- [ref. 2.] Broderick. J., et al: 2011, 'Shale Gas: an updated assessment of environmental and climate changes impacts'. A report commissioned by the Co-operative and undertaken by researchers at the Tyndal Centre, University of Manchester.
- [ref. 3.] AEA, CSI, CE Delft, ERG, Witteveen+Bos, 'Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe', report door European Commission DG Environment, 2012.
- [ref. 4.] US Environmental Protection Agency, 'Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. PROGRESS REPORT' 2012. EPA/601/R-12/011 www.epa.gov/hfstudy/pdfs/hf-report20121214.pdf.

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.3
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/207
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.3.3	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Afbakening	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Samenstelling boorspoeling	3
2.2. Deelvraag 2: Verschillen	5
2.3. Deelvraag 3: Verwerking boorspoeling en residu	6
2.4. Deelvraag 4: Samenstelling boorgruis	6
2.5. Deelvraag 5: Verwerking boorgruis	7
2.6. Deelvraag 6: Milieueffecten	7
3. CONCLUSIES	8
3.1. Deelvraag 1: Samenstelling boorspoeling	8
3.2. Deelvraag 2: Verschillen	8
3.3. Deelvraag 3: Verwerking boorspoeling en residu	8
3.4. Deelvraag 4: Samenstelling boorgruis	8
3.5. Deelvraag 5: Verwerking boorgruis	9
3.6. Deelvraag 6: Milieueffecten	9
4. REFERENTIES	10

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.3.3

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

Wat is de samenstelling van de boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen? Geef aan in hoeverre deze afwijkt van de boorspoeling voor putten voor de conventionele gaswinning, geothermie en voor drinkwater. Geef aan wat gebeurt met de gebruikte boorspoeling (recyclen, reinigen etc.), en wat er gebeurt met het residu wat overblijft na recycling of reiniging. Wat is de mogelijke samenstelling van boorgruis uit schalielagen (onder andere zware metalen, radio-nucliden)? Hoe gaat men om met dit afval? Wat zijn de mogelijke milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

1.2. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen:

Deelvraag 1: Samenstelling boorspoeling

Wat is de samenstelling van de boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen?

Deelvraag 2: Verschillen

In hoeverre wijkt deze af van de boorspoeling voor putten voor de conventionele gaswinning, geothermie en voor drinkwater?

Deelvraag 3: Verwerking boorspoeling en residu

Wat gebeurt er met de gebruikte boorspoeling (recyclen, reinigen etc.) en wat er gebeurt met het residu wat overblijft na recycling of reiniging?

Deelvraag 4: Samenstelling boorgruis

Wat is de mogelijke samenstelling van boorgruis uit schalielagen (onder andere zware metalen, radio-nucliden)?

Deelvraag 5: Verwerking boorgruis

Hoe gaat men om met dit afval?

Deelvraag 6: Milieueffecten

Wat zijn de mogelijke milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

1.3. Afbakening

Alle vragen die onderdeel maken van bovenstaande vraagstelling worden in dit document beantwoord.

1.4. Aanpak

Deze vraag is beantwoord op basis een studie van beschikbare wetenschappelijke publicaties over boormethoden, aangevuld met 'expert judgement'.

Daar waar van expert judgement sprake is, zal dit expliciet worden aangegeven.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Samenstelling boorspoeling

Wat is de samenstelling van de boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen?

Aan de eigenschappen van de boorvloeistof voor het doorboren van schalies worden de volgende eisen gesteld: [ref. 1, 2.]:

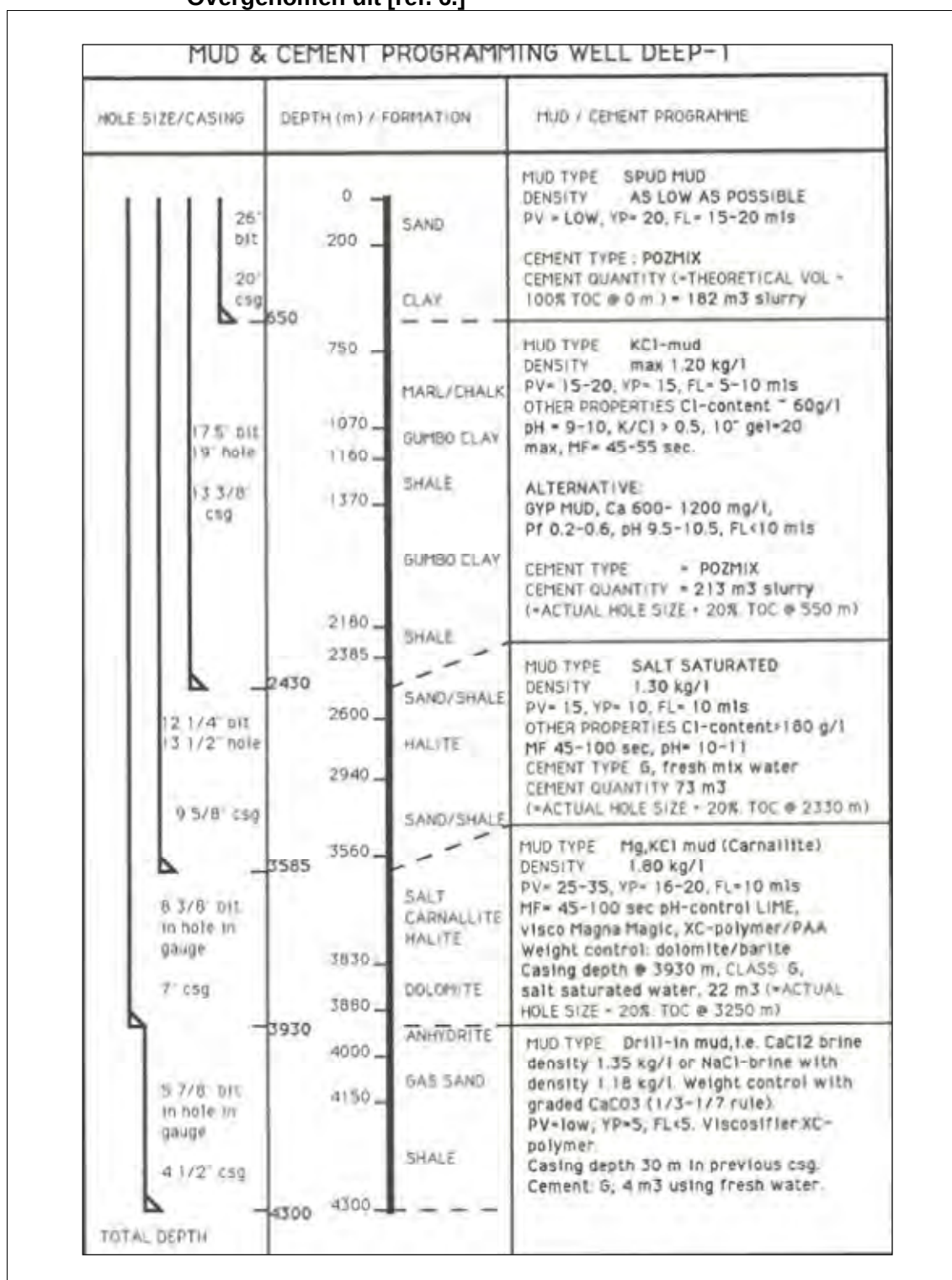
- minimale chemische interactie tussen het gesteente en de boorvloeistof (inhibiterende eigenschappen en beperkt filtraatverlies naar het gesteente);
- voldoende eigenschappen om verstopping van het boorgat tegen te gaan wanneer de vloeistof het boorgruis naar de oppervlakte transporteert om daar te worden verwerkt;
- voldoende smering tussen beitel, boorgat en boorvloeistof;
- voldoende soortelijk gewicht om eventuele drukregimes (hoger dan hydrostatisch) onder controle te houden.

In de keuze van de chemicaliën is men gebonden aan de milieuvoorschriften die bepalen welke chemicaliën gebruikt kunnen worden. In zijn algemeenheid kan worden gezegd dat de samenstelling van de boorvloeistof afhankelijk is van de diepte van de boring [ref. 3, 4.]. Dit heeft te maken met de volgende factoren die bij de boring van belang zijn:

1. de lithologie van het gesteente. Om te kunnen bepalen hoe de samenstelling van de boorvloeistof moet worden afgestemd op de diepte van de boring, is een beschrijving van de lithologie ter diepte van de boring nodig;
2. de druk en het soort gesteente die men verwacht tegen te komen. Het is gebruikelijk om het soortelijk gewicht van de boorvloeistof geleidelijk te laten toenemen naar gelang de diepte toeneemt, maar dit is geen wet van Meden en Perzen;
3. het schoonhouden van het boorgat tijdens de boring zelf: het vermaalde gesteente zal tijdens het boorproces continu moeten worden afgevoerd. Dit wordt mogelijk gemaakt door de rheologische eigenschappen (stroperigheid) van de boorvloeistof continu te reguleren. Dit in combinatie met de circulatiesnelheid van de boorvloeistof (suspenderende draagkracht van de vloeistof) [ref. 5.];
4. voldoende smerende eigenschappen tussen gesteente, boorbeitel en boorvloeistof;
5. de temperatuur in het boorgat. Over het algemeen zijn de meeste chemicaliën bestand tegen een temperatuur van circa 120 °C. Wordt deze temperatuur hoger, dan heeft dit invloed op de keuze van de chemicaliën die tijdens het boorproces aan de boorvloeistof worden toegevoegd. Over het algemeen zijn deze dan minder biologisch afbreekbaar, omdat deze temperatuurstabiel moeten zijn;
6. het re-conditioneren van de boorvloeistof die naar boven komt en wel zodanig dat:
 - de vloeistofeigenschappen bij hergebruik weer dezelfde zijn;
 - het boorgruis uit de boorvloeistof kan worden verwijderd;
 - indien de boorvloeistof niet kan worden hergebruikt, opwerking van de vloeistof zodanig kan gebeuren dat de belasting van het milieu minimaal is. Hierbij is men vanzelfsprekend gebonden aan vigerende wet- en regelgeving.

Om enig inzicht te krijgen in de lithologie van het ondergrondse gesteente in Nederland, geeft navolgende afbeelding 2.1 een putschema weer van een gasput voor winning van conventioneel aardgas. Hierbij is de samenstelling van de boorvloeistof (op waterbasis) aangegeven die voor de diverse gesteentelagen is gebruikt [ref. 6.].

Afbeelding 2.1. Voorbeeld Boorvloeistof voor een Olie en Gas boring in Nederland.
Overgenomen uit [ref. 6.]



De inzichten over de optimale samenstelling zijn onderhevig aan technische ontwikkelingen voor het gebruik van boorvloeistoffen. In de praktijk is bevestigd dat de optimale samenstelling van de boorvloeistof sterk afhankelijk is van de samenstelling van het gesteente waar men doorheen boort.

Boorvloeistoffen bedoeld om schalies te doorboren, kunnen eenvoudig van samenstelling zijn. Hoofdbestanddelen zijn [ref. 1, 2, 3, 4.]:

- **water**, als de hoofdboorvloeistof op waterbasis is;
- allerlei **zouten** die de chemische interactie tussen het water en het gesteente tegengaan. Tevens kunnen opgeloste zouten zorgen voor een hoger soortelijk gewicht van het water in de boorspoeling, eventueel vereist om drukken hoger dan hydrostatisch te reguleren;
- viscositeit verhogende **kleien** (bentoniet) of polymeren die het verwijderen van het boorgruis tijdens het boorproces mogelijk maken (zie ook de beantwoording van deelvraag A.1.2), waaronder CMC's (Carboxy Methyl Cellulose) en XC. XC-polymeren zijn biologisch afbreekbaar, CMC's zijn minder (langzamer) afbreekbaar. Het gebruik van kleien is afhankelijk van het zoutgehalte van de boorvloeistof en de effectiviteit bij het verwijderen van het boorgruis [ref. 2, 3, 4 en 5.];
- polymeren die verlies aan vloeistof naar het gesteente tegengaan of zelfs elimineren.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van boorspoelingen op oliebasis ('oil based mud', OBM). Deze hebben het grote voordeel dat er hoegenaamd geen interactie mogelijk is tussen de waterfase in de boorvloeistof (ook een olieboorvloeistof bevat aanzienlijke hoeveelheden water, circa 40 %) en het gesteente. Met name in watergevoelige kleien wordt vaak teruggesproken op het gebruik van OBM. Het gebruik ervan heeft wel consequenties voor het verwerken van het oliehoudende boorgruis. Een ander groot voordeel van OBM is de mogelijkheid van hergebruik. Na verwijdering van boorgruis kan de boorspoeling eenvoudig weer op specificatie worden gebracht voor gebruik in de volgende put (expert judgement).

De chemische ingrediënten nodig om de gewenste eigenschappen van de boorspoeling te krijgen en te houden tijdens het boorproces zijn in wezen niet anders dan hierboven genoemd, echter de chemicaliën zijn dan actief in een oliehoudende omgeving. Bijv. het gebruik van kleien is alleen mogelijk indien de kleien zijn voorbehandeld met oliebevochtigende 'surfactants'. Verder bevat de waterfase van de OBM een grote hoeveelheid CaCl_2 (calcium chloride) ter voorkoming van interactie tussen de te boren gesteente en de waterfase (expert judgement).

2.2. Deelvraag 2: Verschillen

In hoeverre wijkt deze af van de boorspoeling voor putten voor de conventionele gaswinning, geothermie en voor drinkwater?

De samenstelling van boorvloeistoffen voor boren in schalie is in wezen niet anders bij conventionele olie- en gas boringen. Ook bij het boren naar schalie, die in Nederland op grote diepte ligt, geldt dat de samenstelling van de boorvloeistof afhankelijk is van de diepte van de boring (expert judgement).

Het grote verschil met de boringen voor de conventionele olie- en/of gaswinning ligt in het aanboren van de reservoirs, die bij conventionele olie- en gasvoorkomens over het algemeen aan de bovenzijde van het reservoir een hogere druk hebben dan de hydrostatische druk (het gewicht van de waterkolom). Bij het naderen van deze reservoirs zal daar rekening mee worden gehouden (expert judgement).

Voor boren naar geothermische bronnen (temperaturen van meer dan 85 °C) worden meer temperatuurstabiele chemicaliën gebruikt.

Echter, het temperatuurverschil is niet van dien aard dat uitzonderlijke maatregelen nodig zijn. Over het algemeen zal de temperatuurstabiliteit van chemicaliën boven 140 °C dras-

tisch afnemen. Boven deze temperatuur zullen uitvoerige laboratoriumtesten gedaan moeten worden om de bruikbaarheid ervan aan te kunnen tonen.

Voor het boren in waterreservoirs (tot max. 100 m.) wordt over het algemeen een mengsel gebruikt van alleen water en bentoniet (klei) (expert judgement).

2.3. Deelvraag 3: Verwerking boorspoeling en residu

Wat gebeurt er met de gebruikte boorspoeling (recyclen, reinigen etc.) en wat er gebeurt met het residu dat overblijft na recycling of reiniging?

Gebruikte boorspoeling zal over het algemeen beter hergebruikt kunnen worden als er voldoende nieuwe putten gepland zijn. Dit is met name mogelijk bij het boren van productieputten, waarbij meerdere putten in hetzelfde gebied worden geboord. De boorvloeistof kan dan gemakkelijk van de ene put naar de andere worden overgebracht (in een tankwagen), zonder dat langdurige opslag nodig is. Wanneer korte termijn opslag nodig is, wordt de opgewerkte vloeistof geretourneerd aan de oorspronkelijk eigenaar (servicemaatschappij) (expert judgement).

Het opwerken van boorgruis en boorvloeistoffen is in Nederland aan strenge milieueisen onderhevig. Voor een boorspoeling op waterbasis zal de waterfase schoon moeten zijn om aan wettelijke normen te kunnen voldoen. Daartoe wordt de waterfase uit de boorspoeling afgescheiden en zo nodig gefiltreerd en/of geschikt gemaakt voor hergebruik. Indien nodig wordt hiervoor een beperkte chemische behandeling toegepast [ref. 7.].

Oliehoudende boorvloeistoffen (OBM) zijn gemakkelijker gereed te maken voor hergebruik. Om voor hergebruik in aanmerking te komen, zal het ongewenste boorgruis moeten worden verwijderd, waarna behandeling met de juiste chemicaliën de boorvloeistof geschikt maakt voor hergebruik (expert judgement).

Het residu van een waterspoeling wordt op een aparte locatie opgeslagen. Als het geen milieubelastende stoffen bevat, wordt het residu hergebruikt als 'landfill'.

In dit verband wordt verwezen naar de bestaande, door SodM geaccepteerde praktijk voor het opwerken van boorvloeistoffen (zoals in Nederland uitgevoerd door de firma Reym). Voor schaliegasboringen is de verwachting dat het residu niet milieu belastend zal zijn. Dit is gebaseerd op het feit dat voor boren naar schaliegas boorvloeistoffen worden gebruikt met een relatief lage dichtheid (er worden geen hoge drukken in het boorgat verwacht) en waarbij dus weinig of geen behoefte is aan het gebruik van BaSO₄ (bariet, nodig voor eventueel verhogen van de dichtheid van de boorvloeistof) (expert judgement).

2.4. Deelvraag 4: Samenstelling boorgruis

Wat is de mogelijke samenstelling van boorgruis uit schalielagen (onder andere zware metalen, radio-nucliden)?

Schalies bestaan uit samengedrukte kleilagen die een grote sterkte vertonen. Het boorgruis zal dan waarschijnlijk voornamelijk bestaan uit zand, kleien, zouten, en leisteen (de lithologische samenstelling van het gesteente, [ref. 1, 2.]). Dit kan per locatie verschillen vertonen.

Er is nog niets bekend over aanwezigheid van zware metalen en radio-nucliden, maar het is niet uitgesloten dat deze hierin wel aanwezig zijn.

Een schatting van de hoeveelheid kan worden verkregen op basis van 'gamma ray logs'. Hiermee kan worden berekend wat de theoretische hoeveelheid radioactief boorgruis is die per boorgat kan worden geproduceerd. Gedetailleerde samenstelling zal nader moeten worden bepaald aan de hand van gesteentemonsters.

2.5. Deelvraag 5: Verwerking boorgruis

Hoe gaat men om met dit afval?

Het verzamelde boorgruis wordt zodanig behandeld (gewassen met water) dat opslag op land voor langere tijd mogelijk is, waarbij de invloed van wind en regen zoveel mogelijk wordt vermeden om uitloging van metalen tegen te gaan.

Paragraaf 5 van het Besluit algemene regels milieu mijnbouw geeft voorschriften voor de (tijdelijke) opslag op locatie en de afvoer van afvalstoffen die ontstaan bij het zetten van een boring, zoals het boorgruis [ref. 8.].

Bij het gebruik van OBM zal de olie in het boorgruis thermisch worden verwijderd. Vervolgens kan het 'schone' boorgruis worden afgevoerd naar de afvalverwerking (expert judgement).

2.6. Deelvraag 6: Milieueffecten

Wat zijn de mogelijke milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

Het uitlogen van stoffen uit het boorgruis kan van toepassing zijn op alle zware metalen die in het boorgruis aanwezig kunnen zijn (zie afbeelding 2.1). De in het boorgruis aanwezige polymeren/bentoniet vormen na het behandelingsproces zoals genoemd in paragraaf 2.3 geen gevaar meer voor het milieu.

Als na de opwerking van de boorspoeling en het boorgruis nog polymeerresten aanwezig zijn, kan deze materie niet zonder meer in contact worden gebracht met het milieu. De nog aanwezige polymeren kunnen tot verhoogde bacteriële activiteit leiden, die op zijn beurt weer de nodige zuurstof uit de omgeving zal onttrekken [ref. 9, 10.]. Deze bacteriologische activiteit heeft echter ook het voordeel dat resterende polymeren worden afgebroken. De graad van ernst van de geschetste problematiek hangt sterk af van de effectiviteit van het opwerkingsproces. Hier moet met name worden gerefereerd aan de ervaringen met het opwerken van boorvloeistoffen in Nederland door de firma Reym.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Samenstelling boorspoeling

Wat is de samenstelling van de boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen?

De boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen is afhankelijk van de diepte waarop men boort. In het algemeen bestaat de boorvloeistof uit water, zouten die de chemische interactie tussen water en gesteente tegengaan, viscositeit verhogende kleien of polymeren die het verwijderen van het boorgruis tijdens het boorproces mogelijk maken en polymeren die verlies aan vloeistof naar het gesteente tegengaan of zelfs elimineren. Een andere mogelijkheid is het gebruik van boorspoelingen op oliebasis (oil based mud, OBM).

3.2. Deelvraag 2: Verschillen

In hoeverre wijkt deze af van de boorspoeling voor putten voor de conventionele gaswinning, geothermie en voor drinkwater?

De boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen is niet anders dan voor boringen naar conventionele olie- en gasbronnen. Er wordt voor boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen geen speciale hoge dichtheid vereist. Anders dan bij boringen naar conventionele olie- en gasbronnen, is namelijk de verwachting dat er geen hoge drukken zullen voorkomen.

Voor boringen naar geothermische bronnen (temperaturen van meer dan 85 °C) worden meer temperatuurstabiele ingrediënten gebruikt. Voor het boren van drinkwaterputten kan de boorspoeling eenvoudig van samenstelling zijn (water en bentoniet), omdat het ondiepe boringen betreft met lage boorgatdrukken.

3.3. Deelvraag 3: Verwerking boorspoeling en residu

Wat gebeurt er met de gebruikte boorspoeling (recyclen, reinigen etc.) en wat er gebeurt met het residu dat overblijft na recycling of reiniging?

Gebruikte boorspoeling op waterbasis zal hergebruikt kunnen worden als er voldoende nieuwe putten gepland zijn. Zo niet, dan zal de boorvloeistof worden opgewerkt, waarbij de waterfase schoon moet zijn om aan wettelijke normen te kunnen voldoen. Oliehoudende boorvloeistoffen (OBM) zijn gemakkelijker gereed te maken voor hergebruik.

Het residu zal op een aparte locatie worden opgeslagen. Indien het residu geen milieubelastende stoffen bevat, wordt het hergebruikt als 'landfill'.

3.4. Deelvraag 4: Samenstelling boorgruis

Wat is de mogelijke samenstelling van boorgruis uit schalielagen (onder andere zware metalen, radio-nucliden)?

Het boorgruis zal dan waarschijnlijk voornamelijk bestaan uit zand, kleien, zouten, en leisteen. Er is nog niets bekend over aanwezigheid van zware metalen en radio-nucliden, maar het is niet uitgesloten dat deze hierin wel aanwezig zijn.

Een schatting van de theoretische hoeveelheid radioactief boorgruis per boorgat kan worden verkregen met een berekening op basis van 'gamma ray logs'.

3.5. Deelvraag 5: Verwerking boorgruis

Hoe gaat men om met dit afval?

Als de milieubelastende ingrediënten uit het boorgruis zijn verwijderd, kan het als zodanig worden opgeslagen. Opslag dient zodanig te geschieden dat regen en wind geen invloed hebben op mogelijke uitloging van zware metalen.

Bij het gebruik van een OBM zal de olie in het boorgruis thermisch worden verwijderd. Vervolgens kan het 'schone' boorgruis worden afgevoerd naar de afvalverwerking.

3.6. Deelvraag 6: Milieueffecten

Wat zijn de mogelijke de milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

Uitloggen van milieubelastende stoffen uit het boorgruis is mogelijk. Door het behandelingsproces zoals beschreven in paragraaf 2.3 vormen zij geen gevaar meer voor het milieu.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Jean-Paul Mouchet and Alan Mitchell, (Elf Aquitaine), 'Abnormal pressures while drilling', Boussens, 1989.
- [ref. 2.] Drilling Fluid Processing Handbook, ASME Shale Shaker Committee - Technology Engineering - 2011 - 700 pages.
- [ref. 3.] G.R. Gray, H.C.H. Darley and W.F. Rogers, 'Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids', Gulf Publishing Company, 1988.
- [ref. 4.] G.V. Chilingarian and P. Vorabutr, 'Drilling and Drilling Fluids', Elsevier, 1983.
- [ref. 5.] P.L. Moore, 'Drilling Practices Manual', The Petroleum Publishing Co, Tulsa, 1974.
- [ref. 6.] A. Kortholt e.a. 'Drilling Fluids in NAM Operations', Interne publicatie, 1985.
- [ref. 7.] Karen McCosh, Alan Gilmour, and G.A. Addicks, all of M-I Swaco, and Ray Far Inato, Kemira Group., 'Invert-Fluid Flocculation: A Method for Recycling Drilling Fluid', JPT, 2007.
- [ref. 8.] Besluit algemene regels milieu mijnbouw, paragraaf 5.
- [ref. 9.] Speelman, A.M., De Leeuw, J.C.R., Verburgh, J.J., van der Wal, J. Seah, M.H., De Valk, R.H.W., Schapink, J., Environmental Impact Assessment (EIA): muds and brines, NAM report no 24352, October 1993.
- [ref. 10.] Holgate, Mentzer, Garnham, Harris, Davis, Verburgh, Whitehead and Shephard, 'Realising the benefits of environmental risk management', SPE 27610., 1993.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.4
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/208
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.3.4	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Samenstelling frac-vloeistof	3
2.2. Deelvraag 2: Proppanten	5
3. CONCLUSIES	7
3.1. Deelvraag 1: Samenstelling fracvloeistof	7
3.2. Deelvraag 2: Proppanten	7
4. REFERENTIES	8

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.3.4

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

Wat is de samenstelling van de fracvloeistof voor schalie- en steenkoolgasboringen? Geef aan in hoeverre deze afwijkt van de fracvloeistof voor putten voor de conventionele gaswinning en geothermie. Wat zouden mogelijke proppanten kunnen zijn? Waar komen deze proppanten vandaan?

1.2. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen.

Deelvraag 1: Samenstelling frac-vloeistof

Wat is de samenstelling van de frac-vloeistof voor schalie- en steenkoolgasboringen? Geef aan in hoeverre deze afwijkt van de frac-vloeistof voor putten voor de conventionele gaswinning en geothermie.

Deelvraag 2: Proppanten

Wat zouden mogelijke proppanten kunnen zijn? Waar komen deze proppanten vandaan?

1.3. Aanpak

Deze vraag is beantwoord op basis een studie van beschikbare wetenschappelijke publicaties, aangevuld met 'expert judgement'.

Daar waar van expert judgement sprake is, zal dit expliciet worden aangegeven.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Samenstelling frac-vloeistof

Wat is de samenstelling van de frac-vloeistof voor schalie- en steenkoolgasboringen? Geef aan in hoeverre deze afwijkt van de fracvloeistof voor putten voor de conventionele gaswinning en geothermie.

In het algemeen kan worden gesteld dat de samenstelling van fracvloeistoffen voor het fraccen van schalie niet verschillen met die voor het fraccen van olie- en gas houdende gesteenten.

De chemicaliën die aan de frac-vloeistof kunnen worden toegevoegd, vervullen verschillende functies. Zo kunnen zij tot doel hebben om het verstoppert van de poriën van de scheur tijdens het maken van de scheur tegen te gaan. Daarnaast worden andere chemicaliën toegevoegd om de viscositeit te vergroten voor het transport van proppanten (zie verderop). Om de eigenschappen van een fracturing vloeistof te optimaliseren, kan een reeks aan chemicaliën worden toegevoegd [ref. 1.]:

- biocide om de bacteriële activiteit bij gebruik van biopolymeren tegen te gaan;
- gel brekers die de actie van de polymeer, nadat de scheur is gemaakt, teniet doen;
- kleistabiliserende chemicaliën om watergevoelige kleien te beschermen;
- chemische buffers;
- materialen om het verlies van frac-vloeistof aan het gesteente te beperken. Dit kunnen zijn: fijn gemalen silica poeder, resins (grote organische moleculen), stijfsel producten, dieselolie en zepen.

Tabel 2.1 geeft een voorbeeld van de samenstelling van een frac-vloeistof, die kan variëren naar gelang van de locatiespecifieke omstandigheden, zoals formatie-eigenschappen.

Tabel 2.1. Voorbeeld van de samenstelling van fracvloeistof. Samenvoeging van tabellen uit [ref. 1.] en [ref. 2.]

karakterisering	voorbeelden van toegepaste chemische stoffen	functie
aanslag remmer 0.043 %	Ethylene Glycol	wordt toegevoegd om neerslag van kalk en sulfaten te voorkomen bij opwarmen van de vloeistof
biocide 0.001 %	Glutaraldehyde	voorkomt groei van bacteriën. Vaak hebben deze toegang tot het water. Het is daarom nodig om verstopping, corrosie en de productie van ijzersulfide/ biogeen sulfide tegen te gaan
corrosie remmer 0.002 %	Dimethyl formamide	wordt toegevoegd om de fracvloeistof te beschermen tegen bevriezing en om corrosie van de pijpen waarin de vloeistof wordt ingebracht te voorkomen
crosslinker (Gelling Agent) 0.007 %	boraatzouten	verhoogt viscositeit zodat meer opvulmiddel in de scheuren gevoerd kan worden
emulsie remmer		voorkomt vorming van emulsies in de fracvloeistof
Fluid-Loss-Additieven	zand/ leem	voorkomt eventuele verliezen naar het formatie gesteente
gel 0,06 %		verdikt water om de zandkorrels te laten neerslaan. Deze 'verstoppt' daarmee de poriën en vermindert de kans op het ontstaan van migratieroutes. De werking van een gel neemt af in de tijd
gel brekers	zuren en/of oxidatie-	verlaagt viscositeit van vloeistoffen zodat deze, na afzetting van

karakterisering	voorbeelden van toegepaste chemische stoffen	functie
0.01 %	middelen	het opvulmiddel zand, teruggeproduceerd kunnen worden
gel-polymeren 0.056 %	natuurlijke organische macromoleculen (Guar Gum)	voor een goed transport van het opvulmiddel zand; de vloeistof gaat als drager fungeren voor het te plaatsen zand
gel stabilisatoren	natriumchloride	houdt de gel in stand
klei stabilisator 0.06 %	KCl	het toevoegen van zouten beïnvloedt de elektrische dubbellaag van kleien en dus het zwel-krimp gedrag. De stabilisator houdt kleien op hun plaats en voorkomt verstopping
smeermiddelen 0.088 %	polymeren, poly-acryl-amiden	verlaagt wrijving tijdens het pompen van de vloeistoffen
surfactant / oppervlaktespanningsverlagers 0.085 %	alcoholthoxylaten naphthalene	zorgt voor een zo laag mogelijke oppervlaktespanning tussen het gesteente en de vloeistof, zorgt ervoor dat de weerstand voor het inpompen en weer uitstromen zo gunstig mogelijk is
ijzer regelaar 0.004%	citroenzuur	bestaat uit zuren die putverstopping ten gevolge van de neerslag van metaalhydroxides voorkomen
zuren 1.5 %	hydrochloride citroenzuur mierenzuur	voorkomt neerslagen (metaaloxiden) en het oplossen van mineralen
zuurgraad (pH) stabilisatoren 0.011	natriumcarbonaat / kaliumcarbonaat	houdt een juiste zuurgraad in stand (buffering)

De concentratie van gebruikte polymeren is over het algemeen in de orde van 1 % of lager. Voor het gebruik van chemicaliën zal voldaan moeten worden aan de normen zoals neergelegd in de EU-Verordening REACH [ref. 3].

Alhoewel vele vloeistofrecepturen gecompliceerd kunnen zijn en chemicaliën bevatten, zijn er mogelijkheden om voor het fraccen van schalies de samenstelling van de frac-vloeistof zo te bepalen dat de belasting voor het milieu minimaal kan zijn. Als optie kan gebruikt worden om water als basisvloeistof te nemen en milieuvriendelijke, afbreekbare polymeren (biopolymeren) toe te voegen om de nodige viscositeit (stropigheid) te verkrijgen voor transport van de proppant. Dit heeft ook tot doel om de kleinst mogelijke verdere schade aan het gesteente in de frac toe te brengen (zie ook beantwoording van deelvraag B.2.4).

Aangezien de poriën van schalie over het algemeen kleiner zijn dan die van olie/gas zanden/kalksteen, is het voorkomen van verstopping van deze poriën voor schaliegas nog belangrijker. Het is dus van fundamenteel belang dat de gebruikte chemicaliën de poriën zelf niet verstoppen: het verlies aan frac-vloeistof tijdens het maken van de scheur naar het omliggende gesteente moet zo laag mogelijk zijn (bij voorkeur nul). Dit heeft te maken met het binnendringen van polymeren vanuit de frac-vloeistof. Aangezien deze polymeren de eigenschap hebben kleine poriën te verstoppen, moet de ontwerper van de frac-job ervoor zorgen dat het vloeistoftransport (waarin de polymeren zitten) zo klein mogelijk is [ref. 4].

Daarnaast moet worden vermeld dat imbibitie (opname van vloeistof door de kleine poriën van de schalie ten gevolge van capillaire werking, een proces dat optreedt in gesteenten met zeer lage permeabiliteit) een belangrijke rol kan spelen als de schalie een lage watersaturatie heeft.

Het gesteente zoekt dan naar een nieuw evenwicht middels het imbibitieproces. Grote hoeveelheden fracvloeistof kunnen daarbij worden opgeslagen in het gesteente, over een afstand van 6 -15 cm.

Volumina kunnen wel tot 70 % bedragen van de hoeveelheid frac-vloeistof die is gebruikt en op hun beurt de productie van schaliegas ongunstig beïnvloeden. Het is erg moeilijk het door capillaire krachten gebonden water in beweging te krijgen, zodat schaliegas kan worden geproduceerd [ref. 5.].

Daarentegen bestaat er in toenemende mate ongeschreven bewijs dat imbibitie van de frac-vloeistof resulteert in verhoogde gasproductie en dus aanleiding geeft tot een hogere effectiviteit van het gecreëerde 'fracture' systeem. De absorptie van polymeren aan de wand van de frac kan minimaal gehouden kan worden als het vloeistofverlies naar het gesteente minimaal is (en daarmee de schade aan het gesteente). De bewijsvoering hiervoor is echter complex, omdat hier twee tegengestelde mechanismen zijn: (i) extra verzadiging ten gevolge van watersaturatie dat gas productie kan beperken en (ii) door het proces van imbibitie wordt gas dat in de poriën aanwezig is vervangen door water) (expert judgement).

De keuze van fracvloeistoffen (welke polymeer wordt er gekozen) bepaalt verder bijvoorbeeld hoeveel viscositeit wordt gegeven aan de fracturing vloeistof voor het maken van de scheur. Hierbij is het uitermate belangrijk om de onderlinge werking van de chemicaliën in het oog te houden, zodat bijvoorbeeld geen interactie met het gesteente en verstopping van de poriën optreedt [ref. 3.]. De meest voorkomende commercieel beschikbare toevoegingen om de viscositeit van de frac-vloeistof op peil te houden zijn:

- afgeleiden van cellulose: HEC, bevat 1-2 % onoplosbare vaste stof;
- afgeleiden van Guar Gum: HPG & CMHPG; bevatten minder dan 1 % vaste stof (Guar Gum zelf is niet meer in gebruik vanwege 5-10 % onoplosbaar vaste stof);
- Cross linked Guar Gum afgeleiden; deze zijn milieutechnisch niet aan te bevelen in verband met het gebruik van zware metalen (Zr- Ti- Al);
- Borate type polymeren;
- Visco elastic surfactant (VES): bevat geen onoplosbare vaste stof;
- Xanthum gum: een biopolymeer die afbreekbaar is.

Bij terugproductie van fracvloeistoffen na het maken van de scheur en na de instroom van proppants om de scheur open te houden zijn maatregelen nodig om de grote hoeveelheden frac-vloeistof op te vangen. De grote hoeveelheden frac-vloeistof kunnen een belasting vormen voor het milieu. Dit nog afgezien van het percentage en de aard van de chemicaliën die aan de frac-vloeistof zijn toegevoegd (zie ook beantwoording van deelvraag B.3.6).

2.2. Deelvraag 2: Proppanten

Wat zouden mogelijke proppanten kunnen zijn? Waar komen deze proppanten vandaan?

Het gebruik van proppants bij het maken van scheuren in het schaliegesteente is onvermijdelijk, omdat na het afdrukken van de druk de gemaakte scheur zal sluiten en er dus geen productie zal optreden.

De keuze van de proppant wordt bepaald door [ref. 2.]:

- de sterkte van het materiaal ten opzichte van de sterkte van het gesteente;
- de deeltjesgrootteverdeling; deze moet zo nauw mogelijk zijn om het verbrijzelen van het proppant-materiaal te beperken;

- compatibiliteit van het proppant-materiaal met de frac-vloeistof en formatie-eigen stoffen;
- prijs en beschikbaarheid in grote hoeveelheden.

Over het algemeen wordt zand als proppant gebruikt, mits de deeltjesgrootteverdeling gebruikt kan worden in de te maken scheur. Het zand moet wel voldoen aan de specifieke eisen die worden gesteld voor proppants: het moet hard genoeg zijn en zo veel mogelijk bolvormig. Er zijn ook andere commerciële proppants beschikbaar, zoals gesinterd Bauxiet, zand met een kunstharslaagje en keramiek.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Samenstelling fracvloeistof

Wat is de samenstelling van de frac-vloeistof voor schalie- en steenkoolgasboringen? Geef aan in hoeverre deze afwijkt van de fracvloeistof voor putten voor de conventionele gaswinning en geothermie.

De samenstelling van een fracvloeistof ten behoeve van het fracken van schalies is in wezen niet anders dan voor conventionele fracvloeistoffen, benodigd voor olie- en gas putten.

De chemicaliën die aan de fracvloeistof kunnen worden toegevoegd, vervullen verschillende functies. Om de eigenschappen van een fracturing vloeistof te optimaliseren, kan een reeks aan chemicaliën worden toegevoegd.

Van belang is het voorkomen van verstopping van de poriën in de schalie, aangezien de winning van het gas anders niet meer mogelijk is. Het verlies aan frac-vloeistof tijdens het maken van de scheur naar het omliggende gesteente moet zo laag mogelijk zijn (bij voorkeur nul). Daarnaast is het uitermate belangrijk om de onderlinge werking van de chemicaliën in het oog te houden, zodat bijvoorbeeld geen interactie met het gesteente optreedt.

Alhoewel vele vloeistofrecepturen gecompliceerd kunnen zijn en chemicaliën bevatten, zijn er mogelijkheden om voor het fracken van schalies de samenstelling van de fracvloeistof zo te bepalen dat de belasting voor het milieu minimaal kan zijn. Bij terugproductie van frac-vloeistoffen moet men echter maatregelen nemen om de grote hoeveelheden frac-vloeistof op te vangen. De grote hoeveelheden fracvloeistof kunnen een belasting vormen voor het milieu, nog afgezien van het percentage en de aard van de chemicaliën (zie ook deelvraag B.3.6).

3.2. Deelvraag 2: Proppanten

Wat zouden mogelijke proppanten kunnen zijn? Waar komen deze proppanten vandaan?

Er zijn verschillende soorten proppant mogelijk. De keuze voor een proppant is met name afhankelijk van de hardheid en deeltjesgrootteverdeling. Over het algemeen wordt zand als proppant gebruikt.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] M.R. Janzen, 'Shale gas hydraulic fracturing in the Dutch Posidonia Shale', 2012.
- [ref. 2.] 'Fact sheet: Fracken nader toegelicht', NOGEPA, 7 maart 2013, p. 3.
- [ref. 3.] Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006, inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH).
- [ref. 4.] M.J. Economides and K.G. Nolte, 'Reservoir Stimulation', Third Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [ref. 5.] A.P. Byrnes, 'Role of Induced and Natural Imbibition in Frac Fluid Transport and Fate in Gas Shales', US EPA Conference Center, Technical Workshops for Hydraulic Fracturing Study, Fate & Transport, March 28-29, 2011.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.5
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/209
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	2

	blz.
INHOUDSOPGAVE	
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Samenstelling schaliegesteente	3
2.2. Samenstelling formatiewater schaliegesteente	5
3. CONCLUSIES	11
4. REFERENTIES	12
BIJLAGEN	aantal blz.
I Samenstelling flowback water, relatie met fracking vloeistof	5
II Samenstelling en gehalten flowbackwater	5

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Geef een overzicht van stoffen - en mogelijke concentraties - die van nature in de (schalie)lagen voorkomen.

1.2. Afbakening

Beantwoording van deze vraag over de samenstelling van schaliegesteente en over stoffen in de holtes van de schalielagen heeft plaatsgevonden op basis van literatuuronderzoek. De vraag beperkt zich tot het opsommen van de voorkomende stoffen. Mogelijke risico's voor mens en milieu die kunnen optreden bij het vrijkomen van deze stoffen (bijvoorbeeld via afvalwater) in de bodem of het watersysteem en mogelijke behandelmethodes zijn elders gerapporteerd (notitie B.3.2 en B.1.1.4). Mogelijke risico's van migratie van gas of vloeistoffen vanuit het schaliegesteente naar bovenliggende lagen worden besproken in onderzoeksnotities B.2.3 en B.2.4.

Deelvraag 1: Samenstelling schaliegesteente

Geef inzicht in de samenstelling van schaliegesteente.

Hierbij is ingegaan op het voorkomen van stoffen van die vanuit het schaliegesteente kunnen worden gemobiliseerd bij winning van schaliegas.

Deelvraag 2: Stoffen voorkomend in holtes schaliegesteente

Geef inzicht in stoffen die kunnen voorkomen in de holtes in het schaliegesteente.

In de holtes (poriën) van schaliegesteente komt gas en formatiewater voor. Inzicht wordt gegeven in de samenstelling van het formatie-water.

1.3. Aanpak

Beschrijving van de samenstelling van schaliegesteente is gebaseerd op literatuuronderzoek in Duitsland, Nederland en de Verenigde Staten (VS).

Er zijn geen directe metingen van formatiewater in schalielagen beschikbaar. Beschrijving van de samenstelling van het formatiewater is daarom gebaseerd op stoffen die vrijkomen bij terugstromend water na het toepassen van 'hydraulic fracturing' ('flowback water') of na boren en bij gasproductie ('produced water'). Stoffen die afkomstig zijn uit het formatiewater, of zijn gemobiliseerd door fraccen, zijn stoffen die niet in de gebruikte fraccing-vloeistof voorkomen. Deze gegevens zijn niet beschikbaar voor Nederland. Er is gebruik gemaakt van gegevens uit de VS en uit Duitsland.

In de literatuurlijst zijn de gebruikte bronnen opgenomen.

2. ANALYSE

2.1. Samenstelling schaliegesteente

Voor Nederland zijn de Posidonia- en Geverik-schalie het belangrijkste potentieel voor winning van schaliegas (afbeelding 2.1).

Afbeelding 2.1. Mogelijk schalieghoudende lagen in Nederland [ref. 6.]



Schalie is een sedimentair gesteente, bestaande uit kleimineralen. Schalies zijn afgezet in een stagnant marien (brak tot zout), anoxisch (zuurstofloos) milieu. Schaliegesteente bevat een grote hoeveelheid organisch materiaal (bitumen), kalk en pyriet (ijzersulfide) [ref. 8.].

Duitsland

In zuidwest Duitsland komt de Posidonia-schalie voor aan maaiveld. De samenstelling van pyriet in de Posidonia-schalie is onderzocht [ref. 7.]. Hierbij zijn onder meer de volgende stoffen aangetroffen: koper, nikkel, kobalt, bismut, thallium, arseen, molybdeen, antimoon, zink, cadmium, gallium, vanadium. De samenstelling van pyriet in het schaliegesteente is afhankelijk van de geochemische omstandigheden tijdens de vorming.

Amerika en Nederland

Het KWR Watercycle Research Institute heeft onderzoek gedaan naar het beoordelen van drinkwater risico's bij het toepassen van hydraulic fracturing bij het winnen van schaliegas [ref. 1.]. In het KWR onderzoek is ondermeer ingegaan op de samenstelling van schalielagen in Amerika en in Nederland. Onderstaand zijn relevante resultaten van dit onderzoek aangegeven [ref. 1] wat betreft de samenstelling van schalielagen:

- in (bitumenrijke) schalies en koollagen kunnen van nature bepaalde (toxische) stoffen voorkomen. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om zouten, zware metalen, BTEX (benzeen, toluen, ethyl benzeen en xyleen), en verschillende trihalomethanen en -ethanen;
- de Posidonia- en Geverik-schalie (belangrijkste potentieel voor winning van onconventioneel gas in Nederland) kenmerken zich door hoge gehalten organisch koolstof (keroegen, bitumen) en afzetting onder zeer gereduceerde omstandigheden wat ondermeer blijkt uit hoge pyriet gehalten. Onder gereduceerde omstandigheden zijn zware metalen vrijwel immobiel. In tabel 2.1 zijn gehalten zware metalen voor schalielagen in de Verenigde Staten en in Nederland aangegeven;
- over de mate waarin het doorboren en fraccen van schalie- en steenkoollagen leidt tot de mobilisering van onder andere zware metalen is weinig bekend;
- het uiteindelijk terug naar maaiveld stromende (flowback) water bestaat uit een mix van resten additieven, afbraak en omzettingsproducten van deze stoffen en uit de formatie gemobiliseerde stoffen.

Tabel 2.1. Zware metalen in bitumeuze schalielagen in Amerika en Nederland (samengesteld in [ref. 1.])

	Marcellus shale ¹	Ohio shale ²	Posidonia shale (Altena groep) ³	Geverik shale (Epen formatie) ⁴
	US mg/kg	US mg/kg	D/NL mg/kg	NL mg/kg
U	10 - 50	50.4	14	3.8 - 13.6
Cr	70 - 100	70	85	
Zn	<50 - 2290	60	127	79.8 - 190.1
Ba	*	440	192	
Mo		160	66	1.3 - 63.0
V		200	282	149.6 - 238.3
Cu		67	40	42.1 - 183.6
Ni		100	103	74.7 - 103.6
Pb		30	11	18.0 - 61.8
Cd		2		

¹US-EPA, 2011, ²Zimmerle, 1995, Jochum et al., 1995 ³Kombrink et al., 2008 ⁴*contaminated with drilling mud

Jochum J, Friedrich G, Leythaeuser D, Littke R (1995) Intraformational redistribution of selected trace elements in the Posidonia Shale (Hils Syncline, NW Germany) caused by the thermal influence of the Vlotho Massif. Ore Geology Reviews 9(5): 353-362

Kombrink, H, BJH van Os, CJ van der Zwan (2008) Geochemistry of marine and lacustrine bands in the Upper Carboniferous of the Netherlands Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw 87-4 pp 309 - 322

Zimmerle, W. (1995) Petroleum sedimentology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

US EPA (2011) Proceedings of the Technical Workshops for the Hydraulic Fracturing Study: Chemical & Analytical Methods EPA 600/R-11/066, Washington D.C.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1.2, wordt hier uitsluitend ingegaan op de samenstelling van het schaliegesteente. Op eventuele risico's voor mens en milieu bij het vrijkomen van

stoffen via afvalwater, of door migratie ondergronds wordt ingegaan in andere onderzoeksnotities.

2.2. Samenstelling formatiewater schaliegesteente

Directe metingen van de van nature voorkomende stoffen in het formatiewater van de schalielagen zijn niet beschikbaar.

Wel kan gesteld worden dat, omdat schaliegesteenten zijn gevormd in een marien milieu, het formatiewater zout kan zijn. Onderzoek van het American Petroleum Institute [ref. 3.] geeft aan dat het zoutgehalte in het van nature voorkomende formatiewater kan variëren van brak tot zeer zout (brijn).

Inzicht in de samenstelling van formatiewater kan worden gegeven door het analyse van de kwaliteit van het afvalwater, dat vrijkomt bij het boren van een put en bij de gasproductie ('produced water') en na het uitvoeren van hydraulic fracturing ('flowback water'). Beiden vormen samen het bij schaliegaswinning vrijkomende afvalwater.

Hydraulic fracturing kan invloed hebben op de mobiliteit van stoffen [ref. 2.] die aanwezig zijn in de schalielagen. Door reacties van het gesteente met chemische additieven in het fracturing-mengsel [ref. 2.] kunnen stoffen vrijkomen vanuit de schalieformatie. Deze stoffen komen eveneens in het terugstromend water terecht.

In Nederland zijn voor zover bekend nog geen proefboringen uitgevoerd waarbij de kwaliteit van het flowback water, is geanalyseerd [ref. 1.]. Bij schaliegaswinning in Duitsland en de VS zijn metingen verricht aan het flowback water en zijn gegevens beschikbaar.

Door na te gaan welke stoffen in het flowback water aanwezig zijn, en niet bekend staan als additieven in de fracture vloeistof, en na te gaan welke stoffen er in produced water aanwezig zijn, kan inzicht worden verkregen in de van nature voorkomende stoffen in het formatiewater en de door fracking gemobiliseerde stoffen.

Onderzoeksvraag B.3.6 gaat verder in op de kwaliteit van flowback water.

Kwaliteit flowback water schaliegaswinning Duitsland

Vanuit Duitsland (Neder Saksen) is beperkt informatie aanwezig met betrekking tot de kwaliteit van flowback water [ref. 1.]. Het gaat hierbij om schaliegasbron 'Damme 3' en koolbedmethaan bron 'Cappeln'. Uit metingen van het flowback water blijkt een zeer hoog zoutgehalte (circa 3 keer zeewater). Het extreem hoge ijzergehalte (gemiddeld 370 mg/l bij 'Cappeln') duidt op diep anoxisch water (in het formatiewater, in ongestoorde omstandigheden). Uit de metingen blijkt tevens een hoog gehalte aan (milligrammen per liter) lood, chroom, nikkel en zink in het flowbackwater aanwezig te zijn.

Kwaliteit flow back water schaliegaswinning VS

In onderzoek van New York State-DEC [ref. 5.] is een lijst opgenomen van stoffen die in flowback water zijn aangetroffen ([ref. 5.], tabel 6.1). Tevens is aangegeven of de aangetroffen stoffen zijn gebruikt als additieven bij het toepassen van hydraulic fracturing. Stoffen die niet zijn toegevoegd tijdens hydraulic fracturing, maar wel zijn aangetroffen in flowback water, zijn stoffen die van nature voorkomen in de schalielagen, hetzij in het formatiewater, hetzij in het gesteente. Deze stoffen zijn gemobiliseerd door het fracturing-mengsel (water, zand en additieven). Op basis hiervan kan gesteld worden dat ondermeer de volgende stoffen van nature voorkomen in schaliegesteente: zout (NaCl), sporenelementen (kwik, lood,

arseen), van nature voorkomende licht radioactief mineralen (N.O.R.M.: Naturally Occurring Radioactive Material) als radium en uranium en organische verbindingen.

Het US EPA [ref. 2.] voert een studie uit naar de mogelijke gevolgen van hydraulische fracturing op grondwater, dat wordt ingezet voor drinkwaterproductie. In dit rapport is een lijst opgenomen met stoffen, aangetroffen in additieven van het fracturing-mengsel ([ref. 2.], tabel A.1) en in het terugstromend (flowback) water ([ref. 2.], tabel A.3). Deze tabel is opgenomen in bijlage I. Stoffen die niet als additieven worden gebruikt, maar wel in het terugstromend water worden aangetroffen, zijn afkomstig uit het schaliegesteente. Dit betreft onder meer zware metalen, radioactief materiaal en verschillende organische en anorganische verbindingen.

Het KWR Watercycle Research Institute heeft Amerikaanse gegevens met betrekking tot flowback water geanalyseerd [ref. 1.]. Het flowback water (bij schaliegaswinning in Amerika) bevat hoge tot zeer hoge gehalten BTEX (benzeen, toluen, ethyl benzeen en xyleen) en verschillende trihalomethanen en -ethanen. Opvallend zijn verder de hoge gehalten halogenen fluoride en bromide. Ook zware metalen (chromium, molybdeen, kobalt, barium, zilver, en arseen) komen in het flowback water voor. De meeste van deze stoffen komen niet voor in additieven, gebruikt bij de samenstelling van frac-vloeistof, wat betekent dat deze stoffen van nature voorkomen in het schaliegesteente. In bijlage II is een overzicht opgenomen van samenstelling en gehalten van verschillende stoffen zoals aangetroffen in flowback water.

Kwaliteit produced water gaswinning VS

Onderzoek is verricht in de VS naar het voorkomen van stoffen in afvalwater dat vrijkomt bij winning van zowel conventioneel als onconventioneel gas [ref. 4.]. In tabel 2.2 zijn de resultaten samengevat voor afvalwater dat vrijkomt bij de winning van schaliegas.

Tabel 2.2. Stoffen in produced water schaliegaswinning (SGPW: Shale Gas Produced Water)

Constituents	SGPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	1.21	8.36
Alkalinity	160	188
Nitrate	nd	2670
Phosphate	nd	5.3
Sulfate	nd	3663
Ra ²²⁶ (pCi/g)	0.65	1.031
HCO ₃	nd	4000
Al	nd	5290
B	0.12	24
Ba	nd	4370
Br	nd	10600
Ca	0.65	83950
Cl	48.9	212700
Cu	nd	15
F	nd	33
Fe	nd	2838
K	0.21	5490
Li	nd	611
Mg	1.08	25340
Mn	nd	96.5
Na	10.04	204302
Sr	0.03	1310
Zn	nd	20

Tabel 2.2 laat zien dat ondermeer het licht radioactieve Radium-226 vrijkomt, verschillende zware metalen en sporenelementen. De pH (zuurgraad) varieert sterk, tussen pH 1 en 8. De stoffen komen voor in produced water, wat betekent dat de stoffen in principe van nature in de formatie voorkomen.

In tabel 2.3 is dit aangegeven voor produced water dat vrijkomt bij gaswinning uit koollagen [ref. 4.].

Tabel 2.3. Stoffen in produced water winning gas uit kolenlagen (CBMPW: Coalbed Methane Produced Water)

Constituents	CBMPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	6.56	9.87
Conductivity (μS/cm)	94.8	145000
Alkalinity	54.9	9450
Nitrate	0.002	18.7
Phosphate	0.05	1.5
Sulfate	0.01	5590
U	0.002	0.012
Al	0.5	5290
Ammonium-N	1.05	59
As	0.0001	0.06
B	0.002	2.4
Ba	0.01	190
Br	0.002	300
Ca	0.8	5870
Cd	0.0001	0.01
Cl	0.7	70100
Cr	0.001	0.053
Cu	nd	0.06
F	0.05	15.22
Fe	0.002	220
Hg	0.0001	0.0004
K	0.3	186
Li	0.0002	6.88
Mg	0.2	1830
Mn	0.002	5.4
Na	8.8	34100
Ni	0.0003	0.20
Sr	0.032	565
Zn	0.00002	0.59

Ook in produced water uit kolenlagen komen verschillende zware metalen en sporenelementen voor. Er komt echter geen radioactief materiaal vrij (volgens tabel 2.3). Ook is de zuurgraad hoger (minder zuur) dan in produced water bij schaliegaswinning. De stoffen komen voor in produced water. Dit betekent dat de stoffen in principe van nature in de formatie voorkomen.

Ter vergelijking zijn de stoffen in produced water dat vrijkomt bij de winning van conventioneel gas (NGPW), de winning van 'tight' gas en bij oliewinning, opgenomen in navolgende tabellen [ref. 4].

Tabel 2.4. Stoffen in produced water bij winning gas uit conventionele bronnen (NGPW: Natural Gas Produced Water)

Constituents	NGPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	3.1	7
Conductivity (μS/cm)	4200	586000
Alkalinity	0	285
Sulfate	1.0	47
Oil and Grease	2.3	60
Al	0.4	83
As	0.002	11
B	nd	58
Ba	0.091	17
Br	0.038	349
Ca	nd	51300
Cd	0.02	1.21
Cl	1400	190000
Cr	0.002	0.231
Cu	0.02	5
Fe	nd	1100
K	0.458	669.9
Li	0.038	64
Mg	0.9	4300
Mn	0.45	6.5
Na	520	120000
Ni	0.002	0.303
Sr	0.084	917
Zn	0.02	5

Tabel 2.5. Stoffen in produced water bij conventionele winning gas uit zeer slecht doorlatende zanden (TGSPW: Tight Gas Sands Produced Water)

Constituents	TGSPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	5	8.6
Conductivity (μS/cm)		24400
Alkalinity		1424
Sulfate	12	48
Oil and grease		42
HCO ₃	10	4040
Ammonium-N		2.74
As		0.17
Ca	3	74185
Cd		0.37
Cl	52	216000
Cr		0.265
Cu		0.539
Fe		0.015
K	5	2500
Mg	2	8750
Mn		0.525
Na	648	80000
Ni		0.123
Zn		0.076

Tabel 2.6. Stoffen in produced water bij conventionele oliewinning (OPW: Oli Produced Water)

Constituents	OPW (mg L ⁻¹) ^a	
	Min	Max
pH	5.18	8.9
Conductivity $\mu\text{S}/\text{cm}$	838	1469
Alkalinity	300	380
Nitrate	1	2
Sulfate	8	13 686
Oil and Grease		92
²²⁶ Ra bq L ⁻¹	0.1	9.7
HCO ₃	15	3501
Al		0.06
As	0.17	0.857
Ba	0.07	7.4
Ca	4	52 920
Cd	0.03	0.2
Cl	36	238 534
Cr	0.1	1
Cu	0.33	2.68
Fe	0.1	0.5
K	1.6	42.6
Mg	2	5096
Mn	1.4	8.1
Na	405	126 755
Ni	2.7	9.5
Sr	0.05	2.2
Zn	6.3	17.4

Uit de tabellen 2.4, 2.5 en 2.6 blijkt dat bij conventionele winning van gas en olie een groot aantal stoffen voor kan komen in het 'produced water', in zeer uiteenlopende gehalten.

3. CONCLUSIES

In schalielagen kunnen van nature een grote verscheidenheid aan stoffen voorkomen. Aanwezigheid en gehalten van deze stoffen verschillen sterk per locatie, afhankelijk van geologische en geochemische condities.

Directe metingen van de kwaliteit van het formatiewater van schaliegesteenten zijn niet beschikbaar. Op basis van de kwaliteit van afvalwater, dat vrijkomt bij het toepassen van hydraulische fracturing in schaliegesteente en informatie met betrekking tot samenstelling van schaliegesteente is (een niet limiterende) opsomming te maken van stoffen die van nature in schaliegesteente aanwezig kunnen zijn.

De volgende stoffen kunnen van nature aanwezig zijn in schalielagen: ijzer, kalk, zouten, zware metalen, sporenelementen (lood, arseen, kwik), BTEX (benzeen, toluen, ethyl benzeen en xyleen), licht radioactieve mineralen (radium en uranium) en tal van organische en anorganische verbindingen. De gehalten kunnen sterk variëren. Deze opsomming is niet limiterend.

Of deze stoffen kunnen leiden tot risico's ten aanzien van mens of milieu is sterk afhankelijk van de wijze waarop wordt omgegaan met vrijkomende stoffen in het afvalwater (flow-back/produced water), de behandelmogelijkheden van dit afvalwater en de mogelijke migratie van gas of vloeistoffen vanuit het schaliegesteente naar bovenliggende lagen. Dit zijn onderwerpen van andere onderzoeksnotities.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] KWR Watercycle Research Institute 'REACH als kader voor het beoordelen van drinkwater risico's bij hydraulic Fracturing', 2012; BTO 2012.235(s).
- [ref. 2.] US Environmental Protection Agency, 'Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. PROGRESS REPORT' 2012. EPA/601/R-12/011 www.epa.gov/hfstudy/pdfs/hf-report20121214.pdf.
- [ref. 3.] American Petroleum Institute. 'Water Management associated with Hydraulic Fracturing (HF2)', June 2010. www.api.org.
- [ref. 4.] Chemosphere. 2011 Sep;85(1):74-82. 'Chemical and physical characterization of produced waters from conventional and unconventional resources'. Alley, B; Beebe, A; Rodgers, J.; Castle, J.W. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21680012>.
- [ref. 5.] New York State Department of Environmental Conservation, 'Regulatory Program, Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs', Revised Draft, 2011, <http://www.dec.ny.gov/energy/75370.html>.
- [ref. 6.] Zijp, M. en Bergen, F. van. (2012). Schaliegas in Nederland, potenties en risico's. Uitgave van het KNAG, jaargang 21, nummer 3, maart 2012.
- [ref. 7.] Sedimentology, Journal of the international association of sedimentologists, 'Pyrite geochemistry in the Toarcian Posidonia Shale of south-west Germany: Evidence for contrasting trace-element patterns of diagenetic and syngenetic pyrites'. Berner, Z.A.; Puchelt, H.; Nöltner, T.; Kramer, U.; 3 september 2012.
- [ref. 8.] Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) <http://www.ogc.icbm.de/downloads/OGC-Praktikum/Zusatzmaterial/Posidonien-schiefer.pdf>.

**BIJLAGE I SAMENSTELLING FLOWBACK WATER, RELATIE MET FRACKING
VLOEISTOF**

I.1. Samenstelling flowback water, relatie met fracking vloeistof

In USEPA [ref. 2.] is aangegeven welke stoffen er in fracking vloeistof voorkomen en is aangegeven of de gevonden parameter als fracking vloeistof bekend is. Deze gegevens zijn in onderstaande tabel overgenomen (tabel I.1). In de tabel wordt verwezen naar tabel A.1 uit het rapport [ref. 2.], waarin de samenstelling van de fracking vloeistof is opgenomen. Indien stoffen in tabel A.1 zijn opgenomen is dit aangegeven in de tabel (vinkje kolom 'also listed in tabel A.1'). De stoffen in tabel A.3 die niet voorkomen in tabel A.1 zijn de stoffen die waarschijnlijk afkomstig zijn uit het formatiewater van het schaliegesteente of zijn vrijgekomen door geochemische reacties van fracking vloeistof met het gesteente.

Tabel I.1. Samenstelling Flowback water en relatie met fracking vloeistof [ref. 2.]

*Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing
on Drinking Water Resources: Progress Report*

December 2012

Table A-3 contains a list of chemicals with CASRN's that have been detected in flowback and produced water (collectively referred to as "hydraulic fracturing wastewater"). The table identifies chemicals that are also reported to be used in hydraulic fracturing fluids (Table A-1).

Table A-3. List of CASRN's and names of chemicals detected in hydraulic fracturing wastewater. Chemicals also reportedly used in hydraulic fracturing fluids are marked with an "✓".

CASRN	Chemical Name	Also Listed in Table A 1	Reference
87-61-6	1,2,3-Trichlorobenzene		3, 9
120-82-1	1,2,4-Trichlorobenzene		9
95-63-6	1,2,4-Trimethylbenzene	✓	3, 9, 10
57-55-6	1,2-Propanediol	✓	3, 9
108-67-8	1,3,5-Trimethylbenzene	✓	3, 9, 10
123-91-1	1,4-Dioxane	✓	9, 10
105-67-9	2,4-Dimethylphenol		3, 9, 10
87-65-0	2,6-Dichlorophenol		3, 9
91-57-6	2-Methylnaphthalene		3, 9, 10
95-48-7	2-Methylphenol		3, 9, 10
79-31-2	2-Methylpropanoic acid		10
109-06-8	2-Methylpyridine		3, 9
503-74-2	3-Methylbutanoic acid		10
108-39-4	3-Methylphenol		3, 9, 10
106-44-5	4-Methylphenol		3, 9, 10
57-97-6	7,12-Dimethylbenz(a)anthracene		3, 9
64-19-7	Acetic acid	✓	3, 9, 10
67-64-1	Acetone	✓	3, 9, 10
98-86-2	Acetophenone	✓	3, 9
107-02-8	Acrolein	✓	9
107-13-1	Acrylonitrile		3, 9
309-00-2	Aldrin		3, 9
7429-90-5	Aluminum	✓	3, 9, 10
7664-41-7	Ammonia	✓	3, 9, 10
7440-36-0	Antimony		3, 9, 10
12672-29-6	Aroclor 1248		3, 9
7440-38-2	Arsenic	✓	3, 9, 10
7440-39-3	Barium		3, 9, 10
71-43-2	Benzene	✓	3, 9, 10
50-32-8	Benzo(a)pyrene		3, 9
205-99-2	Benzo(b)fluoranthene		3, 9
191-24-2	Benzo(g,h,i)perylene		3, 9, 10
207-08-9	Benzo(k)fluoranthene		3, 9
100-51-6	Benzyl alcohol		3, 9, 10

Table continued on next page

Tabel I.1.(vervolg) Samenstelling Flowback water en relatie met fracking vloeistof

Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources: Progress Report			
December 2012			
Table continued from previous page			
CASRN	Chemical Name	Also Listed in Table A 1	Reference
7440-41-7	Beryllium		3, 9, 10
319-85-7	beta-1,2,3,4,5,6-Hexachlorocyclohexane		3, 9
111-44-4	Bis(2-chloroethyl) ether	✓	3, 9
7440-42-8	Boron		3, 9, 10
24959-67-9	Bromide (-1)		3, 9, 10
75-27-4	Bromodichloromethane		3
75-25-2	Bromoform		3, 9, 10
107-92-6	Butanoic acid		9, 10
104-51-8	Butylbenzene		9, 10
7440-43-9	Cadmium		3, 9, 10
10045-97-3	Caesium 137		3
7440-70-2	Calcium		3, 9, 10
124-38-9	Carbon dioxide	✓	3, 9, 10
75-15-0	Carbon disulfide		3, 9
16887-00-6	Chloride	✓	3, 9, 10
7782-50-5	Chlorine	✓	3, 10
124-48-1	Chlorodibromomethane		3
67-66-3	Chloroform		3, 9, 10
74-87-3	Chloromethane		3, 10
7440-47-3	Chromium		3, 9, 10
16065-83-1	Chromium (III), insoluble salts	✓	3
18540-29-9	Chromium (VI)	✓	3, 10
7440-48-4	Cobalt		3, 9, 10
7440-50-8	Copper	✓	3, 9, 10
98-82-8	Cumene	✓	3, 9
57-12-5	Cyanide, free		3, 9, 10
319-86-8	delta-Hexachlorocyclohexane		9
117-81-7	Di(2-ethylhexyl) phthalate	✓	3, 9, 10
53-70-3	Dibenz(a,h)anthracene		3, 9
84-74-2	Dibutyl phthalate		3, 9, 10
75-09-2	Dichloromethane		9, 10
60-57-1	Dieldrin		9
84-66-2	Diethyl phthalate		9
117-84-0	Diethyl phthalate		9, 10
122-39-4	Diphenylamine		3, 9
959-98-8	Endosulfan I		3, 9
33213-65-9	Endosulfan II		3, 9
7421-93-4	Endrin aldehyde		3, 9
Table continued on next page			
241			

Tabel I.1.(vervolg) Samenstelling Flowback water en relatie met fracking vloeistof

*Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing
on Drinking Water Resources: Progress Report*

December 2012

Table continued from previous page

CASRN	Chemical Name	Also Listed in Table A 1	Reference
100-41-4	Ethylbenzene	✓	3, 9, 10
107-21-1	Ethylene glycol	✓	3, 9
206-44-0	Fluoranthene		3, 9
86-73-7	Fluorene		3, 9, 10
16984-48-8	Fluoride		3, 9, 10
64-18-6	Formic acid	✓	10
76-44-8	Heptachlor		3, 9
1024-57-3	Heptachlor epoxide		3, 9
111-14-8	Heptanoic acid		10
142-62-1	Hexanoic acid		10
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pyrene		3, 9
7439-89-6	Iron	✓	3, 9, 10
67-63-0	Isopropanol	✓	3, 9
7439-92-1	Lead	✓	3, 9, 10
58-89-9	Lindane		3, 9
7439-93-2	Lithium		3, 9, 10
7439-95-4	Magnesium		3, 9, 10
7439-96-5	Manganese		3, 9, 10
7439-97-6	Mercury		3, 9, 10
67-56-1	Methanol	✓	3, 9
74-83-9	Methyl bromide		3, 9
78-93-3	Methyl ethyl ketone		3, 9, 10
7439-98-7	Molybdenum		3, 9, 10
91-20-3	Naphthalene	✓	3, 9, 10
7440-02-0	Nickel		3, 9, 10
86-30-6	N-Nitrosodiphenylamine		3, 9
72-55-9	p,p'-DDE		3, 9
99-87-6	p-Cymene		9, 10
109-52-4	Pentanoic acid		10
85-01-8	Phenanthrene	✓	3, 9, 10
108-95-2	Phenol	✓	3, 9, 10
298-02-2	Phorate		9
7723-14-0	Phosphorus		3, 9
7440-09-7	Potassium		3, 9, 10
79-09-4	Propionic acid		10
103-65-1	Propylbenzene		9
129-00-0	Pyrene		9, 10
110-86-1	Pyridine		3, 9, 10

Table continued on next page

Tabel I.1.(vervolg) Samenstelling Flowback water en relatie met fracking vloeistof

*Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing
on Drinking Water Resources: Progress Report*

December 2012

Table continued from previous page

CASRN	Chemical Name	Also Listed in Table A 1	Reference
13982-63-3	Radium 226		3, 10
7440-14-4	Radium 226,228		3
15262-20-1	Radium 228		3, 10
94-59-7	Safrole		3, 9
135-98-8	sec-Butylbenzene		9
7782-49-2	Selenium		3, 9, 10
7631-86-9	Silica	✓	10
7440-21-3	Silicon (elemental)		10
7440-22-4	Silver		3, 9, 10
7440-23-5	Sodium		3, 9, 10
7440-24-6	Strontium		3, 9, 10
14808-79-8	Sulfate	✓	3, 9, 10
14265-45-3	Sulfite		3
127-18-4	Tetrachloroethylene		3, 9
7440-28-0	Thallium and Compounds		3, 9, 10
7440-31-5	Tin		9, 10
7440-32-6	Titanium		3, 9, 10
108-88-3	Toluene	✓	3, 9, 10
7440-62-2	Vanadium		3, 10
1330-20-7	Xylenes	✓	3, 9, 10
7440-66-6	Zinc	✓	3, 9, 10
7440-67-7	Zirconium		3

BIJLAGE II SAMENSTELLING EN GEHALTEN FLOWBACKWATER

II.1. Samenstelling en gehalten flowbackwater

In New York State DEC [ref. 5.] zijn tabellen opgenomen van de kwaliteit van flowback water. Zoals aangegeven bevat flowback water zowel karakteristieken van de toegepast additieven in de fracking vloeistof als kenmerken van het formatiewater in het schaliegesteente, inclusief uit het gesteente gemobiliseerde stoffen. De tabellen betreffende de kwaliteit van het flowback zijn navolgend opgenomen (tabel II.1 en tabel II.2).

Tabel II.1. Kwaliteit flowback water [ref. 5.]

Table 5.10 - Typical concentrations of flowback constituents based on limited samples from PA and WV, and regulated in NY^{104,105} (Revised July 2011)

CAS #	Parameter Name	Total Number of Samples	Number of Detects	Min	Median	Max	Units
00067-64-1	Acetone	3	1	681	681	681	µg/L
	Acidity, Total	4	4	101	240	874	mg/L
	Alkalinity ¹⁰⁶	155	155	0	153	384	mg/L
	Alkalinity, Carbonate, as CaCO ₃	164	163	0	9485	48336	mg/L
	Total Alkalinity	5	5	28	91	94	mg/L
07439-90-5	Aluminum	43	12	0.02	0.07	1.2	mg/L
	Aluminum, Dissolved	22	1	1.37	1.37	1.37	mg/L
07440-36-0	Antimony	34	1	0.26	0.26	0.26	mg/L
07664-41-7	Aqueous ammonia	48	45	11.3	44.8	382	mg/L
07440-38-2	Arsenic	43	7	0.015	0.09	0.123	mg/L
07440-39-3	Barium	48	47	0.553	1450	15700	mg/L
	Barium, Dissolved	22	22	0.313	212	19200	mg/L
00071-43-2	Benzene	35	14	15.7	479.5	1950	µg/L
07440-41-7	Beryllium	43	1	422	422	422	mg/L
	Bicarbonates	150	150	0	183	1708	mg/L
	Biochemical Oxygen Demand	38	37	3	200	4450	mg/L
00117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	20	2	10.3	15.9	21.5	µg/L
07440-42-8	Boron	23	9	0.539	2.06	26.8	mg/L
24959-67-9	Bromide	15	15	11.3	607	3070	mg/L
00075-25-2	Bromoform	26	2	34.8	36.65	38.5	µg/L
07440-43-9	Cadmium	43	6	0.007	0.025	1.2	mg/L
	Cadmium, Dissolved	22	2	0.017	0.026	0.035	mg/L
07440-70-2	Calcium	187	186	29.9	4241	123000	mg/L
	Calcium, Dissolved	3	3	2360	22300	31500	mg/L
	Cesium ¹⁰⁷	16	2	9.9	10.2	10.5	pCi/L
	Chemical Oxygen Demand	38	38	223	5645	33300	mg/L
	Chloride	193	193	287	56900	228000	mg/L
00124-48-1	Chlorodibromomethane	26	2	3.28	3.67	4.06	µg/L
07440-47-3	Chromium	43	9	0.009	0.082	760	mg/L
	Chromium (VI), dissolved	19	10	0.0126	0.539	7.81	mg/L

¹⁰⁴ Table 5.9 was provided by URS Corporation (based on data submitted to the Department) with the following note: Information presented is based on limited data from Pennsylvania and West Virginia. Characteristics of flowback from the Marcellus Shale in New York are expected to be similar to flowback from Pennsylvania and West Virginia, but not identical. In addition, the raw data for these tables came from several sources, with likely varying degrees of reliability. Also, the analytical methods used were not all the same for given parameters. Sometimes laboratories need to use different analytical methods depending on the consistency and quality of the sample; sometimes the laboratories are only required to provide a certain level of accuracy. Therefore, the method detection limits may be different. The quality and composition of flowback from a single well can also change within a few days soon after the well is fractured. This data does not control for any of these variables. Additionally, it should be noted that several of these compounds could be traced back to potential laboratory contamination. Further comparisons of analytical results with those results from associated laboratory method blanks may be required to further assess the extent of actual concentrations found in field samples versus elevated concentrations found in field samples due to blank contamination.

¹⁰⁵ This table does not include results from the Marcellus Shale Coalition Study.

¹⁰⁶ Different data sources reported alkalinity in different and valid forms. Total alkalinity reported here is smaller than carbonate alkalinity because the data came from different sources.

¹⁰⁷ Regulated under beta particles [19].

Tabel II.1. (vervolg) Kwaliteit flowback water [ref. 5.]

CAS #	Parameter Name	Total Number of Samples	Number of Detects	Min	Median	Max	Units
	Chromium, Dissolved	22	2	0.058	0.075	0.092	mg/L
07440-48-4	Cobalt	30	6	0.03	0.3975	0.62	mg/L
	Cobalt, dissolved	19	1	0.489	0.489	0.489	mg/L
	Coliform, Total	5	2	1	42	83	Col/100mL
	Color	3	3	200	1000	1250	PCU
07440-50-8	Copper	43	8	0.01	0.0245	0.157	mg/L
00057-12-5	Cyanide	7	2	0.006	0.0125	0.019	mg/L
00075-27-4	Dichlorobromomethane	29	1	2.24	2.24	2.24	µg/L
00100-41-4	Ethyl Benzene	38	14	3.3	53.6	164	µg/L
16984-48-8	Fluoride	4	2	5.23	392.615	780	mg/L
	Heterotrophic plate count	5	3	25	50	565	CFU/mL
07439-89-6	Iron	193	168	0	29.2	810	mg/L
	Iron, Dissolved	34	26	6.75	63.25	196	mg/L
07439-92-1	Lead	43	6	0.008	0.035	27.4	mg/L
	Lithium	13	13	34.4	90.4	297	mg/L
	Lithium, Dissolved	4	4	24.5	61.35	144	mg/L
07439-95-4	Magnesium	193	180	9	177	3190	mg/L
	Magnesium, Dissolved	3	3	218	2170	3160	mg/L
	Mg as CaCO ₃	145	145	36	547	8208	mg/L
07439-96-5	Manganese	43	29	0.15	1.89	97.6	mg/L
	Manganese, Dissolved	22	12	0.401	2.975	18	mg/L
07439-97-6	Mercury	30	2	0.0006	0.295	0.59	mg/L
00074-83-9	Methyl Bromide	26	1	2.04	2.04	2.04	µg/L
00074-87-3	Methyl Chloride	26	1	15.6	15.6	15.6	µg/L
07439-98-7	Molybdenum	34	12	0.16	0.44	1.08	mg/L
00091-20-3	Naphthalene	23	1	11.3	11.3	11.3	µg/L
07440-02-0	Nickel	43	15	0.01	0.03	0.137	mg/L
	Nickel, Dissolved	22	2	0.03	0.0715	0.113	mg/L
	Nitrate, as N	1	1	0.025	0.025	0.025	mg/L
	Nitrogen, Total as N	1	1	13.4	13.4	13.4	mg/L
	Oil and Grease	39	9	5	17	1470	mg/L
	Petroleum hydrocarbons	1	1	0.21	0.21	0.21	mg/L
	pH	191	191	0	6.6	8.58	S.U.
00108-95-2	Phenol	20	1	459	459	459	µg/L
	Phenols	35	5	0.05	0.191	0.44	mg/L
57723-14-0	Phosphorus, as P	3	3	0.89	1.85	4.46	mg/L
07440-09-7	Potassium	33	17	15.5	125	7810	mg/L
	Potassium, Dissolved	3	3	84.2	327	7080	mg/L
	Scale Inhibitor	145	145	315	744	1346	mg/L
07782-49-2	Selenium	34	1	0.058	0.058	0.058	mg/L
	Selenium, Dissolved	22	1	1.06	1.06	1.06	mg/L
07440-22-4	Silver	43	3	0.129	0.204	6.3	mg/L
	Silver, Dissolved	22	2	0.056	0.0825	0.109	mg/L
07440-23-5	Sodium	42	41	83.1	23500	96700	mg/L
	Sodium, Dissolved	3	3	9290	54800	77400	mg/L
07440-24-6	Strontium	36	36	0.501	1115	5841	mg/L
	Strontium, Dissolved	22	21	8.47	629	7290	mg/L
14808-79-8	Sulfate (as SO ₄)	193	169	0	1	1270	mg/L
	Sulfide (as S)	8	1	29.5	29.5	29.5	mg/L
14265-45-3	Sulfite (as SO ₃)	3	3	2.56	64	64	mg/L
	Surfactants ¹⁰⁸	12	12	0.1	0.21	0.61	mg/L

¹⁰⁸ Regulated under foaming agents.

Tabel II.1. (vervolg) Kwaliteit flowback water [ref. 5.]

CAS #	Parameter Name	Total Number of Samples	Number of Detects	Min	Median	Max	Units
00127-18-4	Tetrachloroethylene	26	1	5.01	5.01	5.01	µg/L
07440-28-0	Thallium	34	2	0.1	0.18	0.26	mg/L
07440-32-6	Titanium	25	1	0.06	0.06	0.06	mg/L
00108-88-3	Toluene	38	15	2.3	833	3190	µg/L
	Total Dissolved Solids	193	193	1530	63800	337000	mg/L
07440-62-2	Vanadium	24	1	40.4	40.4	40.4	mg/L
	Total Kjeldahl Nitrogen	25	25	37.5	122	585	mg/L
	Total Organic Carbon ¹⁰⁹	28	23	69.2	449	1080	mg/L
	Total Suspended Solids	43	43	16	129	2080	mg/L
	Xylenes	38	15	15.3	444	2670	µg/L
07440-66-6	Zinc	43	18	0.011	0.036	8570	mg/L
	Zinc, Dissolved	22	1	0.07	0.07	0.07	mg/L
	Fluid Density	145	145	8.39004	8.7	9.2	lb/gal
	Hardness by Calculation	170	170	203	11354	98000	mg CaCO ₃ /L
	Salt %	145	145	0.9	5.8	13.9	%
	Specific Conductivity	15	15	1030	110000	165000	µmhos/cm
	Specific Gravity	150	154	0	1.04	1.201	
	Temperature	31	31	0	15.3	32	°C
	Temperature	145	145	24.9	68	76.1	°F

Table 5.11 - Typical concentrations of flowback constituents based on limited samples from PA and WV, not regulated in NY ¹¹⁰ (Revised July 2011)

Parameter Name	Total Number of Samples	Detects	Min	Median	Max	Units
Barium Strontium P.S.	145	145	17	1320	6400	mg/L
Carbon Dioxide	5	5	193	232	294	mg/L
Zirconium	19	1	0.054	0.054	0.054	mg/L

¹⁰⁹ Regulated via BOD, COD and the different classes/compounds of organic carbon.

¹¹⁰ Table 5-10.

Tabel II.2. (vervolg) Kwaliteit flowback water, concentraties natuurlijk voorkomend radioactief materiaal (N.O.R.M) [ref. 5.]

Table 5.24 - Concentrations of NORM constituents based on limited samples from PA and WV (Revised July 2011)							
CAS #	Parameter Name	Total Number of Samples	Number of Detects	Min	Median	Max	Units
—	Gross Alpha	15	15	22.41	—	18,950	pCi/L
—	Gross Beta	15	15	62	—	7,445	pCi/L
7440-14-4	Total Alpha Radium	6	6	3.8	—	1,810	pCi/L
7440-14-4	Radium-226	3	3	2.58	—	33	pCi/L
7440-14-4	Radium-228	3	3	1.15	—	18.41	pCi/L



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.6
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/210
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.3.6	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Afbakening	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Teruggeproduceerd water	3
2.2. Deelvraag 2: Radioactieve stoffen	6
2.3. Deelvraag 3: Gevolgen voor het watersysteem	6
2.4. Deelvraag 4: Hergebruik of lozing	6
3. CONCLUSIES	8
3.1. Deelvraag 1: Teruggeproduceerd water	8
3.2. Deelvraag 2: Radioactieve stoffen	8
3.3. Deelvraag 3: Gevolgen voor het watersysteem	8
3.4. Deelvraag 4: Hergebruik of lozing	9
4. REFERENTIES	10

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.3.6

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

- Hoeveel water wordt er na een frac-job teruggeproduceerd en wat is hiervan de samenstelling?
- Kunnen radioactieve stoffen in het retourwater aanwezig zijn? Zo ja, hoe wordt veiligheid gewaarborgd?
- Wat is het gevolg van die samenstelling op het watersysteem (grondwater, drinkwater) en het milieu? Zijn er maatregelen/processen om dit water geschikt te maken voor hergebruik of lozing op het watersysteem, of dient/ kan het elders (ondergronds?) worden geloosd?

1.2. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen.

Deelvraag 1: Teruggeproduceerd water

Hoeveel water wordt er na een frac-job teruggeproduceerd en wat is hiervan de samenstelling?

Deelvraag 2: Radioactieve stoffen

Kunnen radioactieve stoffen in het retourwater aanwezig zijn? Zo ja, hoe wordt veiligheid gewaarborgd?

Deelvraag 3: Gevolgen voor het watersysteem

Wat is het gevolg van die samenstelling op het watersysteem (grondwater, drinkwater) en het milieu?

Deelvraag 4: Hergebruik of lozing

Zijn er maatregelen/processen om dit water geschikt te maken voor hergebruik of lozing op het watersysteem, of dient/ kan het elders (ondergronds?) worden geloosd?

1.3. Afbakening

Zoals bij meerdere deelvragen het geval is, zullen deze vragen beantwoord worden aan de hand van voornamelijk uit het buitenland afkomstige literatuurbronnen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de conclusies hieruit niet per definitie van toepassing zijn op de situatie in Nederland.

Wanneer het bijvoorbeeld gaat om de stoffen die in het buitenland in retourwater aangetroffen zijn als gevolg van reactie van de frac-vloeistof met de ondergrond, kan dit in de Nederlandse situatie volledig anders zijn vanwege afwijkende samenstelling van de formatie. Om hierover zekerheid te verkrijgen, zal nader onderzoek nodig zijn.

1.4. Aanpak

Deze vraag is beantwoord op basis een studie van beschikbare wetenschappelijke publicaties, aangevuld met 'expert judgement'.

Daar waar van expert judgement sprake is, zal dit expliciet worden aangegeven.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Teruggeproduceerd water

Hoeveel water wordt er na een frac job teruggeproduceerd en wat is hiervan de samenstelling?

Na een frac-job wordt frac-vloeistof teruggeproduceerd. Schattingen lopen uiteen, maar gemiddeld genomen komt zo'n 15-35 % terug (men moet hier een onderscheid maken tussen onmiddellijk terugproduceren -15-35%- wanneer de frac zich sluit en daarna, tot ongeveer de helft, zie ook B.1.1.1) [ref. 1.]. Afhankelijk van de grootte van de frac-job (fracture lengte en diameter) kan het volume dat terugkomt wel 1.000 m³ bedragen. Dit zal geaccommodeerd moeten worden en hergebruikt of afgevoerd voor afvalverwerking (zie paragraaf 2.4). Naarmate de tijd voortschrijdt zal er minder vloeistof worden geproduceerd, omdat de hoeveelheid frac-vloeistof naar nul gaat en datgene dat in de schalie aanwezig is ter plekke zal blijven: gebonden aan het gesteente (residuale water saturatie) [ref. 2.].

Het terugstromend afvalwater (flowback water) bestaat hoofdzakelijk uit frac-vloeistof met toegevoegde chemicaliën en proppanten (bij de beantwoording van deelvraag 3.4 wordt verder ingegaan op de samenstelling van de frac-vloeistof.) Daarnaast kan hydraulische fracturing invloed hebben op de mobiliteit van stoffen die aanwezig zijn in de schalielagen [ref. 3.]. Door reacties van het gesteente met chemische additieven in de frac-vloeistof kunnen stoffen vrijkomen vanuit de schalieformatie [ref. 3.]. Deze stoffen komen dan eveneens in het flowback water terecht.

In Nederland zijn - voor zover bekend - nog geen proefboringen uitgevoerd waarbij de kwaliteit van het flowback water is geanalyseerd [ref. 4.]. Bij schaliegaswinning in Duitsland en de Verenigde Staten zijn er metingen verricht aan het flowback water en zijn er gegevens beschikbaar.

Kwaliteit flowback water schaliewinning Duitsland

Vanuit Duitsland (Neder Saksen) is beperkt informatie aanwezig met betrekking tot de kwaliteit van flowback water [ref. 4.]. Het gaat hierbij om schaliegasbron 'Damme 3' en koolbedmethaan bron 'Cappeln'. Uit metingen van het flowback water blijkt een zeer hoog zoutgehalte (circa 3 keer dat van zeewater). Het extreem hoge ijzergehalte (gemiddeld 370 mg/l bij 'Cappeln') duidt op diep anoxisch water (in het formatiewater, in ongestoorde omstandigheden). Uit de metingen blijkt tevens een hoog gehalte (milligrammen per liter) lood, chroom, nikkel en zink in het flowback water.

Kwaliteit afvalwater hydraulische fracturing in de Verenigde Staten

In onderzoek van New York State DEC (Department of Energy and Conservation) is een lijst opgenomen van stoffen die in flowback water zijn aangetroffen [ref. 5.]. Tevens is aangegeven of de aangetroffen stoffen zijn gebruikt als additieven bij het toepassen van hydraulische fracturing. Stoffen die niet zijn toegevoegd tijdens hydraulische fracturing, maar wel zijn aangetroffen in flowback water, zijn stoffen die van nature voorkomen in de schalielagen, hetzij in het formatiewater, hetzij in het gesteente, waarbij deze stoffen gemobiliseerd zijn door de frac-vloeistof (water, zand en additieven). Op basis hiervan kan gesteld worden dat ondermeer de volgende stoffen van nature voorkomen in schaliegesteente: zout, sporenelementen (kwik, lood, arseen), radioactief materiaal (NORM: Naturally Occurring Radioactive Material) als radium en uranium en organische verbindingen.

Het US EPA (Environmental Protection Agency) voert een studie uit naar de mogelijke gevolgen van hydraulische fracturing op grondwater, dat wordt ingezet voor drinkwaterproductie.

In dit rapport is een lijst opgenomen met stoffen, aangetroffen in additieven van de fracvloeistof [ref. 3.] en in het terugstromend (flowback) water [ref. 3.].

Stoffen die niet als additieven worden gebruikt, maar wel in het terugstromend water worden aangetroffen, zijn afkomstig uit het schaliegesteente. Dit betreft onder meer zware metalen, radioactief materiaal en verschillende organische en anorganische verbindingen.

In de VS is onderzoek verricht naar het voorkomen van stoffen in afvalwater dat vrijkomt bij winning van zowel conventioneel als onconventioneel gas [ref. 6.]. In tabel 2.1 zijn de resultaten samengevat voor afvalwater dat vrijkomt bij de winning van schaliegas (SGPW: Shale Gas Produced Water).

Tabel 2.1. Stoffen in afvalwater schaliegaswinning. Overgenomen uit [ref. 6.]

Constituents	SGPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	1.21	8.36
Alkalinity	160	188
Nitrate	nd	2670
Phosphate	nd	5.3
Sulfate	nd	3663
Ra ²²⁶ (pCi/g)	0.65	1.031
HCO ₃	nd	4000
Al	nd	5290
B	0.12	24
Ba	nd	4370
Br	nd	10600
Ca	0.65	83950
Cl	48.9	212700
Cu	nd	15
F	nd	33
Fe	nd	2838
K	0.21	5490
Li	nd	611
Mg	1.08	25340
Mn	nd	96.5
Na	10.04	204302
Sr	0.03	1310
Zn	nd	20

In tabel 2.2 is dit aangegeven voor afvalwater dat vrijkomt bij gaswinning uit koollagen. (CBMPW: Coalbed Methane Produced Water).

Tabel 2.2. Stoffen in afvalwater winning gas uit kolenlagen. Overgenomen uit [ref. 6.]

Constituents	CBMPW (mg L ⁻¹)*	
	Min	Max
pH	6.56	9.87
Conductivity (μS/cm)	94.8	145000
Alkalinity	54.9	9450
Nitrate	0.002	18.7
Phosphate	0.05	1.5
Sulfate	0.01	5590
U	0.002	0.012
Al	0.5	5290
Ammonium-N	1.05	59
As	0.0001	0.06
B	0.002	2.4
Ba	0.01	190
Br	0.002	300
Ca	0.8	5870
Cd	0.0001	0.01
Cl	0.7	70100
Cr	0.001	0.053
Cu	nd	0.06
F	0.05	15.22
Fe	0.002	220
Hg	0.0001	0.0004
K	0.3	186
Li	0.0002	6.88
Mg	0.2	1830
Mn	0.002	5.4
Na	8.8	34100
Ni	0.0003	0.20
Sr	0.032	565
Zn	0.00002	0.59

Het KWR Watercycle Research Institute heeft Amerikaanse gegevens met betrekking tot flowback water geanalyseerd [ref. 4.]. Hieruit blijkt dat het flowback water een vergelijkbare zoutconcentratie en redoxstatus (fysische toestand van het opgeloste ion) heeft als bij de Duitse metingen. De pH (zuurgraad) blijkt in de beschouwde gegevens zeer variabel (pH 1 tot 8), wat waarschijnlijk te maken heeft met de mate van zuurdosering in de frac-vloeistof, maar waarschijnlijker met de zuurgraad van de waterfase in de schalie.

Het flowback water bevat hoge tot zeer hoge gehalten BTEX (benzeen, toluen, ethyl benzeen en xyleen) en verschillende trihalomethanen en -ethanen. Opvallend zijn verder de hoge gehalten halogenen fluoride en bromide. Ook sporenelementen van zware metalen (chrom, molybdeen, kobalt, barium, zilver, en arseen) komen in het flowback water voor. De aanwezigheid van al deze chemische elementen en verbindingen hangt nauw samen met de geologisch herkomst. Het hoge zoutgehalte zou door middel van verdunning op het gewenste niveau gebracht kunnen worden. Deze praktijk is op grote schaal toegepast bij de zoutwinning door middel van het oplossen van zout uit ondergrondse lagen, bijvoorbeeld het Barradeel.

Ervaring met productiewater uit 'normale' gasvelden laat zien dat daar het meeste water wordt geproduceerd als gevolg van condensatie van waterdamp uit de gasfase. Dit condensatiewater heeft bijna dezelfde samenstelling als gedestilleerd water (geen opgeloste zouten) [expert judgement].

2.2. Deelvraag 2: Radioactieve stoffen

Kunnen radioactieve stoffen in het retourwater aanwezig zijn? Zo ja, hoe wordt veiligheid gewaarborgd?

De interactie met het gesteente in de gefracte put is normaliter klein (ontwerp) en de terug geproduceerde vloeistof bestaat grotendeels uit de fracture vloeistof [ref. 2, 7.]. Tabel 2.1 laat echter zien dat er ondermeer het licht radioactieve Radium-226 kan vrijkomen en verschillende zware metalen en sporenelementen.

Zoals gezegd hoeft dit niet per definitie het geval te zijn voor de situatie in Nederland. Om hierover zekerheid te krijgen zal gemeten moeten worden in de vloeistofmonsters genomen van de terugg geproduceerde frac-vloeistof bij frac-jobs in Nederland. De veiligheid hierbij kan worden gewaarborgd door het nemen van voorzorgsmaatregelen, passend bij de behandeling van mogelijke NORM¹. Grotere veiligheidsmaatregelen zullen genomen moeten worden indien accumulatie van NORM plaatsvindt. Deze situatie wordt overigens niet verwacht, omdat hier sprake is van geproduceerde vloeistof (expert judgement).

2.3. Deelvraag 3: Gevolgen voor het watersysteem

Wat is het gevolg van die samenstelling op het watersysteem (grondwater, drinkwater) en het milieu?

Het productiesysteem is in principe gescheiden van het omliggende gesteente door middel van de 'casing' die het oorspronkelijke boorgat afsluit van het gesteente. Dit betekent dat er tijdens het fraccen geen vermenging kan plaats vinden tussen hetgeen wordt geproduceerd en drinkwater/grondwater, tenzij het fracturing proces niet onder controle is en de fracture doorloopt in de drinkwaterlagen. Omdat in Nederland de schalie lagen aanmerkelijk dieper liggen dan de drinkwaterlagen, is het risico van contact vrijwel uit te sluiten. Bovendien is via het aangelegde productie systeem bij een kwalitatief goed aangelegde casing geen contact mogelijk tussen deze twee gesteentelagen (expert judgement).

Zoals ook bij andere deelvragen van het onderzoek aan de orde komt, is het doorleken van materiaal dat bij een frac-job vrij komt in Nederland zeer onwaarschijnlijk gezien het ontbreken van opwaartse poriëndruk en de grote afstand tot het grondwater. Hierbij dient natuurlijk wel in ogenschouw genomen te worden dat de opvang van het retourwater op een zorgvuldige wijze plaatsvindt [expert judgement].

2.4. Deelvraag 4: Hergebruik of lozing

Zijn er maatregelen/processen om dit water geschikt te maken voor hergebruik of lozing op het watersysteem, of dient/ kan het elders (ondergronds?) worden geloosd?

Frac-vloeistof kan hergebruikt worden als er een volgende frac-job voorhanden is en aan de technische specificaties ten behoeve van de frac-vloeistof, inclusief chemicaliën en proppanten, kan worden voldaan [ref. 6.]. Doorgaans wordt een belangrijk gedeelte van het water hergebruikt, zodat voor een totale fraccing serie een volume in de orde grootte van 15.000 m³ wordt verbruikt en uiteindelijk na de laatste frac een volume van enkele duizenden m³ vervuild water overblijft. Dit water wordt opgevangen in grote tanks waarvan er op de boorlocatie een serie staan opgesteld.

¹ NORM is een afkorting van: Naturally Occurring Radioactive Materials, oftewel: natuurlijk voorkomende radioactieve materialen.

Tenslotte wordt dit restwater of naar een volgende boorlocatie vervoerd of afgevoerd naar een verwerkingsinstallatie om te worden gereinigd. Omdat de boorlocaties meestal in groepen bij elkaar staan in verband met beperking van het grondverbruik is het vervoer van gebruikt water zeer beperkt. Afhandeling zal op dezelfde wijze geschieden als nu geschiedt voor vloeistoffen regulier geproduceerd van olie- en gasreservoirs [ref. 8, 9, 10.]. Indien lozing op het nabij gelegen oppervlakte water noodzakelijk mocht zijn, dan zal de kwaliteit van het te lozen water zodanig moeten zijn dat geen schadelijke effecten op het oppervlakte water zijn te voorzien (wettelijke normen voor lozing van productie water op oppervlakte water). Analyse van watermonsters zal hiervoor uitsluitel moeten bieden.

Een van de mogelijkheden is om de in het water opgeloste zware metalen door middel van een flocculatieproces neer te laten slaan en fysiek af te vangen (bezinken onder invloed van de zwaartekracht of afvangen door middel van filtratie (zie beantwoording van deelvraag B.1.1.4)). Op deze manier zal een geconcentreerde vorm van afvalmateriaal ontstaan dat verder behandeld dient te worden in overeenstemming met de voorschriften voor het opslaan/vervoer van natuurlijk radioactief materiaal (NORM, zie vorige paragraaf).

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Teruggeproduceerd water

Hoeveel water wordt er na een frac-job teruggeproduceerd en wat is hiervan de samenstelling?

Schattingen lopen uiteen, maar gemiddeld genomen komt zo'n 15-35 % van de frac-vloeistof terug (flowback, waarbij een onderscheid moet worden gemaakt tussen onmiddellijk terugproduceren -15-35 %- wanneer de frac zich sluit en daarna, tot ongeveer de helft, zie ook B.1.1.1). Afhankelijk van de grootte van de frac-job (fracture lengte en diameter) kan het volume dat terugkomt wel 1.000 m³ bedragen. Naarmate de tijd voortschrijdt zal er minder vloeistof worden geproduceerd.

Het terugstromend afvalwater (flowback water) bestaat hoofdzakelijk uit frac-vloeistof met toegevoegde chemicaliën en proppanten. Daarnaast kan hydraulische fracturing invloed hebben op de mobiliteit van stoffen die aanwezig zijn in de schalielagen. Door reacties van het gesteente met chemische additieven in de frac-vloeistof kunnen stoffen vrijkomen vanuit de schalieformatie. Deze stoffen komen dan eveneens in het flowback water terecht.

In Nederland zijn voor zover bekend nog geen proefboringen uitgevoerd waarbij de kwaliteit van het flowback water is geanalyseerd. Bij schaliegaswinning in Duitsland en de Verenigde Staten zijn metingen verricht aan het flowback water. De stoffen die niet als additieven zijn gebruikt maar wel in het terugstromend water worden aangetroffen, zijn afkomstig uit het schaliegesteente. Dit betreft onder meer sporenelementen van zware metalen, radioactief materiaal en verschillende organische en anorganische verbindingen. De resultaten uit het onderzoek in Duitsland en de Verenigde Staten kunnen zonder nader onderzoek niet als representatief voor de Nederlandse situatie worden beschouwd. Het hoge zoutgehalte zou door middel van verdunning op het gewenste niveau gebracht kunnen worden.

Ervaring met productiewater uit 'normale' gasvelden laat zien dat daar het meeste water wordt geproduceerd als gevolg van condensatie van waterdamp uit de gasfase.

3.2. Deelvraag 2: Radioactieve stoffen

Kunnen radioactieve stoffen in het retourwater aanwezig zijn? Zo ja, hoe wordt veiligheid gewaarborgd?

Meetresultaten in Duitsland en de Verenigde Staten laten zien dat er ondermeer het licht radioactieve Radium-226 kan vrijkomen evenals verschillende zware metalen en sporenelementen. Zoals gezegd hoeft dit niet per definitie het geval te zijn voor de situatie in Nederland. Om hierover zekerheid te krijgen zal gemeten moeten worden in de vloeistofmonsters genomen van de teruggeproduceerde frac-vloeistof bij frac-jobs in Nederland.

De veiligheid hierbij kan tot op zekere hoogte worden gewaarborgd door het nemen van voorzorgsmaatregelen, passend bij de behandeling van mogelijk radioactief materiaal.

3.3. Deelvraag 3: Gevolgen voor het watersysteem

Wat is het gevolg van die samenstelling op het watersysteem (grondwater, drinkwater) en het milieu?

De 'casing' van de boorschacht zorgt ervoor dat tijdens het fraccen geen vermenging plaatsvinden met drinkwater/grondwater. Dit onder voorwaarde van adequate uitvoering van werkzaamheden inclusief monitoring.

Het doorlekken van materiaal dat bij een frac-job vrij komt is gezien het ontbreken van opwaartse poriëndruk en de grote afstand tot het grondwater in Nederland zeer onwaarschijnlijk. De opvang van retourwater dient dan wel op een zorgvuldige wijze plaats te vinden.

3.4. Deelvraag 4: Hergebruik of lozing

Zijn er maatregelen/processen om dit water geschikt te maken voor hergebruik of lozing op het watersysteem, of dient/ kan het elders (ondergronds?) worden geloosd?

Doorgaans wordt een belangrijk gedeelte van de frac-vloeistof hergebruikt, zodat voor een totale fraccing serie een volume in de orde grootte van 15.000 m³ wordt verbruikt en uiteindelijk na de laatste frac een volume van enkele duizenden m³ vervuild water overblijft. Dit water wordt opgevangen in grote tanks waarvan er op de boring een serie staan opgesteld.

Het restwater zal op dezelfde wijze worden verwerkt als nu geschiedt voor vloeistoffen regulier geproduceerd van olie- en gasreservoirs. Een van de mogelijkheden is om de in het water opgeloste zware metalen te laten bezinken onder invloed van de zwaartekracht of afvangen door middel van filtratie. Op deze manier zal een geconcentreerde vorm van afvalmateriaal ontstaan dat verder behandeld dient te worden in overeenstemming met de voorschriften voor het opslaan/vervoer van natuurlijk radioactief materiaal (NORM).

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] M.J. Economides, K.G. Nolte, 'Reservoir Stimulation', Third Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [ref. 2.] http://www.spe.org/ogf/print/archives/2012/02/02_12_10_Feat_Water_Hydraulic.pdf.
- [ref. 3.] US Environmental Protection Agency, 'Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. PROGRESS REPORT', 2012, EPA/601/R-12/011, tabel A.1, A.3.
- [ref. 4.] KWR Watercycle Research Institute 'REACH als kader voor het beoordelen van drinkwater risico's bij hydraulic Fracturing', 2012; BTO 2012.235(s).
- [ref. 5.] New York State Department of Environmental Conservation, 'Regulatory Program, Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs', Revised Draft, 2011, tabel 6.1.
- [ref. 6.] B. Alley, A. Beebe, J. Rodgers, J.W. Castle, 'Chemical and physical characterization of produced waters from conventional and unconventional resources', Chemosphere, September 2011, 85(1):74-82. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21680012>.
- [ref. 7.] <http://lingo.cast.uark.edu/LINGOPUBLIC/envIRON/wellprep/index.htm>, 2007.
- [ref. 8.] D.V.S. Gupta and B.T.Hlidek, 'Frac Fluid Recycling and Water Conservation: A Case History', BJ Service, SPE 119478, 2010.
- [ref. 9.] L. Shafer, 'Water Recycling and Purification in the Pinedale Anticline Field: Results from the Anticline Disposal Project', Integrity Production Services, SPE 141448, 2011.
- [ref. 10.] M. Bruff, A. Sinisha, Jikich, 'Laboratory Field Demonstration of an Integrated Water Treatment Technology Solution in Marcellus Shale', SPE, U.S. Department of Energy/National Energy Technology, PE Eastern Regional Meeting, Columbus, Ohio, 17-19 August 2011, DOI: 149466-MS.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.7
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/211
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.3.7	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Achterblijvende stoffen	3
2.2. Deelvraag 2: Effecten op lange termijn	3
2.3. Deelvraag 3: Gedrag bij hoge temperatuur en druk	3
3. CONCLUSIES	5
3.1. Deelvraag 1: Achterblijvende stoffen	5
3.2. Deelvraag 2: Effecten op lange termijn	5
3.3. Deelvraag 3: Gedrag bij hoge temperatuur en druk	5
4. REFERENTIES	6

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.3.7

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

Geef aan welke stoffen en in welke hoeveelheden achterblijven in de diepe ondergrond en welke effecten zij mogelijk kunnen hebben op de lange termijn. Ga na hoe deze stoffen zich gedragen bij hoge temperatuur en druk.

1.2. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen.

Deelvraag 1: Achterblijvende stoffen

Welke stoffen blijven achter in de diepe ondergrond en in welke hoeveelheden?

Deelvraag 2: Effecten op lange termijn

Welke effecten kunnen de achterblijvende stoffen mogelijk hebben op de lange termijn?

Deelvraag 3: Gedrag bij hoge temperatuur en druk

Hoe gedragen deze stoffen zich bij hoge temperatuur en druk?

1.3. Aanpak

Deze vraag is beantwoord op basis een studie van beschikbare wetenschappelijke publicaties, aangevuld met 'expert judgement'.

Daar waar van expert judgement sprake is, zal dit expliciet worden aangegeven.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Achterblijvende stoffen

Welke stoffen blijven achter in de diepe ondergrond en in welke hoeveelheden?

Bij het fraccen worden mijnbouwhulpstoffen geadsorbeerd aan het gesteente aan de wanden van de veroorzaakte breukjes (fracture) [ref. 1.]. Deze adsorptie heeft als functie om een filterkoek te vormen die het verder binnendringen van fracvloeistof effectief tegengaat. Er is een zeker volume frac-vloeistof nodig om de breukjes te vullen. Bij het afdrukken van de druk zullen de breukjes slechts gedeeltelijk sluiten omdat proppant aanwezig is. Tussen de 15 en 35 % van de frac-vloeistof zal initieel worden teruggeproduceerd [ref. 2, 3.].

De mijnbouwhulpstoffen die achterblijven zijn vanzelfsprekend gerelateerd aan de samenstelling van de frac-vloeistof. De stoffen die achterblijven zijn polymeren die nodig zijn om:

- de frac-vloeistof de benodigde viscositeit te geven;
- ervoor te zorgen dat de vloeistofverliezen naar het gesteente zo klein mogelijk zijn;
- ervoor te zorgen dat de chemische interactie tussen de frac-vloeistof en het gesteente (bijvoorbeeld het oplossen van mineralen) zo klein mogelijk is;
- het mogelijk te maken dat, als de put wordt gecombineerd, de meeste hulpstoffen die initieel achterblijven alsnog worden verwijderd.

Ervan uitgaande dat 15-35 % van de vloeistof initieel wordt teruggeproduceerd, zal 85-65 % van de vloeistof in eerste instantie achterblijven. Als er maximaal 1 % polymeer in de frac-vloeistof is gebruikt, dan zal uiteindelijk een kleine hoeveelheid polymeer initieel achterblijven. Naast de polymeer zullen ook mijnbouwhulpstoffen die nodig zijn voor het optimaliseren van de frac-vloeistof, tijdelijk in de fracture achterblijven (bijvoorbeeld biociden, zie ook tabel 2.1 in deelrapport B.3.4). Naarmate meer gas wordt geproduceerd, zal het grootste deel van de hulpstoffen worden teruggeproduceerd (expert judgement). Deze hulpstoffen zullen aanwezig zijn in het na een frac-job teruggeproduceerde water (flow-back) samen met stoffen die van nature voorkomen in het formatiewater [ref. 4.].

2.2. Deelvraag 2: Effecten op lange termijn

Welke effecten kunnen de achterblijvende stoffen mogelijk hebben op de lange termijn?

Het ontwerp van de hydraulic frac-job is zodanig dat de hulpstoffen die oorspronkelijk in de frac-vloeistof aanwezig waren, op den duur bijna volledig worden teruggeproduceerd. Als zodanig vormen zij geen blokkade meer voor de productie van het schaliegas. De frac-vloeistof kan zodanig worden geoptimaliseerd dat de interactie met het gesteente minimaal zal zijn en er dus geen verdere effecten op het gesteente optreden (expert judgement).

De daadwerkelijke keuze van de hulpstoffen in de fracvloeistof is uiteindelijk bepalend in welke mate er van een langdurig effect op het gesteente sprake zal zijn. Is het ontwerp van de frac-job suboptimaal, dan kan het voorkomen dat er een significante chemische interactie ontstaat tussen de frac-vloeistof en het gesteente. Aangezien de verwachting is dat op den duur alle chemische stoffen worden teruggeproduceerd, zullen er naar verwachting geen lange termijn effecten op treden (expert judgement).

2.3. Deelvraag 3: Gedrag bij hoge temperatuur en druk

Hoe gedragen deze stoffen zich bij hoge temperatuur en druk?

Op den duur zal de filterkoek verdwijnen, hetzij door langzame afbraak van de hulpstoffen onder invloed van temperatuur en druk (bijvoorbeeld van polymeer, [ref. 1.]), hetzij door terugproductie met het gas. Afbreekbare producten zijn over het algemeen polymeren met een kortere ketenlengte. Deze reduceren de viscositeit van de fracvloeistof. Dit vereenvoudigt de terugproductie sterk.

Speciale toepassingen, zoals hoge temperatuur toepassing in geothermische putten, vragen om een nieuwe klasse van polymeren die stabiel is onder extreme druk en temperaturomstandigheden [ref. 5.]. De afbraakproducten van polymeren zijn verbindingen met kortere ketenlengtes. Deze polymeren met kortere ketenlengtes veroorzaken een verlaging van de viscositeit van de fracvloeistof wat de terugproductie vereenvoudigt.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Achterblijvende stoffen

Welke stoffen blijven achter in de diepe ondergrond en in welke hoeveelheden?

Naast de polymeren blijven ook andere mijnbouwhulpstoffen die nodig zijn voor het optimaliseren van de frac-vloeistof, tijdelijk in de fracture achter. Naarmate er meer gas wordt geproduceerd, zullen op den duur de meeste hulpstoffen worden teruggeproduceerd.

Deze hulpstoffen zullen aanwezig zijn in het na een frac-job teruggeproduceerde water (flowback), samen met stoffen die natuurlijk voorkomen in het formatiewater. Op de langere termijn zal er uitsluitend water worden geproduceerd waarvan de samenstelling gelijk is aan het oorspronkelijke formatiewater.

3.2. Deelvraag 2: Effecten op lange termijn

Welke effecten kunnen de achterblijvende stoffen mogelijk hebben op de lange termijn?

Het ontwerp van de hydraulic frac-job is zodanig dat mijnbouwhulpstoffen die oorspronkelijk zijn geïntroduceerd middels de frac-vloeistof, op den duur bijna volledig worden teruggeproduceerd en als zodanig geen blokkade meer vormen voor de productie van het schaliegas.

De frac-vloeistof kan zodanig worden geoptimaliseerd dat de interactie met het gesteente minimaal is en dat geen verdere effecten op het gesteente optreden. De daadwerkelijke keuze van de hulpstoffen in de frac-vloeistof is uiteindelijk bepalend in welke mate er van een langdurig effect op het gesteente sprake zal zijn.

De verwachting is dat door het afbraakproces het effect op lange termijn nagenoeg nihil zal zijn.

3.3. Deelvraag 3: Gedrag bij hoge temperatuur en druk

Hoe gedragen deze stoffen zich bij hoge temperatuur en druk?

Polymeren zullen doorgaans afbreken bij de heersende druk en temperatuur. De afgebroken polymeren zullen voor een verlaging van de viscositeit zorgen waardoor terugproductie van de frac-vloeistof sneller verloopt.

Speciale toepassingen (voor condities van hoge druk en temperatuur) vragen om een nieuwe klasse van polymeren die echter beperkter afbreekbaar zijn.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] A. Aderonke Aderibigbe and R.H. Lane, 'Rock/Fluid Chemistry Impacts on Shale Fracture Behavior', SPE, Texas A&M University, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Apr 08 - 10, 2013, SPE 164102-MS.
- [ref. 2.] M.J. Economides, K.G. Nolte, 'Reservoir Stimulation', Third Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [ref. 3.] C.E. Cohen, C. Abad, X. Weng, K. England, A. Phatak, O. Kresse, O. Neuvonen, V. Lafitte, P. Abivin, (Schlumberger) 'Optimum Fluid and Proppant Selection for Hydraulic Fracturing in Shale Gas Reservoirs: a Parametric Study Based on Fracturing-to-Production Simulations.', 2013 SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, The Woodlands, TX, USA, Feb 04 - 06, 2013, SPE 163876-MS.
- [ref. 4.] R. Gdanski, J. Weaver, and B. Slabaugh (Halliburton), 'A New Model for Matching Fracturing Fluid Flowback Composition', SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, College Station, Texas USA, 29-31 January 2007, SPE 106040-MS.
- [ref. 5.] E.U. Kulawardana, H. Koh, D.H. Kim, P.J. Liyanage, K.A.N. Upamali, C.Huh, U. Weerasooriya, and G.A. Pope, (SPE), 'Rheology and Transport of Improved EOR Polymers under Harsh Reservoirs'.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.8
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/212
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.3.8	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Afbakening	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Beleid voor affakkelen van aardgas in Nederland	3
2.2. Deelvraag 2: Praktijk affakkelen elders in de wereld	5
3. CONCLUSIES	10
3.1. Deelvraag 1: Beleid voor affakkelen van aardgas in Nederland	10
3.2. Deelvraag 2: Praktijk affakkelen elders in de wereld	10
4. REFERENTIES	11

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.3.8

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

Geef aan wat het beleid is ten aanzien van affakkelen. Hoe vaak wordt er gemiddeld afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld (uitgesplitst naar opsporings- en winningsfase)?

1.2. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen.

Deelvraag 1: Beleid voor affakkelen van aardgas in Nederland

Wat is het beleid ten aanzien van affakkelen?

Deelvraag 2: Praktijk affakkelen elders in de wereld

Hoe vaak wordt er gemiddeld afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld (uitgesplitst naar opsporings- en winningsfase)?

1.3. Afbakening

Gelet op de doelstelling van het onderzoek, het in kaart brengen van de mogelijke risico's en gevolgen van het opsporen en winnen van schaliegas en steenkoolgas in Nederland, is - wat de vraag naar het beleid betreft - alleen gekeken naar het affakkelen van aardgas bij de conventionele opsporing van koolwaterstoffen en de winning van aardgas in Nederland.

Bij de vraag hoe vaak er gemiddeld wordt afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld dient binnen de kaders van dit onderzoek te worden opgemerkt dat dit slechts een indicatie betreft. De hierover op dit moment beschikbare informatie is beperkt.

1.4. Aanpak

De vraag naar het beleid ten aanzien van affakkelen is beantwoord aan de hand van de op het affakkelen en emissies van toepassing zijnde wetgeving, de toelichting op deze wetgevingen en de antwoorden op vragen gesteld aan het Staatstoezicht op de Mijnen.

De vraag hoe vaak er gemiddeld wordt afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld is beantwoord aan de hand van de hierover op het internet beschikbare informatie.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Beleid voor affakkelen van aardgas in Nederland

Wat is het beleid ten aanzien van affakkelen?

Waarom affakkelen?

Bij de opsporing en winning van koolwaterstoffen wordt soms bewust en gecontroleerd aardgas verbrand (afgefakkeld).

De verbranding van aardgas veroorzaakt emissies van gassen. De samenstelling en hoeveelheden hiervan (voornamelijk CO₂) hangen af van de samenstelling van het geproduceerde en verbrande aardgas (veelal voornamelijk CH₄) en de gebruikte fakkel.

Opsporing

De Mijnbouwwet definieert de opsporing van koolwaterstoffen als het doen van een onderzoek naar de aanwezigheid van koolwaterstoffen in de ondergrond, dan wel naar nadere gegevens daaromtrent, met gebruikmaking van een boorgat [ref. 1.].

Op land wordt een boorgat aangelegd vanaf een speciaal voor dit doel ingericht terrein, het mijnbouwwerk. Bij aanvang van de aanleg van het boorgat is nog niet zeker of zich in de ondergrond koolwaterstoffen bevinden en, als dit zo is, of deze ook economisch winbaar zijn. De winbaarheid van de koolwaterstoffen hangt met name af van de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van het gesteente waarin zij zich bevinden. De economische winbaarheid van de koolwaterstoffen hangt niet alleen af van de permeabiliteit van het betreffende gesteente, maar ook van de hoeveelheid en samenstelling van de koolwaterstoffen en de verwachte kosten en opbrengsten van de winning.

De aanwezigheid van koolwaterstoffen in de ondergrond kan worden vastgesteld door het zetten van een boorgat. De winbaarheid van de koolwaterstoffen kan alleen worden vastgesteld door het uitvoeren van een zogenaamde productietest. Bij een productietest wordt de druk in het boorgat op gecontroleerde wijze zodanig verlaagd, dat de in de ondergrond aanwezige koolwaterstoffen het boorgat instromen. Metingen van de stroom koolwaterstoffen bij verschillende drukken verschaffen duidelijkheid over de winbaarheid van de koolwaterstoffen.

Tijdens de opsporingsfase is het mijnbouwwerk nog niet aangesloten op een pijpleidingennetwerk. Tijdens de productietest geproduceerde aardolie kan worden opgevangen, per tankwagen worden afgevoerd en verkocht. In deze fase geproduceerd aardgas daarentegen wordt direct verbrand (afgefakkeld).

Winning

Ook de winning van koolwaterstoffen vindt plaats vanaf een mijnbouwwerk. Dit betreft een terrein dat speciaal voor dit doel is ingericht en waar vandaan een of meerdere boorgaten, afgewerkt als productieputten, zijn aangelegd naar het gesteente waarin zich de betreffende koolwaterstoffen bevinden. Het mijnbouwwerk is aangesloten op het pijpleidingennetwerk en het geproduceerde aardgas kan worden afgevoerd en verkocht.

Affakkelen van aardgas tijdens de winningsfase kan noodzakelijk zijn in verband met de uitvoering van onderhoudswerkzaamheden waarvoor de winningsinstallatie drukvrij moet worden gemaakt¹.

Ook kan affakkelen nodig zijn om snel de druk in de winningsinstallatie te verlagen in het geval deze om welke reden dan ook oploopt. Met het oog op de vrijkomende gassen heeft affakkelen de voorkeur boven afblazen.

Voorschriften affakkelen

De voorschriften voor het affakkelen van aardgas vanaf een mijnbouwwerk op land staan in artikel 38 van het Mijnbouwbesluit, in de artikelen 19, 24 en 25 van het Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm') en in de wabo-milieu-vergunning². Voor zover relevant in het kader van de beantwoording van de onderzoeksvraag luidt de tekst van de artikelen uit het Mijnbouwbesluit en het Barmm als volgt:

Mijnbouwbesluit - artikel 38 (§ milieu):

1. het is verboden op een mijnbouwwerk aardgas af te blazen of af te fakkelen in de open lucht dan wel andere verontreinigende stoffen uit te stoten;
2. het eerste lid geldt niet indien het afblazen of affakkelen van aardgas dan wel de uitstoot van andere verontreinigende stoffen onvermijdelijk is voor een normale bedrijfsvoering in het mijnbouwwerk. In dat geval worden alle maatregelen getroffen om schade ten gevolge van het afblazen of affakkelen van aardgas dan wel de uitstoot van andere verontreinigende stoffen zoveel mogelijk te voorkomen dan wel te beperken;
3. bij ministeriële regeling kunnen³ in het belang van de bescherming van het milieu regels worden gesteld omtrent de in het tweede lid bedoelde maatregelen.

Barmm - artikel 19 (§ geluid):

- a. de in tabel I opgenomen maximale geluidsniveaus (L_{Amax}) zijn niet van toepassing op het laden en lossen, transportbewegingen, pipehandling en het verbranden van (aard)gas in de open lucht;
- b. de activiteiten, genoemd onder a, vinden plaats tussen 07.00 en 19.00 uur, tenzij dit redelijkerwijs niet mogelijk is.

Barmm - artikel 24 (§ lucht):

1. in geval van gebruik van een fakkel is deze ontworpen met het oog op optimale afgasverbranding met een minimum rendement van 99 %;
2. minimaal 48 uur voorafgaand aan het affakkelen wordt een fakkelprogramma ingediend bij de inspecteur generaal der mijnen, waarin aandacht wordt besteed aan:
 - a. duur van het fakkelen;
 - b. tijdstip waarop het fakkelen zal plaatsvinden;
 - c. maatregelen om geluidsbelasting voor omwonenden te voorkomen, dan wel te beperken;
3. de inspecteur-generaal der mijnen kan eisen stellen aan het affakkelen ter bescherming van het milieu en ter voorkoming van geluidsoverlast.

¹ In verband met de gas druk in het pijpleidingnetwerk zal bij het druk vrij maken van de installatie niet alle aardgas die zich in de installatie bevindt in het leidingenwerk kunnen worden gestuwd.

² De vergunning voor een mijnbouwwerk voor de winning van koolwaterstoffen ('productielocatie') verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

³ Bij ministeriële regeling zijn geen regels gesteld.

Barmm - artikel 25 (§ lucht):

Emissies van gassen die vrijkomen bij het testen van boorgaten en het schoon produceren ervan en de hoeveelheid verbrand gas/condensaat worden geregistreerd in een meet- en registratiesysteem.

De voorschriften voor het affakkelen opgenomen in de Wabo-milieu-vergunning zijn gericht op het winningsproces. Deze zijn locatiespecifiek en worden mede gebaseerd op het bij de aanvraag voor de betreffende vergunning gevoegde milieueffectrapport.

Toepassingsgebied wetgeving

Artikel 38 van het Mijnbouwbesluit is van toepassing op alle vormen van affakkelen van aardgas in het kader van de opsporing en winning van koolwaterstoffen op land.

De artikelen 9, 24 en 25 van het Barmm zijn een nadere uitwerking van artikel 38, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit. Dit voor zover het betreft het affakkelen van aardgas in het kader van een productietest uitgevoerd op een mijnbouwwerk op land dat zich niet bevindt in gevoelig gebied¹. In een gevoelig gebied is het Barmm niet van toepassing. Dan is in ieder geval een vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998 vereist waarin voor het gebied specifieke regels aan het affakkelen kunnen worden gesteld.

Beleid

Het Staatstoezicht op de mijnen² hanteert het volgende beleid ten aanzien van het affakkelen van aardgas: het affakkelen van aardgas anders dan in het kader van productietesten, onderhoudswerkzaamheden of noodsituaties is niet toegestaan. Productietesten, waarbij het geproduceerde aardgas niet anders dan afgefakkeld kan worden, mogen niet langer duren dan strikt noodzakelijk voor het verkrijgen van voldoende gegevens over de productiecapaciteit van het betreffende gesteente en het boorgat. Onderhoudswerkzaamheden aan delen van een winningsinstallatie moeten zoveel mogelijk gecombineerd worden uitgevoerd om de uitstoot van gassen zo gering als mogelijk te houden.

2.2. Deelvraag 2: Praktijk affakkelen elders in de wereld

Hoe vaak wordt er gemiddeld afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld (uitgesplitst naar opsporings- en winningsfase)?

Een overzicht van hoeveel er elders in de wereld gemiddeld wordt afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen is niet gemakkelijk te geven. Hierover beschikbare cijfers zijn zeer beperkt. Er zijn geen wetenschappelijke publicaties gevonden die informatie geven over affakkelen van gas bij schalie- en steenkoolgasboringen in Europa en Azië. Hierdoor is grotendeels gebruik gemaakt van literatuur over affakkelen in de Verenigde Staten. In de aangetroffen literatuur wordt ook geen duidelijk onderscheid gemaakt in affakkelen bij opsporing en winning. Soms worden cijfers over afblazen en affakkelen van gas bij elkaar opgeteld. In een recent rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) over ontwikkelingen in CO₂-emissies [ref. 5.] wordt onderkend dat data over huidige en toekomstige emissies gerelateerd aan affakkelen en afblazen bij boringen voor schaliegas nog 'hoogst onzeker' zijn.

¹ Gebied als bedoeld onder a, b of d van punt 1 van onderdeel A van de bijlage, behorende bij het Besluit milieueffectrapportage voor zover op het vaste land gelegen. Nadere voorschriften voor, of een algemeen verbod (anders dan in een nood situatie) op, het affakkelen van aardgas in deze gebieden kunnen worden gesteld in de voor de opsporing en winning in gevoelige gebieden vereiste mijnbouwmilieuvergunning of de vergunning vereist op grond van de Natuurbeschermingswet.

² De inspectiedienst die toeziet op het verrichten van verkenningsonderzoeken, op het opsporen en winnen van delfstoffen en aardwarmte en op het opslaan van stoffen (artikel 127, eerste lid, Mijnbouwwet).

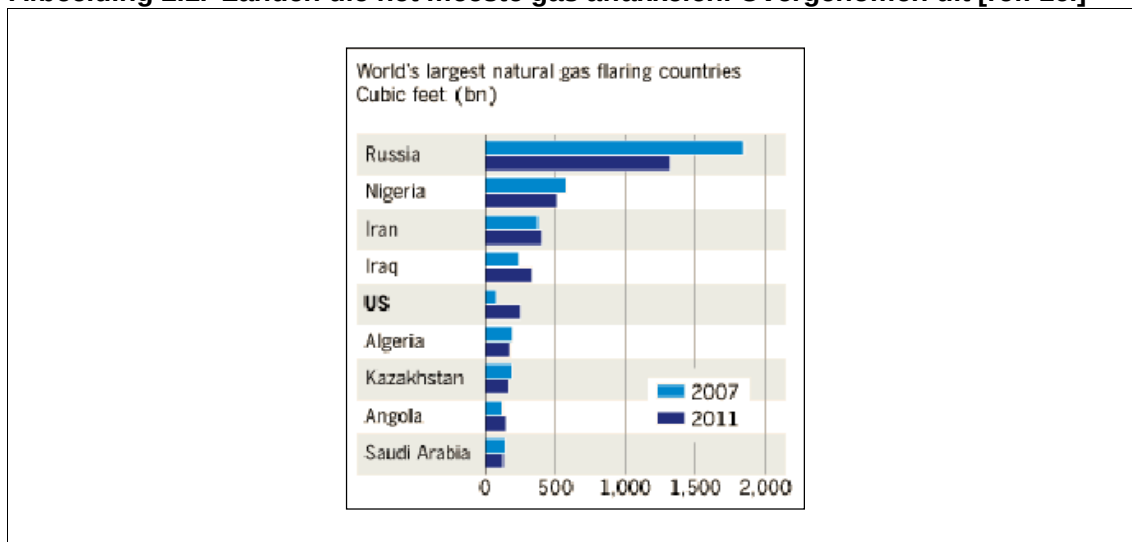
De hoeveelheid gas die respectievelijk afgeblazen, afgefakkeld of verwerkt wordt, is zoals bij veel vraagstukken afhankelijk van specifieke lokale activiteiten. Hierop is een aantal factoren van invloed, zoals [ref. 6.]:

- gas geproduceerd tijdens de flowback is mogelijk verontreinigd met koolstofdioxide of stikstof dat is geïnjecteerd bij het hydraulische fraccen;
- een inconsistente en lage stroomsnelheid van het gas, waardoor deze moeilijk op een reguliere manier af te fakkelen is;
- pijplijnverbindingen kunnen nog niet klaar zijn bij de afwerking van de put en het afsluiten van de put in afwachting hiervan kan schadelijk zijn voor de latere productiviteit; affakkelen kan dan voor de exploitant aantrekkelijker zijn;
- methaan komt niet alleen terug in gasvorm, maar ook opgelost in de terugstromende fractuurvloeistof; alleen wanneer het retourwater wordt opgevangen in afgesloten tanks is het mogelijk om het methaan uit het water te kunnen halen en af te fakkelen;
- beleid en regelgeving (zie deelvraag 1).

Er bestaan verschillende inzichten over het percentage diffuse emissies bij boringen naar schaliegas dat doorgaans wordt afgefakkeld [ref. 7.]. Bij putafwerkingen gaan Howarth et al. [ref. 8.] uit van nul procent affakkelen, het National Energy Technology Laboratory (NETL) [ref. 9.] gaat uit van 15 procent affakkelen. Een recente studie van O'Sullivan en Paltsev [ref. 10.] veronderstelt dat 70 procent van de diffuse emissies wordt afgevangen, 15 procent afgeblazen en 15 procent afgefakkeld. De auteurs geven aan dat dit een 'redelijke weergave' is van de huidige praktijk van schaliegasbehandeling. Vertegenwoordigers van de industrie hebben beweerd dat in 2011 97 procent van de diffuse emissies is afgefakkeld of afgevangen met behulp van 'groene technologieën' [ref. 11.]. Er zijn vrijwel geen data uit primaire metingen van afgefakkeld gas beschikbaar. Wel zijn er verwachte volumes afgeblazen en afgefakkeld gas in beeld gebracht op basis van simulatie, bijvoorbeeld zoals die typerend zijn voor het proces van afronding van de opsporingsfase ('well completion') in de VS [ref. 12.]. Een studie van Jiang et al [ref. 13.] levert hierbij een zeer grote marge aan mogelijke volumes afgeblazen of afgefakkeld gas, tussen 38.000 en 1.470.000 m³ per put.

In juli 2012 maakte de Wereldbank bekend dat de twintig grootste olie- en gasproducerende landen jaarlijks voor 50 miljard dollar aan gas affakkelen [ref. 14.]. De cijfers waarop de Wereldbank deze schattingen baseert, zijn tot stand gekomen op basis van satellietanalyses van de vlammen die door het affakkelen ontstaan bij boorputten en olieraffinaderijen. Bij de raming van de hoeveelheden afgefakkeld gas is tevens gebruik gemaakt van de door het Global Gas Flaring Reduction (GGFR) Partnership gerapporteerde volumes. De GGFR is een publiek-privaat samenwerkingsverband dat wordt gecoördineerd door de Wereldbank [ref. 15.]. In afbeelding 2.1 zijn de cijfers uit 2011 van negen van landen die het meeste gas affakkelen vergeleken met de cijfers uit 2007 [ref. 16.]. Hieruit wordt ook duidelijk dat over het algemeen grote reducties zijn bereikt. Volgens de Wereldbank staat de daling van het volume broeikasgassen gelijk aan het volume dat door 16 miljoen auto's wordt uitgestoten [ref. 14.].

Afbeelding 2.1. Landen die het meeste gas affakkelen. Overgenomen uit [ref. 16.]

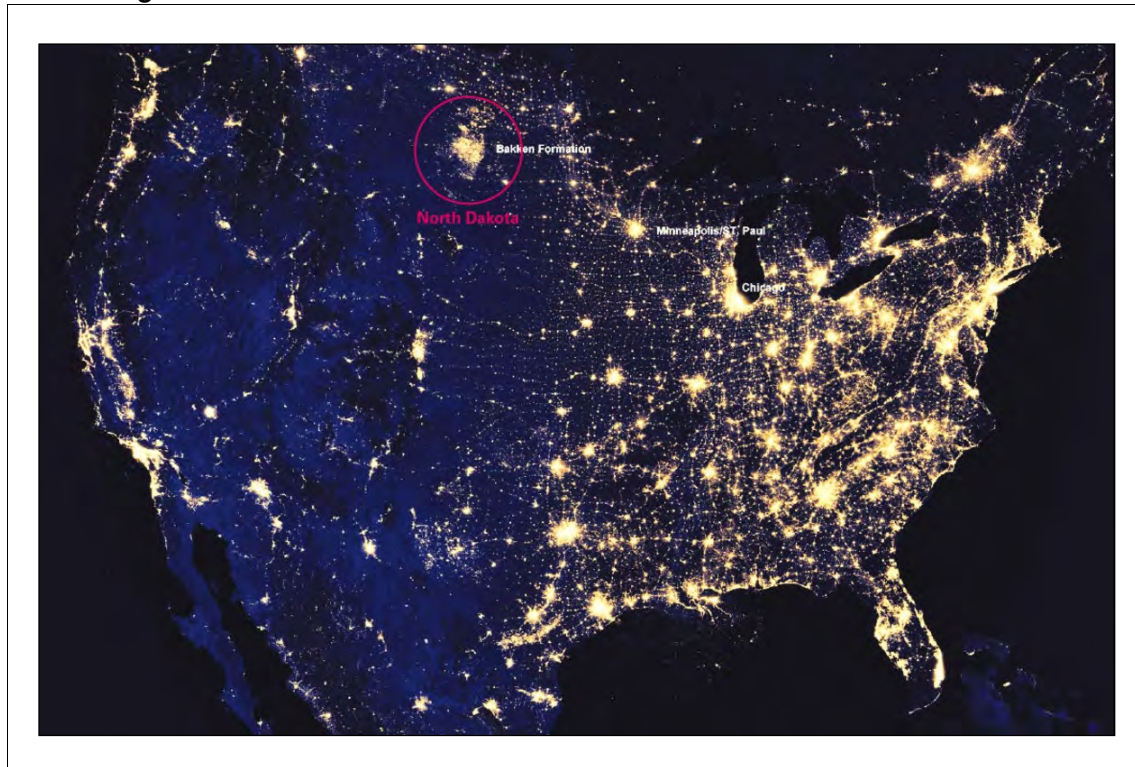


De Verenigde Staten behoort tot de landen waar het meeste gas wordt afgefakkeld. Volgens satellietwaarnemingen is de uitstoot als gevolg van affakkelen in de VS sterk toegenomen (van 4.6 bcm¹ in 2010 naar 7.1 bcm in 2011, ten opzichte van 2.2 bcm in 2007) [ref. 14.]. Deze toename hangt voornamelijk samen met de schalieolieproductie en het daaruit voortvloeiende affakkelen van meegeproduceerd gas [ref. 17.]. Dit is dus een andere situatie dan het 'dry gas' base scenario zoals voor Nederland wordt voorzien.

In North Dakota is de productie van aardgas sinds 2005 meer dan verdubbeld, grotendeels gerelateerd aan meegeproduceerd aardgas uit de groeiende olieproductie. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat meer dan een derde van de totaal in North Dakota geproduceerde hoeveelheid aardgas ofwel wordt afgefakkeld of anderszins niet verder verwerkt [ref. 18.].

¹ bcm = billion cubic metres.

Afbeelding 2.2. Zichtbaarheid affakkelen North Dakota Schalie. Foto: AFP/NASA



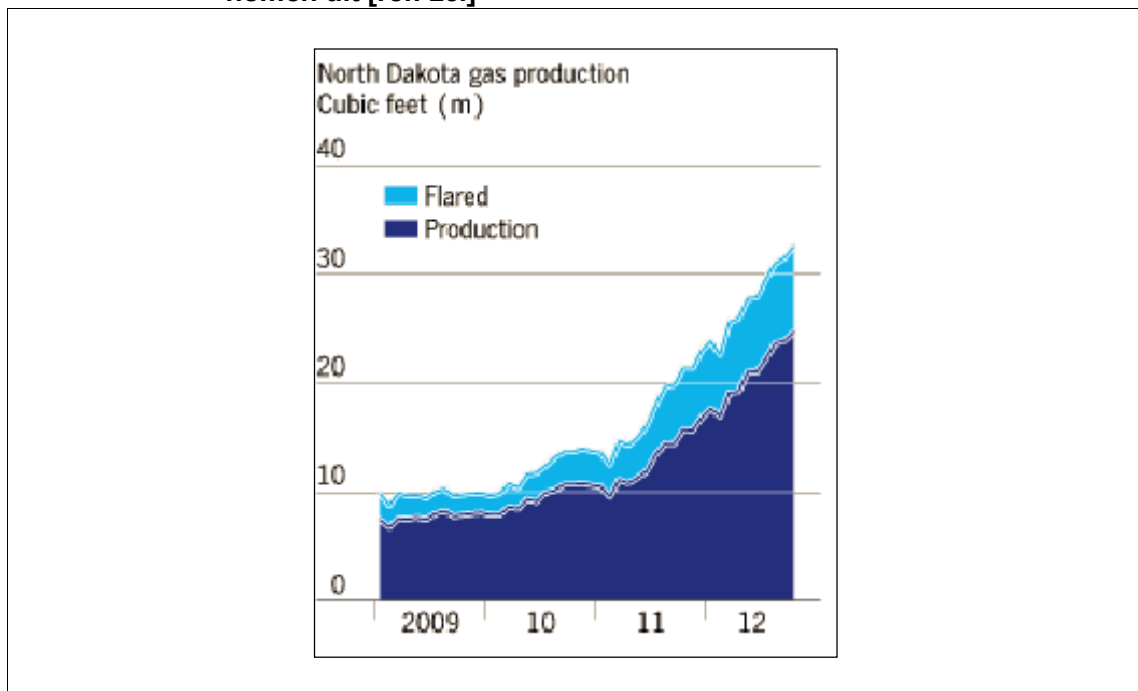
Als tegenovergestelde van de situatie in Nederland, waar een goede infrastructuur voor transport van gas bestaat en de gasprijzen doorgaans hoog zijn, heeft het feit dat aardgas wordt afgefakkeld in de VS grotendeels te maken met lage gasprijzen. Hierdoor is het vaak onrendabel om pijpleidingen en tanks te bouwen voor opslag van overtollig gas. Affakkelen is dan de goedkoopste methode om overtollige voorraden kwijt te raken. Er kan in de VS dus niet per definitie worden gesteld dat affakkelen van aardgas tot een minimum wordt beperkt omdat het in zichzelf een waardevol product is. De industrie zelf erkent dit [ref. 19]:

‘Om geografische redenen, de beschikbaarheid van klanten, en het energiebeleid van de overheid is het niet altijd technisch of economisch haalbaar om (een deel van) het gas te verkopen of te herinjecteren in ondergrondse reservoirs. Daarom moet soms gas worden afgefakkeld als afvalproduct.’

Het is pas sinds kort, dat affakkelen als een groeiend probleem in de VS wordt gezien. Met name in North Dakota, waar de olieproductie uit het ‘Bakken schalie’ elke 18 maanden wordt verdubbeld. Hierdoor is dit veld nu verantwoordelijk voor 10 procent van de totale productie in de VS. Daarnaast houden de pijplijnverbindingen geen gelijke tred met de groei van de productie. Meer dan 1.000 putten zijn in 2012 aangesloten op het gasdistributiesysteem. Dat is niet voldoende geweest om het aandeel van het gas dat wordt afgefakkeld te reduceren. Dit is blijven steken op ongeveer 30 procent [ref. 16].

Onderstaande afbeelding illustreert hoe de ontwikkeling in de volumes van meegeproduceerd aardgas in North Dakota de investeringen in infrastructuur om het gas te kunnen kanaliseren heeft ingehaald [ref. 16].

Afbeelding 2.3. Ontwikkeling productie en affakkelen North Dakota Schalie. Overgenomen uit [ref. 16.]



Een wetenschapper van Stanford University geeft aan dat bedrijven in de VS in een race zijn verwikkeld met hun concurrenten om de bron [ref. 16.]. Dit kan ertoe leiden dat er weinig stimulans is om de productie van gas te vertragen teneinde het affakkelen te reduceren: een fenomeen dat zich in het hele land voordoet. In Texas steeg de productie uit de Eagle Ford schalie in 2010-2012 met bijna een 30-voud. Het aantal vergunningen om af te fakkelen is over dezelfde periode verzesvoudigd. Dit zou ertoe geleid hebben dat tegen het voorjaar van 2012 de hoeveelheid gas die werd afgefakkeld, voldoende was om elektriciteit te leveren aan meer dan 400.000 woningen in de staat Texas [ref. 16.].

In de VS leidt nog een ander verschijnsel tot overmatig affakkelen. Wanneer de productiebedrijven zich aan landeigenaren of eigenaars van minerale rechten verplichten dat putten voor een bepaalde datum moeten worden ontwikkeld, kan dit bedrijven ertoe aanzetten om putten te boren en hydraulisch te fraccen vóór analysedata beschikbaar zijn. Dit leidt er in de praktijk toe dat grote hoeveelheden gas moeten worden afgeblazen of afgefakkeld tijdens de flowback na afloop van het fraccen. In North Dakota zouden korte termijn lease-overeenkomsten voor het winnen van schalieolie er de oorzaak van zijn dat 30 procent van het zogenaamde 'meegeproduceerde' gas wordt afgeblazen of afgefakkeld [ref. 7.].

Nieuwe regelgeving van het Amerikaanse Environmental Protection Agency vereist dat het gas dat momenteel ontsnapt naar de atmosfeer wordt opgevangen, ofwel wordt gebruikt of verkocht. De regelgeving is ook van toepassing op het gas dat wordt afgeblazen bij het fraccen bij boringen naar schaliegas [ref. 5.]. Zoals in de paragraaf hiervoor is beschreven, worden aan affakkelen in Nederland al wettelijke eisen gesteld. Het Nederlandse beleid is erop gericht om affakkelen te verbieden, met uitzondering van zeer tijdelijke situaties of calamiteiten.

Daarnaast vindt het grootschalige affakkelen in de VS plaats omdat bij de winning van schalieolie gas wordt meegeproduceerd als ongewenste bijvangst. In Nederland zal geen sprake zijn van winning van schalieolie en is de winning van het gas juist het doel.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Beleid voor affakkelen van aardgas in Nederland

Wat is het beleid ten aanzien van affakkelen?

Het beleid ten aanzien van affakkelen van aardgas in Nederland is erop gericht emissies naar de lucht te minimaliseren. De Nederlandse (mijnbouw)wetgeving biedt voldoende wettelijke basis voor de uitvoering van dit beleid.

3.2. Deelvraag 2: Praktijk affakkelen elders in de wereld

Hoe vaak wordt er gemiddeld afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen elders in de wereld (uitgesplitst naar opsporings- en winningsfase)?

Een overzicht van hoeveel er elders in de wereld gemiddeld wordt afgefakkeld bij schalie- en steenkoolgasboringen is niet gemakkelijk te geven. Er zijn verschillende inzichten over het aandeel gas dat doorgaans wordt afgefakkeld. Er zijn vrijwel geen data uit primaire metingen van afgefakkeld gas beschikbaar.

In juli 2012 maakte de Wereldbank bekend dat de twintig grootste olieproducerende landen jaarlijks voor 50 miljard dollar aan gas affakkelen. De Verenigde Staten behoort tot de landen waar het meeste gas wordt afgefakkeld. Onlangs heeft de Verenigde Staten schaliegas fracking uitgebreid en is inmiddels uitgegroeid tot de grootste producent van aardgas in de wereld. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat in North Dakota, een van de snelst groeiende productiegebieden, meer dan een derde van de totaal geproduceerde hoeveelheid aardgas ofwel wordt afgefakkeld of anderszins niet verder verwerkt.

Dat schaliegas in de VS wordt afgefakkeld heeft grotendeels te maken met de lage gasprijzen. Hierdoor is het vaak onrendabel om pijpleidingen en tanks te bouwen voor opslag van overtollig gas. Ook de industrie erkent dat om verschillende redenen gas wordt afgefakkeld als afvalproduct. De investeringen in infrastructuur om ongewenst meegeproduceerd gas te kanaliseren kunnen in de VS de ontwikkeling in de productie van gas niet bijhouden. Daarnaast wordt soms onder druk van contractuele verplichtingen zonder goed onderzoek overgegaan tot ontginning, waardoor meer 'overtollig' gas moet worden afgeblazen of afgefakkeld.

Nieuwe Amerikaanse regelgeving beoogt het volume afgefakkeld gas te beperken. De verwachting is dat bij eventuele schaliegaswinning in Nederland het affakkelen minder grootschalig plaats zal vinden dan in de Verenigde Staten, aangezien hier al wettelijke eisen worden gesteld en geen sprake zal zijn van schalieoliewinning met gas als ongewenste bijvangst.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit met toelichting.
- [ref. 3.] Besluit algemene regels milieu mijnbouw.
- [ref. 4.] International Association Oil and gas Producers, 'Flaring and venting in the oil and gas exploration and production industry', January 2000.
- [ref. 5.] J.G.J. Olivier, G. Janssens-Maenhout and J.A.H.W. Peters, 'Trends in global CO₂-emissions', PBL 2012.
- [ref. 6.] IHS/CERA (Cambridge Energy Research Associates), 'Mismeasuring Methane: Estimating Greenhouse Gas Emissions from Upstream Natural Gas Development', Private Report, 2011.
- [ref. 7.] J. Bradbury, M. Obeiter, L. Draucker, W. Wang and A. Stevens, 'Clearing the air: reducing upstream greenhouse gas emissions from U.S. natural gas systems', Working Paper, World Resources Institute, April 2013.
- [ref. 8.] R. Howarth, R. Santoro, and A. Ingraffea, 'Methane and the Greenhouse-Gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations', Climatic Change 106(4): 679–690, 2011.
- [ref. 9.] NETL (National Energy Technology Laboratory), 'Role of Alternative Energy Sources: Natural Gas Technology Assessment', National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy, 2012.
- [ref. 10.] F. O'Sullivan and S. Paltsev, 'Shale gas production: potential versus actual greenhouse gas emissions', Environ. Res. Lett. 7: 6 pages. doi:10.1088/1748-9326/7/4/044030, 2012.
- [ref. 11.] ANGA (America's Natural Gas Alliance), 'Comments of America's Natural Gas Alliance: Proposed Rule-Oil and Natural Gas Sector Consolidated Rulemaking, New Source Performance Standards and National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants Reviews,' Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2010-0505, 2011.
- [ref. 12.] J. Broderick, K. Anderson, R. Wood, P. Gilbert, M. Sharmina, 'Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts', A report by researchers at the Tyndall Centre for Climate Change Research, University of Manchester, November 2011.
- [ref. 13.] M. Jiang, W. M. Griffin, C. Hendrickson, P. Jaramillo, J. VanMriesen, and A. Venkatesh, 'Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Marcellus Shale Gas' Environmental Research Letters 6(3), 2011.
- [ref. 14.] The World Bank, 'World Bank Sees Warning Sign in Gas Flaring Increase', Press Release, July 3, 2012.
- [ref. 15.] C.D. Elvidge, D. Ziskin, K.E. Baugh, B.T. Tuttle, T. Ghosh, D.W. Pack, E.H. Erwin and M. Zhizhin, 'A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data', Energies, 2, 595–622; doi:10.3390/en20300595, 2009
- [ref. 16.] E. Crooks and A. Makan, 'Flares take shine off shale boom', Financial Times, January 27, 2013.
- [ref. 17.] B. Nicholson, 'Survey of Flaring Regs for Arkansas, Colorado, Louisiana, North Dakota, Pennsylvania, Texas and Wyoming', Hydraulic fracking, May 2012
- [ref. 18.] EIA (U.S. Energy Information Administration), 'Over one-third of natural gas produced in North Dakota is flared or otherwise not marketed', Today in Energy, November 2012.
- [ref. 19.] Shale Gas Europe, a platform for industry, experts and academics, supported by Chevron, Cuadrilla, Halliburton, Royal Dutch Shell, Statoil and Total Gas Shale Europe (TGSE).

onderwerp	onderzoeksvraag B.3.9
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/213
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Deelvragen	2
1.3. Afbakening	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Deelvraag 1: Overzicht geldende wet- en regelgeving	3
2.2. Deelvraag 2: Hoe wordt omgegaan met geluid	5
2.3. Deelvraag 3: Te verwachten geluids- en lichtbelasting	7
3. CONCLUSIES	11
3.1. Deelvraag 1: Overzicht geldende wet- en regelgeving	11
3.2. Deelvraag 2: Hoe wordt omgegaan met geluid	11
3.3. Deelvraag 3: Te verwachten geluids- en lichtbelasting	12
4. REFERENTIES	13

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.3.9. Onderzoeksvraag:

- geef een overzicht van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van licht en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie;
- geef aan hoe met geluid wordt omgegaan;
- ga na wat de geluids- en lichtbelasting (inclusief piekbelasting) is die van een mijnbouwlocatie is te verwachten tijdens de verschillende fasen van ontwikkeling, (bijvoorbeeld tijdens boren of frac-activiteiten).

1.2. Deelvragen

De hoofdvraag is onderverdeeld in een drietal deelvragen:

- deelvraag 1: Overzicht geldende wet- en regelgeving licht en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie;
- deelvraag 2: Hoe wordt omgegaan met geluid nabij mijnbouwlocaties;
- deelvraag 3: Te verwachten geluids- en lichtbelasting (inclusief piekbelasting) tijdens de verschillende fasen van ontwikkeling.

1.3. Afbakening

In de beantwoording van de onderzoeksvraag wordt een overzicht gegeven van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van licht en (laagfrequent) geluid nabij een mijnbouwlocatie. Het overzicht richt zich op de Nederlandse wetgeving.

Bij de beantwoording van de vraag is er vanuit gegaan dat het mijnbouwwerk op land is gelegen en in niet gevoelig gebied. Dit betekent dat het Besluit algemene regels milieu bouw ('Barmm') van toepassing is op de aanleg van de voor de opsporing en winning benodigde boorgaten en het fraccen. Ingeval een mijnbouwwerk is gelegen in gevoelig gebied is het Barmm niet van toepassing, maar is in de plaats daarvan een vergunning op grond van artikel 40, tweede lid, van de Mijnbouwwet, de zogenaamde mijnbouwmilieuvergunning, vereist en een vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998.

In de beschrijving van hoe met geluid wordt omgegaan wordt beschreven hoe met het aspect geluid bij huidige mijnbouwlocaties wordt omgegaan. Hierbij wordt ingegaan op de technische aspecten van geluid nabij mijnbouwlocaties ten behoeve van de opsporing en/of winning van schaliegas en steenkoolgas.

Op basis van bestaande onderzoeken wordt een indruk gekregen van te verwachte geluids- en lichtbelasting van een mijnbouwlocatie. De resultaten geven slechts een indruk; de werkelijk optredende licht- en geluidsbelasting kan verschillen per mijnbouwlocatie.

1.4. Aanpak

De onderzoeksvraag is beantwoord op basis van de Nederlandse wet- en regelgeving en voorhanden onderzoeken naar geluids- en/of lichtbelasting nabij mijnbouwlocaties ten behoeve van de opsporing en/of winning van schaliegas en steenkoolgas wereldwijd. Daarnaast zijn verschillende overheidssites geraadpleegd waaronder de website van het kenniscentrum Infomil [ref. 1.]. Ook zijn verschillende andere kennissites geraadpleegd en zijn aan het Staatstoezicht op de Mijnen enkele vragen gesteld.

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Overzicht geldende wet- en regelgeving

Geef een overzicht van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van licht en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie.

Algemeen

Voor een overzicht van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van licht- en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie moet een onderscheid worden gemaakt tussen licht en geluid ten gevolge van mijnbouwactiviteiten uitgevoerd vanaf een mijnbouwwerk alleen bestemd voor de opsporing van koolwaterstoffen (hierna een 'boorlocatie') en een mijnbouwwerk bestemd voor de (opsporing en) winning van koolwaterstoffen (hierna een 'productielocatie').

Dit onderscheid betreft de omgevingsvergunning milieu. Deze vergunning, die wordt verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo'), is voor de oprichting en het in werking hebben van een boorlocatie niet en voor een productielocatie wel vereist. Dit betekent dat de (tijdelijke opsporings)activiteiten op een boorlocatie niet worden gereguleerd door middel van vergunningsvoorschriften, maar door de voorschriften opgenomen in het Barmm. Op een productielocatie wordt de uitvoering van tijdelijke opsporings- en winningsactiviteiten eveneens gereguleerd door het Barmm maar zijn er daarnaast op het gebruik van de productielocatie de voorschriften opgenomen in de omgevingsvergunning milieu van toepassing. Uiteraard geldt voor een productie- en een boorlocatie ook alle in het algemeen op een mijnbouwwerk en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wetgeving¹.

Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm)

In het Barmm worden regels ter bescherming van het milieu als gevolg van het gebruik van mobiele installaties gegeven. Een mobiele installatie is een verplaatsbare installatie voor het aanleggen, testen, onderhouden, repareren of buiten gebruik stellen van een boorgat. Het Barmm is van toepassing op een opsporingslocatie en op de uitvoering van genoemde (tijdelijke) activiteiten op een productielocatie.

Licht

Bij het aanleggen, testen, onderhouden, repareren of buiten gebruik stellen van een boorgat is verlichting van het betreffende mijnbouwwerk noodzakelijk voor de veiligheid van het werken en het voorkomen van gevaar. Deze verlichting mag echter geen overlast voor de omgeving, het milieu en de omwonenden opleveren. In verband hiermee bepaalt artikel 15 van het Barmm.

Barmm - Artikel 15

1. Het terrein is voorzien van buitenverlichting voor zover die noodzakelijk is voor het verrichten van werkzaamheden en het voorkomen van gevaar.
2. De hoogte van de installatie van de buitenverlichting en het gebruik ervan gaat niet verder dan noodzakelijk is voor het verrichten van de nodige werkzaamheden of het handhaven van de veiligheid.
3. De verlichting is zodanig opgesteld en ingericht en de lampen zijn zodanig afgeschermd dat hinderlijke lichtstraling voor de omgeving en het milieu en directe instraling in woningen wordt voorkomen.

¹ Zie antwoord op vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

Geluid

Het Barmm geeft in hoofdstuk 3, paragraaf 2, voorschriften voor de toelaatbare geluidsniveaus tijdens het gebruik van mobiele installaties op een mijnbouwwerk. De in het Barmm gestelde geluidseisen kunnen in sommige situaties te streng zijn of te licht. In verband hiermee biedt het Barmm de mogelijkheid tot het stellen van een maatwerkvoorschrift dat voor een specifieke situatie ruimere of stringentere geluidseisen stelt. Ruimere normen zijn alleen mogelijk als de belangen van de omgeving, het milieu en de omwonenden zich daar niet tegen verzetten.

Het Barmm geeft niet alleen regels voor de mogelijke geluidsoverlast veroorzaakt door de mobiele installatie zelf en de in verband met de mobiele installatie verrichte werkzaamheden en activiteiten maar geeft in artikel 21¹ ook een streefwaarde voor de etmaalwaarde van de verkeersbewegingen van en naar de mobiele installatie.

Omgevingsvergunning milieu

Voor de oprichting en het gebruik van een productielocatie voor de winning van koolwaterstoffen is een omgevingsvergunning milieu vereist. De voorschriften van deze vergunningen worden gesteld met het oog op de bescherming van het milieu tijdens de winning van koolwaterstoffen, dus niet tijdens de uitvoering van tijdelijke activiteiten waarvoor een mobiele installatie wordt gebruikt zoals de aanleg van een boorgat en het fraccen. De voorschriften van het Barmm beschermen het milieu tijdens de uitvoering van deze activiteiten.

Licht

Aan een omgevingsvergunning milieu voor een productielocatie kunnen voorschriften worden verbonden met het oog op de overlast die de verlichting van de locatie op kan leveren voor de omgeving, het milieu en de omwonenden. Een voorschrift als het hierna volgende² wordt gewoonlijk aan deze vergunningen verbonden:

‘De buitenverlichting op het terrein van de inrichting is, ook wat de hoogte daarvan betreft, tot het voor het verrichten van de nodige werkzaamheden op dat terrein of ter bescherming van het milieu noodzakelijke beperkt; de lampen branden uitsluitend voor zover dit voor het op het terrein van de inrichting verrichten van werkzaamheden of in verband met de bewaking van de inrichting dan wel anderszins in verband met de veiligheid noodzakelijk is; de verlichting is zodanig opgesteld en ingericht en de lampen zijn zodanig afgeschermd, dat hinderlijke lichtstraling voor de omgeving zoveel mogelijk wordt voorkomen’

Geluid

Onderdeel van de aanvraag om een omgevingsvergunning milieu is een aantal vereiste akoestische gegevens (afhankelijk van de situatie). Om de benodigde akoestische gegevens te verkrijgen wordt door de aanvrager van de vergunning over het algemeen een akoestisch adviseur in gezet. Als de gegevens volledig zijn, beoordeelt het bevoegd gezag op basis van art. 2.14 Wabo de aanvraag om een omgevingsvergunning milieu. De Wabo bevat geen toetsingskader ter voorkoming van geluidhinder. Dit kader is opgenomen in de Handreiking industrielawaai en vergunningverlening (hierna: de Handreiking). Bij de beoordeling van de geluidsbelasting door een inrichting bij vergunningverlening wordt onderscheid gemaakt tussen de directe geluidhinder (veroorzaakt door de activiteiten op de inrichting zelf) en de indirecte geluidhinder (wegverkeer van en naar de inrichting).

¹ Artikel 21 Barmm luidt als volgt:

1. Voor de etmaalwaarde van de verkeersbewegingen van en naar de mobiele installatie geldt een streefwaarde van 50 dB(A).
2. Bij ministeriele regeling worden regels gegeven betreffende de beoordeling van etmaalwaarden van de verkeersbewegingen.

² Besluit omgevingsvergunning voor de Inrichting Coevorden 24 van 23 juli 2012

De Handreiking is echter door grenswaarden te stellen in dB(A) niet geschikt voor bescherming tegen mogelijke hinder door toedoen van laagfrequent geluid. Dit geeft de handreiking zelf ook aan in artikel 6.3.1. Industrieopstellingen zoals pompen, generatoren en transformatoren (die aanwezig zijn op een mijnbouwlocatie ten behoeve van de winning van koolwaterstoffen) zijn potentiële laagfrequente geluidsbronnen. Ter voorkoming van hinder door laagfrequent geluid kunnen in het geval van aanwezige geluidsgevoelige objecten in de nabije omgeving van de mijnbouwlocatie in de vergunningsvoorschriften toegesneden voorschriften op worden genomen betreffende toelaatbare laagfrequente geluidsniveaus.

Activiteitenbesluit

Naast de voorschriften uit het Barmm en de omgevingsvergunning milieu geldt voor degenen die het mijnbouwwerk drijft (de 'uitvoerder'¹) met betrekking tot het voorkomen van licht- en geluidsoverlast als gevolg van de aanwezigheid van en de activiteiten op een mijnbouwwerk de algemene zorgplicht bepaling van artikel 2.1 van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit). Dit artikel benoemt in het tweede lid onder f en h het voorkomen dan wel voor zover dit niet mogelijk is het tot een aanvaardbaar niveau beperken van geluidhinder respectievelijk lichthinder als een onder de zorgplicht voor het milieu vallende plicht van de uitvoerder.

Richtlijnen

Ingeval laagfrequent-geluidsgevoelige objecten in de nabijheid van de mijnbouwlocatie aanwezig zijn, kan de richtlijn laagfrequent geluid van de Nederlandse Stichting Geluidshinder [ref. 2.] worden gehanteerd als richtsnoer bij het opstellen van voorschriften ter voorkoming van hinder door laagfrequent geluid. Er is jurisprudentie over laagfrequent geluidhinder waarbij eisen omtrent laagfrequent geluid zijn gestoeld op de NSG-richtlijn (zie uitspraak ABRvS 201008366/1/M1, d.d. 21 september 2011).

Wanneer 'lichtgevoelige' objecten vlak bij een mijnbouwlocatie aanwezig zijn, kan de algemene richtlijn betreffende lichthinder van de Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV) [ref. 3.] worden gebruikt als richtsnoer bij het opstellen van voorschriften ter voorkoming van lichthinder. Er is jurisprudentie waarbij bevoegd gezag zich baseert op deze richtlijn, zie de uitspraak ABRvS 200404986/1, d.d. 9 februari 2005. Daarnaast worden er strengere 'eisen' gesteld aan lichthinder in Natura-2000 gebieden en EHS gebieden. De reden hiervan is dat er tot op heden geen eenduidig inzicht is in de invloed van licht op het gedrag van mens en dier. Wel is bekend dat licht invloed heeft op het gedrag en dat licht in de nacht de nachtrust van mensen en dieren kan verstoren. Omdat er geen vaste normen zijn, wordt voor extra kwetsbare gebieden zoals Natura-2000 gebieden voor de zekerheid een 10x strengere norm gehanteerd.

2.2. Deelvraag 2: Hoe wordt omgegaan met geluid

Hoe wordt omgegaan met geluid nabij mijnbouwlocaties?

Deze vraag kan vanuit juridisch kader beantwoordt worden met de wet en regelgeving beschreven in de vorige paragraaf. In deze subsectie wordt deze vraag vanuit technisch kader toegelicht.

Uit onderzoek naar boorlocaties ten behoeve van gaswinning wereldwijd [ref. 4.], [ref. 6.] en [ref. 7.], [ref. 8.] blijkt dat geluid een milieuaspect is wat aandacht verdient vanwege moge-

¹ Een van de medehouders van een opsporings- of winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten onder de vergunning mag verrichten of hiertoe opdracht aan een ander mag verlenen.

lijk optredende hinder. Vanwege de benodigde specialistische kennis wordt vaak een akoestisch adviseur ingeschakeld om een geluidsstudie uit te voeren. Uit de studie volgt welke geluidsbelasting te verwachten is en welke mitigerende maatregelen genomen kunnen en/of dienen te worden om aan de door bevoegd gezag gestelde geluidseisen te voldoen. Onderstaand wordt op de verschillende aspecten nader ingegaan.

Akoestisch onderzoek

Om te waarborgen dat de geluidsbelasting nabij een mijnbouwlocatie aan de door het bevoegd gezag opgelegde geluidseisen voldoet, wordt een akoestisch adviseur ingeschakeld om een geluidsstudie te doen. Het Barmm geeft hier voorschriften voor (zie vorige paragraaf). Voorafgaand aan de opbouw van een mijnbouwlocatie kan een locatiespecifieke indicatie worden afgegeven voor de te verwachten geluidsbelasting en worden indien nodig mitigerende maatregelen voorgesteld. Tijdens de opsporingsfase en productiefase kan vervolgens middels metingen worden getoetst of aan de eisen wordt voldaan.

Hoe gedetailleerd het akoestisch onderzoek dient te zijn kan men mogelijk laten afhangen van de afstand tussen geluidsgevoelige objecten en de mijnbouwlocatie. Het geluidsonderzoek dient dan - indien de afstand klein is - gedetailleerder te zijn dan indien de afstand groot is. Het akoestisch onderzoek dient te worden uitgevoerd overeenkomstig de Handleiding meten en rekenen met industrielawaai. De staat New York heeft bijvoorbeeld een afstand van 305 m gedefinieerd waarbinnen een gedetailleerd geluidsonderzoek vereist is [ref. 5.].

Een dergelijke regel is ook opgenomen in het Barmm. In hoofdstuk 3, artikel 19 f, wordt aangegeven dat, als er een geluidsgevoelig gebouw aanwezig is binnen 300 m van het hart van de boorinstallatie voorafgaand aan de boring, in een akoestisch onderzoeksrapport op grond van verrichte geluidsmetingen of geluidsberekeningen aangetoond wordt dat aan de geluidseisen van het Barmm (gestelde eisen in dB(A) in het Barmm zelf of in maatwerkvoorschriften) kan worden voldaan. Het is aan te bevelen voor elke mijnbouwlocatie ten behoeve van de opsporing of productie van schaliegas een akoestisch onderzoek uit te voeren. Het akoestisch onderzoek dient te worden uitgevoerd overeenkomstig de Handleiding meten en rekenen met industrielawaai.

Mogelijke bronnen van hinder

Nabij een mijnbouwlocatie is geluid vrijwel altijd een milieuaspect wat aandacht verdient. De reden hiervoor is dat dergelijke locaties zich karakteriseren door de open opstelling in de buitenruimte en de aanwezigheid van technische installaties waaronder compressoren, pompen en dieselmotoren. Deze installaties zijn vaak geluidsbronnen die vanwege het continue geluid en de hoge geluidsbelasting tot hinder kunnen leiden.

Zowel tijdens de opsporings- als tijdens de productiefase zijn op een mijnbouwlocatie ten behoeve van schaliegas- of steenkoolgaswinning dergelijke technische installaties aanwezig. Er zijn daarnaast ook andere bronnen te identificeren die mogelijk tot geluidshinder leiden. Tijdens de boorfase zijn er verschillende activiteiten die geluidsbelasting opleveren waaronder het zogenaamde 'drill pipe tripping' (handeling ter vervanging van elementen van de boor) en het plaatsen van de stalen behuizing van het boorgat [ref. 4.]. Daarnaast is het af- en aanrijden van voertuigen ook een mogelijke bron van geluidshinder. Tijdens de productiefase zijn vaak pompen en compressoren actief die tot hoge geluidsbelasting kunnen leiden (afhankelijk van onder andere het benodigde vermogen). Ook het affakkelen van gas kan tot geluidshinder leiden.

De uiteindelijke geluidsbelasting op de omgeving tijdens de opsporings- en productiefase van een mijnbouwlocatie ten behoeve van de winning van schaliegas en steenkoolgas

hangt sterk af van de typen aanwezige installaties op de locatie. Bij het ontwerp van de locatie kan rekening worden gehouden met geluidsbelasting door bijvoorbeeld waar mogelijk geen dieselmotoren, maar elektrische motoren te plaatsen. Dit geldt ook voor de keuze in het type pomp: verschillende type pompen resulteren in verschillende geluidsbelasting.

Mitigerende maatregelen

In [ref. 5.] en [ref. 6.] wordt een aantal mitigerende maatregelen besproken om mogelijk optredende geluidshinder nabij mijnbouwlocaties te voorkomen. Een voor de hand liggende maatregel is een minimale afstand te hanteren tussen de bron (mijnbouwlocatie) en geluidsgevoelige ontvangers. Dit beïnvloedt de keuze waar de mijnbouwlocatie wordt gerealiseerd.

Daarnaast zijn er veel technische mogelijkheden om geluidsreductie te realiseren op een mijnbouwlocatie waaronder:

1. geluidsschermen rondom de mijnbouwlocatie;
2. geluidsdempers voor bijvoorbeeld compressoruitlaten en dergelijke;
3. geluidsisolatie door machinebehuizing;

Er zijn tal van leveranciers op het gebied van geluidsisolatie die elk hun eigen toegesneden mitigerende maatregelen voorstaan. Per mijnbouwlocatie is het aan te bevelen een akoestisch adviseur advies te laten geven over de benodigde en meest effectieve mitigerende maatregelen.

Een andere belangrijke mitigerende maatregel betreft het maken van afspraken tussen uitvoerder en bevoegd gezag omtrent het vervoer van en naar de mijnbouwlocatie. In het Barmm zijn hier in artikel 41 regels over opgenomen. Aangezien het af- en aanrijden van zwaar transport (met name tijdens opsporingsfase) tot geluidsoverlast kan leiden, kan een overeengekomen tijdsvenster waarin transport is toegestaan een effectieve maatregel betreffen. Dit geldt ook voor het affakkelen van gas waarvoor in artikel 24 van het Barmm regels zijn opgenomen. Het tijdsvenster kan gebaseerd worden op de periode-definitie in de genoemde algemene regels en waarbij de grenswaarde bij elke stap 5 dB afneemt:

- dagperiode: (07.00-19.00 uur) - normale activiteiten veelal mogelijk;
- avondperiode: (19.00-23.00 uur) - meest lawaaiige achterwege laten;
- nachtperiode: (23.00-07.00 uur) - alleen stillere bronnen in werking.

2.3. Deelvraag 3: Te verwachten geluids- en lichtbelasting

Ga na wat de geluids- en lichtbelasting (inclusief piekbelasting) is die van een mijnbouwlocatie is te verwachten tijdens de verschillende fasen van ontwikkeling, (bijvoorbeeld tijdens boren of frac-activiteiten).

Te verwachten geluidsbelasting

De verschillende fasen van ontwikkeling worden onderverdeeld in de opsporingsfase en productiefase. De geluidsbelasting in beide fasen van een mijnbouwlocatie is activiteitspecifiek. Hierbij hangt de geluidsbelasting hoofdzakelijk af van welke installaties op de mijnbouwlocatie in operatie zijn. De verschillende installaties resulteren elk in hun eigen karakteristieke geluidsbelasting. Hoe het geluid zich voorplant hangt vervolgens van een aantal locatieafhankelijke eigenschappen af, waaronder atmosferische condities en aanwezige vegetatie. Voor de uiteindelijke geluidsbelasting nabij een geluidsgevoelige locatie geldt dat deze sterk afhangt van de afstand tot aan de bron (mijnbouwlocatie).

Om een indicatie te krijgen van verwacht geluidsniveau als gevolg van mijnbouwactiviteiten is een aantal onderzoeken naar geluidsbelasting nabij mijnbouwlocaties ten behoeve van

de opsporing en/of winning van schaliegas en steenkoolgas geraadpleegd. Het Poolse Geologische Instituut heeft als onderdeel van een onderzoek naar de milieuaspecten van een proefboring (opsporingsfase) van een mijnbouwlocatie ten behoeve van schaliegaswinning een onderzoek uitgevoerd naar de optredende geluidsniveaus tijdens het fraccen [ref. 7.]. Op verschillende afstanden en locaties van de mijnbouwlocatie zijn geluidsmetingen uitgevoerd. Dominant in de optredende geluidsbelasting bleken de aanwezige dieselmotoren en de pompen met hoog vermogen die gebruikt worden tijdens frac-activiteiten. Op de afscheiding tussen mijnbouwlocatie en omgeving zijn gemiddelde geluidsniveaus tot 78 dB¹ gemeten. Met afstand nam de geluidsbelasting af tot circa 54 dB nabij de dichtstbijzijnde woningen (op meer dan een 1 km afstand). Over mogelijk toegepaste geluidsreducerende maatregelen wordt in het onderzoek niet gesproken.

In de rapportage 'Gas Well Drilling Noise Impact and Mitigation Study' [ref. 4.] worden de resultaten van een door Behrens and Associates uitgevoerd akoestisch onderzoek gegeven naar de optredende geluidsbelastingen tijdens de boorfase van drie mijnbouwlocaties ten behoeve van schaliegaswinning nabij City of Forth Worth, Verenigde Staten. Geluidsmetingen zijn uitgevoerd ter bepaling van het achtergrondniveau. Vervolgens zijn de geluidsniveaus nabij de drie boorlocaties tijdens de verschillende fasen van het boorproces gemeten. De gemeten gemiddelde geluidsbelasting (uurgemiddelde Leq niveaus) tijdens het boorproces op een afstand van 61 m (200 voet) bedroeg 71 tot 79 dB(A). Hierbij veroorzaakte het aanbrengen van de stalen behuizing van het boorgat vanwege de draaiende dieselmotoren de grootste geluidsbelasting tot aan 102 dB(A). Deze belasting is gemeten op de mijnbouwlocatie zelf op een zeer nabije afstand van 3 m (10 voet) tot aan de boorinstallatie.

Na plaatsing van verschillende geluidsreducerende maatregelen zijn vervolgens nogmaals de geluidsbelastingen gemeten. Hierbij bleken geluidsschermen rondom de mijnbouwlocatie tot de grootste afname in geluidsniveaus te resulteren tot circa 20 dB(A). Uit de conclusie van het onderzoek [ref. 4.] volgt dat de geluidsbelasting als gevolg van de mijnbouwlocatie voldoende kan worden gereduceerd tot geaccepteerde niveaus door toepassing van voldoende en de juiste mitigerende maatregelen.

In het 'La Plata County Impact Report' [ref. 8.] wordt ingegaan op typische geluidsbelastingen (gemiddelde geluidsniveaus Ldn) van verschillende installaties die aanwezig zijn op een mijnbouwlocatie ten behoeve van de opsporing en productie van schaliegas in La Plata County, Colorado. In onderstaande tabel worden de resultaten gegeven.

Tabel 2.1. Geluidsniveaus geluidsbronnen mijnbouwlocatie La Plata County [ref. 8.]

onderdeel	gemiddeld geluidsniveau (Ldn)	afstand tot aan bron
Typical compressor station	50 dB(A)	circa 115 m (375 voet)
Pumping units	50 dB(A)	circa 100 m (325 voet)
Fuel and watertrucks	68 dB(A)	circa 150 m (500 voet)
Crane for hoisting rigs	68 dB(A)	circa 150 m (500 voet)
Concrete pump used during drilling	62 dB(A)	circa 150 m (500 voet)
Average well construction site	65 dB(A)	circa 150 m (500 voet)

Uit bovenstaande tabel volgt dat het rapport [ref. 8.] de op de mijnbouwlocatie aanwezige hijskraan en ook de verschillende af en aanrijdende vrachtwagens als maatgevende geluidsbronnen aanduidt. De gemiddelde geluidsbelasting op een afstand van circa 150 m wordt in het rapport [ref. 8.] op 65 dB(A) geschat, maar is onder andere afhankelijk van de

¹ Het geluidsniveaus wordt in het rapport [ref. 7.] in dB gegeven en niet in dB(A).

bedrijfsduur van de kraan (en overige bronnen) en de hoeveelheid vrachtwagens die in de dag-, avond- en nachtperiode af en aan rijden. De getallen in tabel 2.1 lijken voor huidige Nederlandse begrippen aan de hoge kant (behalve het compressor station) en geven naar verwachting een enigszins conservatief beeld.

De zojuist besproken geluidsonderzoeken laten een enigszins vergelijkbaar beeld zien. Met name tijdens de opsporingsfase (tijdens onder andere het boorproces) maar mogelijk ook tijdens de productiefase (afhankelijk van bijvoorbeeld benodigde pompvermogen en de activiteit) kan er in de nabijheid van de mijnbouwlocatie een behoorlijke geluidsbelasting. Uit de onderzoeken volgt de verwachting dat op kleine afstand (circa 50-60 m) van de mijnbouwlocaties ten behoeve van de opsporing en productie van schaliegas en steenkoolgas de verschillende activiteiten mogelijk leiden tot geluidsniveaus die kunnen oplopen tot circa 70-80 dB(A) wanneer er geen mitigerende maatregelen worden getroffen. Piekbelastingen op zeer nabije afstand van de bron (op de mijnbouwlocatie zelf) nemen mogelijk toe tot meer dan 100 dB(A) wanneer er geen mitigerende maatregelen worden getroffen. Tot welke geluidsbelasting dit leidt nabij een geluidsgevoelige locatie hangt met name af van de afstand tot de mijnbouwlocatie.

De geluidsniveaus kunnen worden gereduceerd door geluidsmitigerende maatregelen te treffen. In de praktijk worden vaak mitigerende maatregelen nabij een mijnbouwlocatie getroffen om zodoende aan de eisen van bevoegd gezag te voldoen. Afhankelijk van het ontwerp en de toepassing kunnen deze zeer effectief zijn [ref. 4.].

De geluidsniveaus zijn slechts een grove indicatie en dienen ter beeldvorming. Per mijnbouwlocatie afzonderlijk volgen uit een akoestisch onderzoek de te verwachten geluidsniveaus. Deze geluidsniveaus dienen dan minimaal aan de eisen van bevoegd gezag te voldoen (BARM of vergunningseisen).

Te verwachten lichtbelasting

Ook voor lichthinder kan onderscheid worden gemaakt tussen de opsporings- en productiefase van een mijnbouwlocatie. Lichthinder kan in de verschillende fasen ontstaan doordat nabijgelegen woningen of gebouwen te sterk worden verlicht, maar kan ook ontstaan doordat er te veel strooilicht wordt geproduceerd. Strooilicht kan bijvoorbeeld hinderlijk zijn voor beroeps- of amateur astronomen. In de NSVV-richtlijn [ref. 3.] worden meerdere lichtparameters besproken waarvan de twee belangrijkste de verlichtingssterkte en de lichtsterkte zijn. Voor deze twee parameters worden in de richtlijn grenswaarden gegeven ter voorkoming van hinder.

De te verwachten lichtbelasting (verlichtingssterkte en lichtsterkte) van een mijnbouwlocatie hangt sterk af van het ontwerp van de toegepaste verlichtingsinstallatie. Om een veilige werkplek te garanderen dient er voldoende verlichting op en nabij de booropstelling aanwezig te zijn. Om dit te bewerkstelligen kan worden verwacht dat lampen met veel vermogen worden toegepast die vergelijkbaar zijn aan lampen die worden gebruikt voor sportverlichting. Dit zijn over het algemeen 2000 watt lampen en geven gemiddeld 100 lumen per watt [ref. 9.]. De verwachting bestaat dat het benodigde lichtniveau tijdens de opsporingsfase enigszins hoger is dan tijdens de productiefase omdat tijdens de productiefase weinig tot geen werkzaamheden in de nacht worden verwacht. Dit in tegenstelling tot het boorproces (opsporingsfase) waarin wel werkzaamheden in de nacht worden verwacht.

De bepaling van lichtsterkte en verlichtingssterkte hangt af van welk type lamp er wordt toegepast, maar ook hoe deze lampen zijn opgesteld en bijvoorbeeld hoeveel spiegeling er optreedt [ref. 3.]. Deze aspecten zijn ontwerp-specifiek. Om tot een schatting van lichtbelasting als gevolg van een mijnbouwlocatie te komen is voornamelijk te weinig bekend. Een on-

derzoek naar te verwachten lichtbelasting voor een specifiek lichtinstallatieontwerp van een mijnbouwlocatie ten behoeve van de winning van schaliegas en steenkoolgas uitgevoerd door een specialistisch onderzoeksbureau op het gebied van lichthinder geeft een nader beeld van de te verwachten lichtbelasting.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Overzicht geldende wet- en regelgeving

Geldende wet- en regelgeving licht en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie

Voor een overzicht van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van licht- en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie is onderscheid nodig tussen licht en geluid ten gevolge van mijnbouwactiviteiten uitgevoerd vanaf een mijnbouwwerk alleen bestemd voor de opsporing van koolwaterstoffen (boorlocatie) en een mijnbouwwerk bestemd voor de (opsporing en) winning van koolwaterstoffen (productielocatie).

Een omgevingsvergunning op basis van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo') is voor de oprichting en het in werking hebben van een boorlocatie niet en voor een productielocatie wel vereist. Dit betekent dat de (tijdelijke opsporings)activiteiten op een boorlocatie niet worden gereguleerd door middel van vergunningsvoorschriften, maar door de voorschriften opgenomen in het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm). Op een productielocatie wordt de uitvoering van tijdelijke opsporings- en winningsactiviteiten eveneens gereguleerd door het Barmm, maar zijn er daarnaast op het gebruik van de productielocatie de voorschriften opgenomen in de omgevingsvergunning milieu van toepassing. Uiteraard geldt voor een productie- en een boorlocatie ook alle in het algemeen op een mijnbouwwerk en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wetgeving¹.

In het Barmm worden voorschriften voor de verlichtingsinstallatie gegeven en worden voorschriften betreffende geluidsbelasting gegeven. Er is geen mogelijkheid tot maatwerkvoorschriften ter voorkoming van lichthinder in het Barmm, wel voor geluid. In de milieuvergunning (Wabo, 2010) kunnen toegesneden voorschriften worden opgenomen ter voorkoming van lichthinder en ook geluidhinder.

Naast de voorschriften uit het Barmm en de omgevingsvergunning milieu geldt voor degene die het mijnbouwwerk drijft (de 'uitvoerder'²) met betrekking tot het voorkomen van licht- en geluidsoverlast als gevolg van de aanwezigheid van en de activiteiten op een mijnbouwwerk de algemene zorgplicht bepaling van artikel 2.1 van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit). Dit artikel benoemt in het tweede lid onder f en h het voorkomen dan wel voor zover dit niet mogelijk is het tot een aanvaardbaar niveau beperken van geluidhinder respectievelijk lichthinder als een onder de zorgplicht voor het milieu vallende plicht van de uitvoerder.

3.2. Deelvraag 2: Hoe wordt omgegaan met geluid

Hoe wordt omgegaan met geluid nabij mijnbouwlocaties?

Om te waarborgen dat de geluidsbelasting nabij een mijnbouwlocatie aan de door bevoegd gezag opgelegde geluidseisen voldoet, wordt een akoestisch adviseur ingeschakeld om een geluidsstudie te doen. In het Barmm worden eisen gesteld aan wanneer een geluidsstudie noodzakelijk is. Het is aan te bevelen om voor elke mijnbouwlocatie een akoestisch onderzoek te laten uitvoeren. Uit de studie volgt of er mogelijk sprake is van hinder en wel-

¹ Zie antwoord op vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

² Een van de medehouders van een opsporings- of winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten onder de vergunning mag verrichten of hiertoe opdracht aan een ander mag verlenen.

ke mitigerende maatregelen genomen kunnen en/of dienen te worden om aan de door bevoegd gezag gestelde geluidseisen te voldoen.

Nabij een mijnbouwlocatie ten behoeve van de opsporing en/of productie van schaliegas en steenkoolgas is geluid vrijwel altijd een milieuaspect wat aandacht verdient en ook krijgt. De reden hiervoor is dat dergelijke locaties zich karakteriseren door de aanwezigheid van technische installaties waaronder compressoren, pompen en dieselmotoren. Deze installaties zijn vaak geluidsbronnen die vanwege het continue geluid en de hoge geluidsbelasting tot hinder kunnen leiden.

Voor de productiefase van een mijnbouwlocatie is een milieuvergunning noodzakelijk. Hierin wordt de Handreiking industrielawaai en vergunningverlening als toetsingskader gehanteerd. Daarbij geldt het referentieniveau van het omgevingsgeluid als maat voor de toelaatbare geluidsbelasting. Deze is in het buitengebied (aan de rand van een woonkern) lager dan de grenswaarde in de algemene regels en er kan niet eenvoudig van worden afgeweken.

3.3. Deelvraag 3: Te verwachten geluids- en lichtbelasting

Ga na wat de geluids- en lichtbelasting (inclusief piekbelasting) is die van een mijnbouwlocatie is te verwachten tijdens de verschillende fasen van ontwikkeling, (bijvoorbeeld tijdens boren of frac-activiteiten).

Verschillende reeds uitgevoerde geluidsonderzoeken aan mijnbouwlocaties zijn geraadpleegd. Hieruit is een beeld ontstaan van te verwachten geluidsbelasting nabij een mijnbouwlocatie. Met name tijdens de opsporingsfase (tijdens onder andere het boorproces) maar mogelijk ook tijdens de productiefase (afhankelijk van bijv. benodigde pompvermogen en de activiteit) kan er in de nabijheid van de mijnbouwlocatie een behoorlijke geluidsbelasting. Op kleine afstand (circa 50-60 m) van een mijnbouwlocaties ten behoeve van de opsporing en/of productie van schaliegas kunnen verschillende activiteiten leiden tot geluidsniveaus die oplopen tot 70-80 dB(A) wanneer er geen mitigerende maatregelen getroffen worden. Piekbelastingen op zeer nabije afstand van de bron (op de mijnbouwlocatie zelf) nemen mogelijk toe tot meer dan 100 dB(A) wanneer er geen mitigerende maatregelen worden getroffen. Tot welke geluidsbelasting dit leidt nabij een geluidsgevoelige locatie hangt met name af van de afstand tot de mijnbouwlocatie. De geluidsniveaus zijn slechts een grove indicatie en dienen ter beeldvorming. Per mijnbouwlocatie geeft een akoestisch onderzoek een nader beeld van te verwachten geluidsniveaus. Deze geluidsniveaus dienen dan minimaal aan de eisen van bevoegd gezag te voldoen (BARMM of vergunningseisen).

De geluidsniveaus kunnen worden gereduceerd door geluidsmitigerende maatregelen te treffen. In de praktijk worden vaak mitigerende maatregelen nabij een mijnbouwlocatie getroffen om zodoende aan de eisen van bevoegd gezag te voldoen. Afhankelijk van het ontwerp en de toepassing kunnen deze zeer effectief zijn [ref. 4.].

Om tot een schatting van lichtbelasting als gevolg van een mijnbouwlocatie ten behoeve van de opsporing en/of winning van schaliegas en steenkoolgas te komen is vooralsnog te weinig bekend. Een onderzoek naar te verwachten lichtbelasting voor een specifiek lichtinstallatieontwerp van een mijnbouwlocatie uitgevoerd door een specialistisch onderzoeksbureau op het gebied van lichthinder geeft een nader beeld van de te verwachten lichtbelasting.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 'Kenniscentrum Infomil,' 2013. (Online). Available: <http://www.infomil.nl/>.
- [ref. 2.] Nederlandse Stichting Geluidhinder, 'Nsg-richtlijn laagfrequent geluid,' Delft, 1999.
- [ref. 3.] Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde, 'Algemene richtlijn betreffende lichthinder, deel 2 Terreinverlichting,' 2003.
- [ref. 4.] I. Behrens And Associates, 'Gas Well Drilling Noise Impact And Mitigation Study,' Hawthorne, California, 2006.
- [ref. 5.] M. Broomfield and (AEA), 'Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe,' 2012.
- [ref. 6.] Earthworks, 'Noise resources,' 2013. (Online). Available: http://www.earthworkSACTION.org/issues/detail/noise_resources#OILGASNOISE.
- [ref. 7.] Polish Geological Institute-National Research Institute, 'Environmental Aspects of Hydraulic Fracturing Treatment Performed on the Łebień LE I 2H Well,' 2011.
- [ref. 8.] La Plata County (Colorado), 'La Plata County Impact Report,' 2002. pp 3-98.
- [ref. 9.] Platform Lichthinder, 'Licht in Nederland,' 2003.

Wet- en regelgeving:

- Mijnbouwwet;
- Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm');
- Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit);
- Wet algemene bepalingen omgevingsrecht;
- Besluit algemene bepalingen omgevingsrecht;
- Regeling algemene bepalingen omgevingsrecht;
- Wet geluidhinder.

MECHANISCHE EFFECTEN AAN HET OPPERVLAK (B.4)

Wet- en regelgeving bodembeweging (B.4.1)

Monitoringstechnieken bodembeweging (B.4.2)

Toezicht op risico's van bodembeweging (B.4.3)

Representativiteit Bowland case voor Nederland (B.4.4)

Bodembewegingen als gevolg van fraccen (B.4.5)

Relatie tussen fraccen en aardbevingen in Nederland (B.4.6)

Geïnduceerde aardbevingen in Nederland en de relatie met fraccen (B.4.7)

Gevolgen van aardbevingen voor trillingsgevoelige gebouwen (B.4.8)

Risico's van aardbevingen voor gaswinning (B.4.9)

Relatie tussen bodemtypen en aardbevingen (B.4.10)

Risico's bij herinjectie van productiewater (B.4.11)

Schatting en gevolgen compactie gesteentevolume (B4.12 en B4.13)

Gevolgen van bodemdaling voor de waterhuishouding (B.4.14)



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.1
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/214
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Hoofdvraag	3
2.2. Deelvraag 1: Bodembeweging in vergunningsverlening	4
2.3. Deelvraag 2: Verhaal van schade als gevolg van bodembeweging	4
3. CONCLUSIES	5
3.1. Hoofdvraag	5
3.2. Deelvraag 1: Bodembeweging in vergunningsverlening	5
3.3. Deelvraag 2: Verhaal van schade als gevolg van bodembeweging	5
4. REFERENTIES	6

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.1 Onderzoeksvraag:

Geef een overzicht van de geldende wet- en regelgeving ten aanzien van bodembeweging (aardbevingen en bodemdaling) en hoe dit element is opgenomen in de vergunningverlening.

Geef tevens aan welk risico bestaat voor bodembewegingen en welk risico wordt aanvaardbaar geacht. Hierbij ook aandacht voor gebieden met veel natuurlijke breuken zoals in midden- en Zuid-Nederland.

1.2. Afbakening

Gezien de context van dit onderzoek wordt aangenomen dat met bodembewegingen wordt bedoeld: bodembewegingen ten gevolge van mijnbouwactiviteiten.

Onder bodembewegingen door mijnbouwactiviteiten wordt vervolgens volgens Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) verstaan:

1. bodemdaling door de winning van zout en aardgas;
2. aardbevingen die veroorzaakt worden door aardgaswinning.

De vraag is beantwoord aan de hand van:

- de Mijnbouwwetgeving [ref. 1.], in het bijzonder Hoofdstuk 4 van de Mijnbouwwet getiteld: De zorg voor een goede uitvoering van activiteiten, paragraaf 6.2 van de Mijnbouwwet en de artikelen 24 en 29 van het Mijnbouwbesluit [ref. 2.];
- de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo') [ref. 3.];
- het Burgerlijk Wetboek artikel 6: 177 [ref. 4.].

Deelvraag 1: Bodembeweging in vergunningverlening

Of de twee te onderscheiden elementen van bodembeweging, te weten bodemdaling en bodemtrilling, zijn opgenomen in vergunningverlening, wordt hier nader toegelicht.

Deelvraag 2: Verhaal van schade door bodembeweging

Hier wordt ingegaan op het verhaal van schade die door bodembeweging tengevolge van delfstofwinning is ontstaan.

Risico

De vraag of risico bestaat op bodembeweging is niet van juridische aard evenmin als de vraag over de aanvaardbaarheid van een risico. Voor dit onderwerp wordt verwezen naar onderzoeksvraag B.4.12 en B.4.13 en B.4.5 tot B.4.7.

1.3. Aanpak

Voor het verzamelen van de betreffende bepalingen is gebruik gemaakt van de website www.overheid.nl in combinatie met jaarverslagen van SodM.

2. ANALYSE

2.1. Hoofdvraag

Aspecten van bescherming van mens, natuur en milieu tegen bodembeweging zijn geregeld in Hoofdstuk 4 van de Mijnbouwwet (Zorg voor een goede uitvoering van activiteiten, artikelen 33, 35 tot en met 38 en 41). Nadere uitwerking hiervan is te vinden in artikel 24 van het Mijnbouwbesluit (het winningsplan voor koolwaterstoffen) en Hoofdstuk 4 van het Mijnbouwbesluit (Het meten van bodembeweging).

Kort samengevat verplicht de Mijnbouwwet in deze bepalingen de mijnbouwonderneming om de werkzaamheden zo uit te voeren dat geen schade ontstaat aan het milieu door bodembeweging, aan de veiligheid of het belang van een planmatig beheer van delfstoffen. Een hulpmiddel om dit vast te stellen is het door de mijnbouwonderneming in te dienen winningsplan. Dit plan geeft als het ware een prognose van het gehele winningsproces, waaronder ook de te verwachten bodembeweging en de maatregelen ter voorkoming hiervan en van schade hierdoor (art. 35, eerste lid onder f, Mijnbouwwet en artikel 24 Mijnbouwbesluit).

De beschrijving door de mijnbouwonderneming van de bodembeweging alsmede de maatregelen ter voorkoming van schade hierdoor worden in elk geval op onafhankelijke wijze getoetst door de Technische commissie bodembeweging ('Tcbb') (artikel 35, tweede lid van de Mijnbouwwet).

Om mogelijke bodembeweging te kunnen vaststellen vraagt de Mijnbouwwet in artikel 41 metingen over de periode van voor het winningsproces tot dertig jaar na beëindiging. Het mijnbouwbesluit geeft in artikel 30 aan dat voor ieder voorkomen waaruit wordt gewonnen, een meetplan wordt ingediend bij de Minister van Economische Zaken.

Bodembeweging kan zich in twee te onderscheiden vormen voordoen:

1. de grootschalige bodemdaling, die zich boven het gebied vanwaar delfstoffen worden gewonnen na verloop van lange tijd vertoont in de vorm van een komvormige, gelijkmatig verlopende bodemdaling¹ en;
2. de lokaal optredende bodemtrillingen (geïnduceerde aardbevingen) die tot schade aan gebouwen en infrastructuur kunnen leiden (zie ook B.4.7). Van deze bodemtrillingen hebben er zich sinds 1986 boven het Slochterenveld een kleine 700 voorgedaan².

Anders dan als gevolg van de winning van delfstoffen komen in Nederland voornamelijk in Limburg natuurlijke aardbevingen voor, zoals de Roermond aardbeving uit 1992. In Engeland zijn bodemtrillingen waargenomen die veroorzaakt lijken te zijn door fraccen. Dit wordt verder besproken in B.4.7. Ook door herinjectie van productiewater kunnen bodemtrillingen geïnduceerd worden (zie ook B.4.11).

Het risico van bodemtrillingen door winning van delfstoffen is een integraal onderdeel van het winningsplan: de zogenaamde seismisch risico analyse (SRA) is verplicht gesteld in artikel 24, eerste lid sub p³. De Mijnbouwwet heeft geen vergelijkbare plicht voor bodemtrillingen die mogelijk door fraccen zouden kunnen worden opgewekt; omdat fraccen een onderdeel is van winning, zit dit als het ware opgesloten in de nu reeds gebruikelijke SRA's.

¹ SodM noemt in het jaarverslag over 2011 op pagina 46 tot en met 49 de tot nu toe geconstateerde bodemdalingen.

² Het jaarverslag van SodM over 2011, pagina 49 paragraaf 3.6.3.2, Bron: KNMI.

³ SodM meldt in het jaarverslag over 2011 op pagina 49 het resultaat van de toetsing van dergelijke SRA's.

Het enige hulpmiddel, waarmee een inschatting kan worden gevraagd van de kans op bodemtrillingen door fraccen, is het werkprogramma, dat voor de aanleg en het onderhoud van alle boorgaten (inclusief fraccen) moet worden gemaakt, overeenkomstig artikel 74 van het Mijnbouwbesluit. In artikel 67 van het Mijnbouwbesluit is onder andere bepaald dat bij het aanleggen en onderhouden van een boorgat maatregelen worden genomen ter voorkoming van schade. Schade tengevolge van bodembeweging en dus ook bodemtrilling valt hieronder.

2.2. Deelvraag 1: Bodembeweging in vergunningsverlening

Bodembeweging kan optreden als gevolg van een frac-operatie of als gevolg van het winnen van koolwaterstoffen. Voor het uitvoeren van een frac-operatie op een mijnbouwwerk bestemd voor de opsporing is, tenzij het mijnbouwwerk is geplaatst in gevoelig gebied, geen vergunning nodig (anders dan een opsporingsvergunning). Het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm) is van toepassing. In dit besluit zijn geen voorschriften met het oog op bodembeweging opgenomen. Voor een mijnbouwwerk bestemd voor de winning is een Wabo-milieu-vergunning [ref. 3.] vereist. De Wabo-milieu-vergunning schrijft een maximale overdruk van 10 % voor om geïnduceerde aardbevingen te voorkomen. Dit is kleiner dan de frac-druk. Voor grotere drukken moet de veiligheid aangetoond worden. De Wabo vergunning geeft verder geen voorschriften met het oog op bodembeweging.

Het soort van voorschriften dat aan een Wabo-milieu-vergunning kunnen worden verbonden, staan in paragraaf 5.2.1 van het Besluit omgevingsrecht. Het lijkt niet mogelijk aan een Wabo-milieu-vergunning voorschriften te verbinden gericht op het voorkomen/beperken van bodemdaling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen, maar wel ten aanzien van maximaal toegestane injectiedrukken.

2.3. Deelvraag 2: Verhaal van schade als gevolg van bodembeweging

De aandacht van de wetgever is wel uitgegaan naar de gevolgen van bodembeweging; tijdens de parlementaire behandeling van de Mijnbouwwet is de positie van de Tcbb stevig in de wet neergelegd. De hoofdreden is de bescherming van bewoners van een gebied waar zich door mijnbouwactiviteiten veroorzaakte bodemtrillingen voordoen, die aan woningen schade toebrengen. De Tcbb kan op verzoek van bewoners, die er niet in geslaagd zijn om met de mijnbouwonderneming tot een regeling van schadevergoeding te komen, advies uitbrengen over het verband tussen mijnbouwactiviteiten en de opgetreden schade, overeenkomstig artikel 114, tweede lid van de Mijnbouwwet. De mijnbouwondernemingen hebben getoond zich aan het advies van de Tcbb te houden.

Op een andere plaats heeft de wetgever ook aandacht geschonken door aansprakelijkheid voor schade als gevolg van de opsporing en winning van delfstoffen vast te leggen in het Burgerlijk Wetboek, artikel 6:177. In dit artikel wordt de houder van de betreffende opsporings- of winningsvergunning aansprakelijk gesteld voor schade zowel tengevolge van een zogeheten 'blow-out' als tengevolge van de 'beweging van de bodem als gevolg van de aanleg of exploitatie van dat werk'. Met 'dat werk' wordt een mijnbouwwerk (inclusief het boorgat) bedoeld. Opvallend is dat hier tevens voor schade veroorzaakt door de aanleg aansprakelijkheid wordt gevestigd.

Ingeval van schade die vermeend een gevolg is van mijnbouwactiviteiten regelt artikel 13.1 van de Mijnbouwregeling de inhoud van een adviesaanvraag aan de Tcbb.

3. CONCLUSIES

3.1. Hoofdvraag

De voorzieningen in de Mijnbouwwet zijn voornamelijk procedureel van aard en geven geen absolute bescherming tegen bodembeweging in welke vorm dan ook. Ze laten wel zien dat de mijnbouwondernemer zich voldoende bewust moet zijn van de mogelijke kansen op en de gevolgen van bodembeweging in de omgeving waar mijnbouwactiviteiten plaatsvinden. Voor fraccen kent de wetgeving geen specifieke bepalingen op het gebied van bodembeweging in welke vorm dan ook.

3.2. Deelvraag 1: Bodembeweging in vergunningsverlening

Met betrekking tot het risico van bodembeweging ten gevolge van fraccen stelt de Mijnbouwwetgeving geen expliciete eisen voor onderzoek en ook op basis van andere wetgeving lijken deze geheel afwezig. De Wabo-milieu-vergunning schrijft een maximale overdruk van 10 % voor, om geïnduceerde aardbevingen te voorkomen. Dit is kleiner dan de frac-druk. Voor grotere drukken moet de veiligheid aangetoond worden.

Met betrekking tot het risico van bodembeweging ten gevolge van het winnen van delfstoffen schept de Mijnbouwwetgeving een aantal (voornamelijk procedurele) voorwaarden waaraan moet worden voldaan, in de vorm van winningsplan en meetplan. In deze voorwaarden is toetsing van risico op bodemtrilling opgenomen. Indien bodembeweging (en dus ook schade als gevolg hiervan) kan worden voorkomen, moeten de te nemen maatregelen zijn beschreven. Met de huidige kennis kan dit betekenen dat de productie van delfstof wordt aangepast¹.

3.3. Deelvraag 2: Verhaal van schade als gevolg van bodembeweging

De wetgeving ten aanzien van verhaal van schade door bodembeweging tengevolge van mijnbouw is louter retrospectief. De Tcbb kan wel aan iemand die schade verwacht als gevolg van bodembeweging, die redelijkerwijs het gevolg kan zijn van mijnbouwactiviteiten, kosteloos inlichtingen verstrekken over het verband tussen de bodembeweging en de mijnbouwactiviteiten.

¹ Art 24, eerste lid onder r en s Mijnbouwbesluit.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet, 31 oktober 2002, 'houdende regels met betrekking tot het onderzoek naar en het winnen van delfstoffen en met betrekking tot met de mijnbouw verwante activiteiten'.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit, 6 december 2002, 'houdende regels ter uitvoering van de Mijnbouwwet'.
- [ref. 3.] Wabo (Wet algemene bepalingen omgevingsrecht), 6 november 2008, 'houdende regels inzake een vergunningstelsel met betrekking tot activiteiten die van invloed zijn op de fysieke leefomgeving en inzake handhaving van regelingen op het gebied van de fysieke leefomgeving'.
- [ref. 4.] Burgerlijk wetboek: Boek 6. 'Algemeen gedeelte van het verbintenissenrecht', Titel 3. Onrechtmatige daad, Afdeling 2. Aansprakelijkheid voor personen en zaken, Artikel 177.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.2
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/klb2/215
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	4
2.1. Achtergrond bodemdaling door mijnbouw	4
2.2. Achtergrond aardbevingen	4
2.3. Deelvraag 1: Monitoren van bodemdaling	5
2.4. Deelvraag 2: Monitoren van aardbevingen	11
3. CONCLUSIES	14
3.1. Deelvraag 1: Monitoren van bodemdaling	14
3.2. Deelvraag 2: Monitoren van aardbevingen	14
4. REFERENTIES	16

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.2 Onderzoeksvraag:

Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om bodembewegingen (realtime) te monitoren. Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

1.2. Afbakening

Gezien de context van dit onderzoek wordt aangenomen dat met bodembewegingen wordt bedoeld: bodembewegingen ten gevolge van mijnbouwactiviteiten.

Onder bodembewegingen door mijnbouwactiviteiten wordt volgens Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) verstaan:

1. bodemdaling door de winning van zout en aardgas;
2. aardbevingen die veroorzaakt worden door aardgaswinning.

In deze onderzoeksnotitie wordt dezelfde definitie gehanteerd. Bij de beantwoording van de onderzoeksvraag wordt ook een duidelijk onderscheid gemaakt tussen monitoren van bodemdaling en monitoren van aardbevingen, omdat dit twee verschillende fenomenen zijn. Daarom zijn de volgende deelvragen hieronder gespecificeerd.

Deelvraag 1: Monitoren van bodemdaling

- Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om bodemdaling (realtime) te monitoren.
- Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

In de beantwoording van deze vraag wordt, gezien de context van het onderzoek, alleen meegenomen de bodemdaling door aardgas. Bodemdaling als gevolg van inklinking in veengebieden of door globale isostatische beweging is niet meegenomen. Evenzo bodemdaling door zoutwinning of het instorten van oude mijngangen of mergelgroeven.

Deelvraag 2: Monitoren van aardbevingen

- Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om aardbevingen (realtime) te monitoren.
- Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

Hier wordt geen onderscheid gemaakt tussen geïnduceerde aardbevingen (aardbevingen als het gevolg van menselijke activiteiten) of tektonische (van nature voorkomende) aardbevingen, omdat de monitoringstechnieken identiek zijn.

1.3. Aanpak

De onderzoeksmethode van dit onderzoek beperkt zich tot een literatuurstudie, waarbij voorrang is gegeven aan academische bronnen. Publicaties en artikelen gevonden op basis van zoekopdrachten in academische en internet zoekmachines zijn op relevantie beoordeeld op basis van inleidingen, abstracts, management samenvattingen en dergelijke.

Over bodemdalingmonitoring aan of boven het maaiveld is veel gepubliceerd. In deze studie hebben wij ons daarom beperkt tot Nederlandse publicaties en dan vooral publicaties in de context van de bodemdaling in Groningen. Over monitoring van bodemdaling onder het maaiveld zijn voornamelijk publicaties te vinden uit de olie- en gasindustrie. Informatie over

monitoring van aardbevingen in Nederland is vooral te vinden via (publicaties van) het KNMI. Op dit moment wordt vanuit de industrie (NOGEPA) de leidraad bodembeweging opgesteld. De publicatie is nog niet definitief en daarom niet gebruikt in dit onderzoek.

De belangrijkste publicaties (in termen van relevantie voor dit onderzoek) zijn nader bestudeerd. De bevindingen in deze publicaties zijn gebruikt voor de beantwoording van de onderzoeksvragen.

De achtergrond van de vraag wordt eerst kort geschetst door aanvullende informatie te geven over:

- bodemdaling door mijnbouw in Nederland;
- aardbevingen in Nederland.

Dit maakt het eenvoudiger om de beschouwing van de relevante monitoringstechnieken die daarop volgen, in de juiste context te plaatsen.

2. ANALYSE

2.1. Achtergrond bodemdaling door mijnbouw

Bodemdaling door mijnbouw in Nederland is op dit moment vooral relevant in verband met de winning van aardgas en zout. Ondergrondse kolenmijnbouw en mergelontgraving heeft in het verleden in Limburg ook geleid tot bodemdalingen. Incidenteel komen in Limburg nog wel plotselinge verzakkingen voor die te maken hebben met instortingen van oude mijn- of mergelgangen. Gezien de context van het onderzoek wordt alleen aandacht besteed aan bodemdaling door gaswinning..

2.1.1. Bodemdaling door gaswinning

Bodemdaling door gaswinning is een fenomeen dat verband houdt met het onttrekken van gas en vloeistof uit reservoirgesteente wat resulteert in een verlaging van de poriedruk. Door de druk van de bovenliggende gesteente- en grondlagen ondergaat het reservoirgesteente compactie [ref. 1, 2, 3.]. Hetzelfde fenomeen treedt ook op als gevolg van onttrekking van grondwater uit watervoerende lagen [ref. 4.]. Deze compactie is een volume vermindering in de ondergrond die uiteindelijk resulteert in een bodemdaling aan het oppervlak. De mate van compactie en dus bodemdaling hangt af van:

- de drukval in de poriën van het gesteente (verhoging van de effectieve korreldruk);
- de dikte van het reservoirgesteente; en
- de samendrukbaarheid van het gesteente (mede afhankelijk van de porositeit).

De uiteindelijke compactie (en bodemdaling) hangt af van een aantal factoren zoals geometrie van het reservoir en de diepteligging van het reservoir. Er vormt zich in de regel een bodemdalingskom, waarbij de bodemdaling in het midden van de kom het grootst is, in de regel evenredig aan de compactie in het reservoir.

In het algemeen kan men stellen, dat hoe dieper het reservoirgesteente hoe groter het gebied is dat bodemdaling ondergaat. Dit laatste is als gevolg van de geometrie van de bodemdalingskom die zich naar het oppervlak toe lateraal uitbreidt. Voor een uitgebreide beschrijving van de relatie tussen compactie en bodemdaling wordt verwezen naar de notities B.4.12 en B.4.13.

Grootschalige gaswinning op het land wordt in Nederland voornamelijk uitgevoerd door de NAM, waarbij de gasvelden in Groningen de belangrijkste zijn in relatie tot de bodemdaling.

2.2. Achtergrond aardbevingen

Aardbevingen komen in Nederland in twee vormen voor:

1. tectonische aardbevingen: van nature voorkomende aardbevingen, voornamelijk in Limburg, gerelateerd aan bewegingen langs de Peelrandbreuk;
2. geïnduceerde aardbevingen: aardbevingen die door aardgaswinning worden veroorzaakt, voornamelijk in Groningen en nabij Alkmaar.

Het mechanisme dat de geïnduceerde aardbevingen veroorzaakt, is ook gerelateerd aan compactie van het reservoirgesteente en houdt dus verband met de bodemdaling. In onderzoeksnotities B.4.7 tot B.4.11 wordt nader op het onderwerp aardbevingen ingegaan.

2.3. Deelvraag 1: Monitoren van bodemdaling

- Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om bodemdaling (realtime) te monitoren.
- Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

Het monitoren van bodemdaling kan op twee manieren gedaan:

1. meten aan of boven het maaiveld (zie ook tabel 2.1 hieronder). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen:
 - geodetische technieken;
 - geofysische technieken;
 - remote sensing technieken;
2. meten onder het maaiveld. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen:
 - boorgatmetingen;
 - geofysisch (seismisch) onderzoek (4D);
3. meten op het maaiveld of in een boorgat:
 - tiltmeters.

2.3.1. Meten aan of boven het maaiveld

Er zijn verschillende technieken om bodemdaling aan het maaiveld¹ te meten. Tabel 2.1 uit [ref. 7.] geeft een overzicht van de verschillende technieken.

Tabel 2.1. Technieken voor het meten aan of boven maaiveld [ref. 7.]

type techniek	techniek	kosten	resolutie in ruimte	resolutie in tijd	nauwkeurigheid	inzetbaarheid
geodetisch	waterpassen	hoog	puntmeting	laag	hoog	onbeperkt
geodetisch	GPS	gemiddeld	puntmeting	hoog/gemiddeld	gemiddeld	onbeperkt
geofysisch	gravimetrie	gemiddeld	puntmeting	hoog/gemiddeld	gemiddeld	onbeperkt
remote sensing	radarinterferometrie	laag	puntmeting	gemiddeld	hoog/gemiddeld	beperkt
remote sensing	laserhoogtemeting	laag	quasicontinu	hoog/gemiddeld	laag	beperkt

In het overzicht in tabel 3.1 is verder nog een kwalitatief onderscheid gemaakt tussen resolutie (in ruimte en tijd), nauwkeurigheid en de inzetbaarheid. Zonder hier verder op in te gaan geeft dit wel een beeld van de voor- en nadelen van de verschillende meetmethoden. Bodemdaling is een relatief langzaam optredend verschijnsel. De moeilijkheid bij het meten van bodemdaling is dat de meetnauwkeurigheid in dezelfde orde van grootte ligt als de zakking tussen twee meetcampagnes. De meetnauwkeurigheid en het meetinterval moet daarom goed op elkaar afgestemd zijn om het zakking van het maaiveld te kunnen meten [ref. 7.]. Bovendien bepalen de meeste meettechnieken hoogteveranderingen op puntlocaties. Daarom moet er een voldoende hoge meetdichtheid zijn om tussen de gemeten punten te kunnen interpoleren: het vertalen van de gegevens naar een bodemdalingskom. Hieronder wordt verder ingegaan op de achtergrond van de verschillende technieken.

¹ Technieken als waterpassing, en ook GPS, zijn er op gericht om de daling door diepe oorzaken te meten. Daarom staan ze diep gefundeerd. De meting is dan in feite niet meer 'aan' maaiveld, maar er onder.

Geodetische technieken

Waterpassen

Het waterpassen is een conventionele landmeetmethode. Een waterpas is een optisch geodetisch instrument waarmee met hoge precisie een horizontaal vlak gerealiseerd kan worden en hoogteverschillen ten opzichte van dit vlak kunnen worden ingemeten (zie afbeelding 2.1). Met dit instrument kunnen hoogteverschillen en afstanden tussen punten (een slag) ingemeten worden, het 'waterpassen'.

Om een hoge nauwkeurigheid te bereiken wordt doorgaans gebruik te gemaakt van een doorgaande waterpassing en wordt deze direct aangesloten op een of meerdere recentelijk gecontroleerde diep gefundeerde NAP-peilmerken. Een waterpassing die uit meer dan één slag bestaat heet een doorgaande waterpassing. Eén keer in de 5 jaar voert de NAM een zgn. 'grote waterpassing' uit in Noord-Nederland om de bodemdaling door gaswinning te monitoren. De meest recente grote waterpassing was in 2008 [ref. 8.]

GPS (Global Positioning System)

Tegenwoordig wordt bij hoogtemeting steeds meer gebruik gemaakt van GPS. Hoogtebepaling met GPS ten opzichte van het NAP is over het algemeen minder nauwkeurig dan waterpassen [ref. 9.]. Ten opzicht van een geodetisch referentieniveau (datum) is GPS echter nauwkeuriger dan waterpassing. Door veel herhaalmetingen uit te voeren kan bovendien de nauwkeurigheid vergroot worden. Er zit uitvoeringstechnisch een groot voordeel aan GPS ten opzichte van waterpassen omdat met een enkel instrument op elke willekeurige plek een meting kan worden verricht (zie afbeelding 2.2). Ook is het mogelijk om GPS instrumenten in te zetten voor continue monitoring [ref. 10.] en als signaalfunctie om (plot-selinge) bodemdaling te detecteren (zie ook paragraaf 2.3.4).

Geofysische technieken

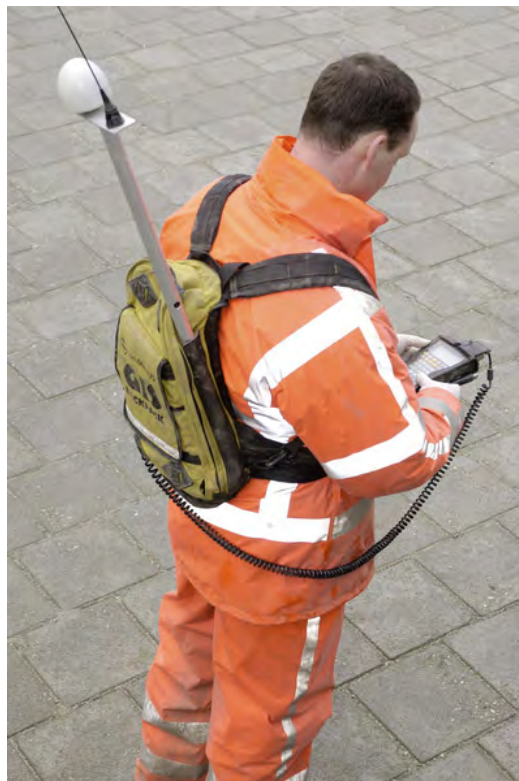
Gravimetrie

(Of zwaartekrachtmeting) is de bepaling van het zwaartekrachtsveld van de aarde. Hiermee kunnen absolute bewegingen van het aardoppervlak aan de hand van veranderingen in het zwaartekrachtsveld in de tijd worden gedetecteerd. De conventionele waterpassing levert alleen relatieve veranderingen op. Met absolute zwaartekrachtmetingen kan men dus bodemdaling onderscheiden van zeespiegelstijgingen [ref. 11.]. Gravimetrische surveys kunnen worden gedaan vanaf de grond ('terrestrial'), vanuit een vliegtuig ('air-borne') of satellieten ('space-borne'). Voorbeelden van twee recente satelliet missies zijn: GRACE [ref. 12.] en GOCE [ref. 13.].

Afbeelding 2.1. Waterpasinstrument



Afbeelding 2.2. GPS apparatuur

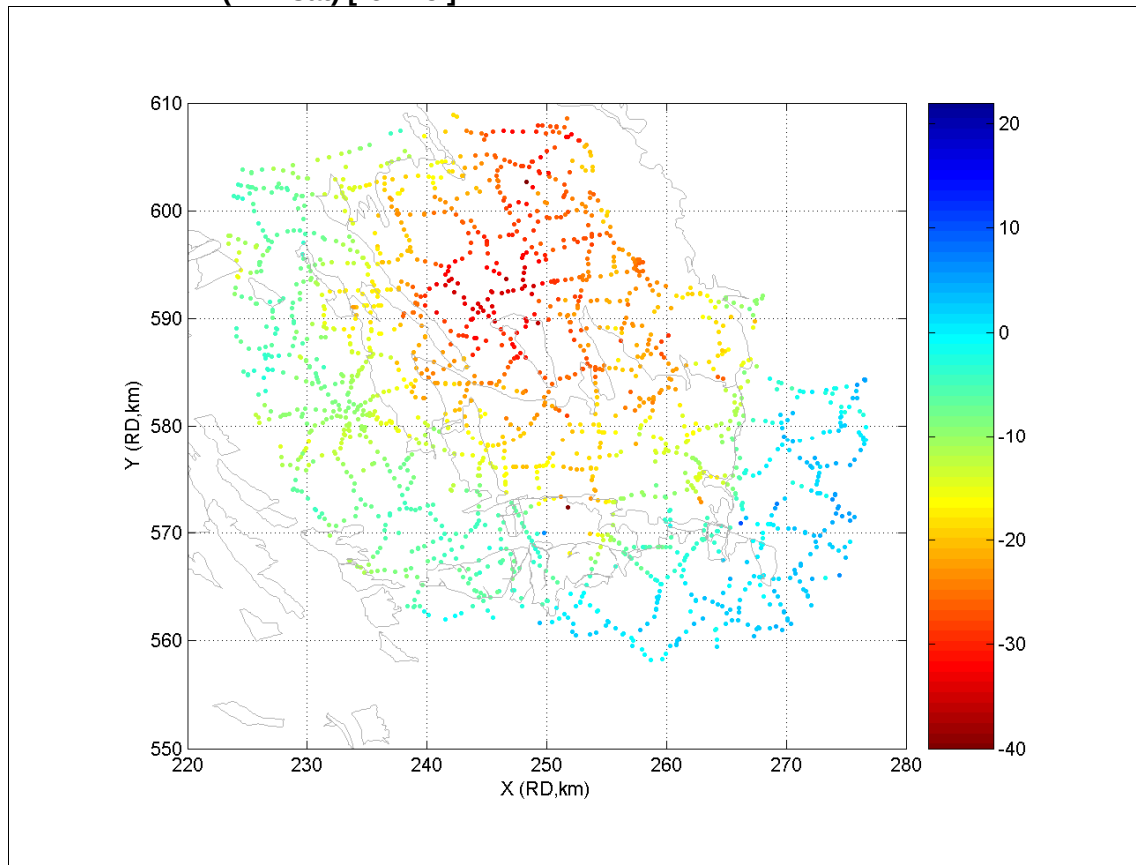


Remote sensing technieken

Radarinterferometrie (in het Engels: InSAR of Interferometric SAR¹)

Een veelbelovende nieuwe techniek waarbij op basis van radar satelliet data (van de ERS en Envisat satellieten, [ref. 14.]) bodembewegingen kunnen worden gemonitord. Dit is voor de bodembewegingen in Groningen al succesvol toegepast [ref. 8, 15, 16, 17.]. Deze techniek maakt gebruik van zogenaamde 'permanent scatterers' of 'persistent scatterers' [ref. 18.]. Dit zijn statische objecten zoals gebouwen, viaducten of wegen die bij opeenvolgende radaropnamen eenzelfde reflectie geven van het radar signaal. Door de fase verschuiving in het radar signaal van de verschillende opnamen van dit object te onderzoeken, kan een nauwkeurige analyse worden gemaakt van de (verticale) beweging van dit object. Als men veel van dit soort permanent of persistent scatterers in een gebied heeft, kan deze informatie worden geïnterpoleerd. Dit geeft een goed beeld van de algehele bodemdaling van het gebied. Overigens hoeven deze permanent scatterers niet diep-gefundeerde objecten te zijn. In dat geval geven ze geen representatieve meting van de werkelijke bodemdaling door gaswinning.

Afbeelding 2.3. Geschatte bodembeweging noord-oost Nederland (mm) per peilmerk locatie uit PS-InSAR waarnemingen van juni 2003 tot september 2008 (Envisat) [ref. 15.]



Laserhoogtemeting of laseraltimetrie (Engels: Lidar²)

Deze methode bestaat uit het scannen van een object met behulp van pulsen laserlicht. Het laserlicht wordt door het oppervlak van het gescande object gereflecteerd. Door het

¹ SAR = Synthetic Aperture Radar.

² Lidar - Light Detection and Ranging.

tijdsverschil te meten tussen de uitgaande puls en de gereflecteerde puls, kan de afstand tot het object worden gemeten. Door laserhoogtemetingen vanuit een air-borne platform (vliegtuig of helikopter) kan van een gebied of lijninfrastructuur (kade, dijk, weg of spoorlijn) een digitaal hoogtemodel worden gemaakt. Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) is bijvoorbeeld opgebouwd uit laserhoogtemetingen [ref. 19.]. Door verschillende opnames te maken van het oppervlak en deze hoogtemodellen van elkaar af te trekken, kan het verschil in hoogte van het maaiveld worden afgeleid. Omdat de absolute nauwkeurigheid (in vergelijking tot de andere technieken) relatief laag is, en de kosten van air-borne surveys relatief hoog zijn, is deze techniek niet praktisch voor het monitoren van bodemdaling van een groot gebied. Het legt echter de nulsituatie van de hoogte van een gebied goed vast.

2.3.2. Meten onder het maaiveld

Boorgatmetingen

De compactie van het reservoir kan direct gemeten worden in een boorgat dat tot in het gas reservoir reikt. In-situ reservoir compactie metingen zijn uitgevoerd in Groningen sinds 1974. De techniek is gebaseerd op regelmatige controle van de afstand tussen radioactieve markers (kogels) die langs een boorgat in het reservoir zijn geschoten. De metingen worden verricht met gamma-ray sonde die in het boorgat wordt neergelaten [ref. 8.]. In de praktijk is het echter moeilijk gebleken om de vereiste nauwkeurigheid te behalen. Het reservoir gesteente is namelijk relatief onsamendrukbaar, zodat de vereiste nauwkeurigheid zeer dicht bij meetnauwkeurigheid van het instrumentarium zit [ref. 20.]. Ontwikkelingen van deze methode hebben zich daarom ook geconcentreerd op het nauwkeuriger maken van de meetapparatuur en op het analyseren van de meetgegevens met verbeterde algoritmen [ref. 20, 21.].

Een methode om compactie indirect te meten is met behulp van akoestische metingen (Engels: 'sonic-' of 'acoustic logging') [ref. 22.]. Met deze methode wordt de voortplantingssnelheid van een geluidsgolf door het reservoirgesteente gemeten. Hieruit kan de (afname in) porositeit worden afgeleid, wat weer een maat is van de compactie ten opzichte van eerdere metingen.

Een nieuwe techniek waarmee real-time compactie monitoring kan worden uitgevoerd werkt met behulp van glasvezeltechniek (Engels: Real-time Compaction Imaging System). Hier wordt een glasvezelkabel rond de boorgatverbuizing gewikkeld. Hiermee kan de 3D vervorming van de verbuizing, en daarmee de reservoir compactie, met zoveel detail en precisie gemeten worden dat zij de conventionele boorgat monitoring met behulp van de radioactieve markers of akoestische metingen vervangt [ref. 23, 24.].

Geofysisch (seismisch) onderzoek (4D)

Een andere ontwikkeling in het monitoren van reservoircompactie is het analyseren van 'time-lapse' (4D) seismische data. Door het analyseren van de zogenaamde 'time-shift' kan onder andere de reservoircompactie gemonitord worden [ref. 25, 26, 27.]. Door middel van het combineren van de 4D data met geomechanische (computer) modellen kan de compactie en daarmee ook de (zee)bodemdaling beter voorspeld worden [ref. 28.].

2.3.3. Tiltmeters

Een methode die nog niet veel genoemd is voor het monitoren van bodemdaling door gaswinning in Groningen zijn tiltmeters. Tiltmeters kunnen zowel in een boorgat als op het maaiveld worden geplaatst. Een tiltmeter gebruikt hetzelfde principe als een normale waterpas: het meet (zeer nauwkeurig) de afwijking van het horizontale of verticale vlak met behulp van een luchtbel [ref. 29.]. Door middel van een netwerk van tiltmeters aan het op-

pervlak kan de vervorming aan het maaiveld over een groter gebied gemonitored worden. De tiltmeters die worden gebruikt door de olie- en gas industrie meten de afwijkingen elektronisch en met zeer hoge precisie. Ook kunnen deze elektronische tiltmeters gebruikt worden om real-time bodembewegingen te monitoren [ref. 30.]. De combinatie van tiltmeter gegevens met GPS metingen en normale waterpassingen, levert voordelen op in de tijdsafhankelijke analyse van de bodemdaling in relatie tot de reservoircompactie [ref. 31.]. De NAM gaat in 2013 tiltmeters installeren op bepaalde gebouwen in Loppersum en Middelstum [ref. 32.]. Dit is primair bedoeld voor het monitoren van mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen en niet specifiek voor het monitoren van bodemdaling. Tiltmeters in boorgaten worden overigens ook al geruime tijd gebruikt voor het monitoren en het evalueren van het hydraulisch fracken van conventionele en niet-conventionele reservoirs [ref. 33.]. Dit niet met het doel om bodemdaling te meten, maar om de 'frack-growth' (het 'groeien' van de breuken', oftewel de mate waarin het fracken gelukt is) te kunnen evalueren.

2.3.4. Real-time monitoren?

De noodzaak voor het real-time monitoren van bodemdaling als het gevolg van gaswinning en zoutwinning is er niet omdat de bodemdaling relatief langzaam gaat. De meetnauwkeurigheid laat het niet toe om bodemdaling op bijvoorbeeld uurbasis of zelfs dagbasis te kunnen registreren. De besproken glasvezel (boorgatmeting) en GPS monitoring leent zich echter wel voor het real-time monitoren, maar heeft hetzelfde probleem, dat de meetnauwkeurigheid bij een hoge meetfrequentie kleiner is dan bodembeweging. Het kan wel als signaalfunctie dienen om mogelijk nieuwe of gereactiveerde bodemdaling te identificeren.

2.3.5. Verantwoordelijkheid voor monitoren van bodemdaling

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) houdt toezicht op de bodembewegingen aan het maaiveld als gevolg van aardgaswinning en zoutwinning. De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen van bodembeweging als gevolg van delfstofwinning. Wat er gemeten wordt ligt vast in een jaarlijks in te dienen en goed te keuren meetplan. Dit is conform artikel 30 tot 33 in Hoofdstuk 4 van het Mijnbouwbesluit (zie onderzoeksnotitie B.4.1 voor een nadere uitleg).

In het mijnbouwbesluit is niet vastgelegd met welke methode en met welke nauwkeurigheid de bodemdaling moet worden gemeten. SodM geeft wel in een richtlijn aan [ref. 34.] bij toepassing van secundaire waterpassingen als meetmethode de meest recente richtlijnen en normen 'Specificaties Doorgaande Waterpassing instandhouding NAP-net' van Rijkswaterstaat Adviesdienst Geo-Informatie en ICT (RWS-AGI) te hanteren¹. De Adviesdienst beoordeelt ook de meetresultaten die door de mijnbouwonderneming zijn uitgevoerd. Vervolgens worden de meetgegevens op basis van het Mijnbouwbesluit opgeslagen en gerapporteerd in een 'meetregister' [ref.35]. Conform artikel 31, lid 3, mijnbouwbesluit, dient het meetregister 12 weken na het verrichten van de waterpassing aan de IGM te worden overhandigd [ref. 34.]. De meetgegevens worden gepubliceerd via de website NL Olie- en Gas Portaal: www.nlog.nl.

Ook is wettelijk vastgelegd in paragraaf 6.2 van de Mijnbouwwet (art. 113 tot en met 122) dat de Commissie Bodembeweging (TCBB) als onafhankelijk adviesorgaan optreedt om aan de minister van Economische Zaken en aan burgers advies te geven over de gevolgen van delfstofwinning, de hierdoor veroorzaakte bodembeweging en de mogelijk ontstane schade [ref. 36.].

¹ RWS-AGI heet sinds 1 april 2013: Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening (RWS-CIV).

2.4. Deelvraag 2: Monitoren van aardbevingen

- Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om aardbevingen (realt-time) te monitoren.
- Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

2.4.1. Monitoringstechnieken voor aardbevingen

Seismometer of seismograaf

Aardbevingen worden gemeten met een seismometer of seismograaf. Dit instrument bestaat meestal uit een set van drie seismometers: een voor de verticale beweging en twee voor de horizontale bewegingen (zie afbeelding 2.4). De seismometer voor de verticale beweging bestaat uit een gewicht dat aan een veer is opgehangen. De meter voor de horizontale is een slinger. Na een beweging zal de massa weer terugkeren in zijn oorspronkelijke evenwichtsstand [ref. 37.]. Een seismometer wordt typisch gebruikt voor het meten van zeer kleine bewegingen en lage frequenties.

Versnellingsmeter

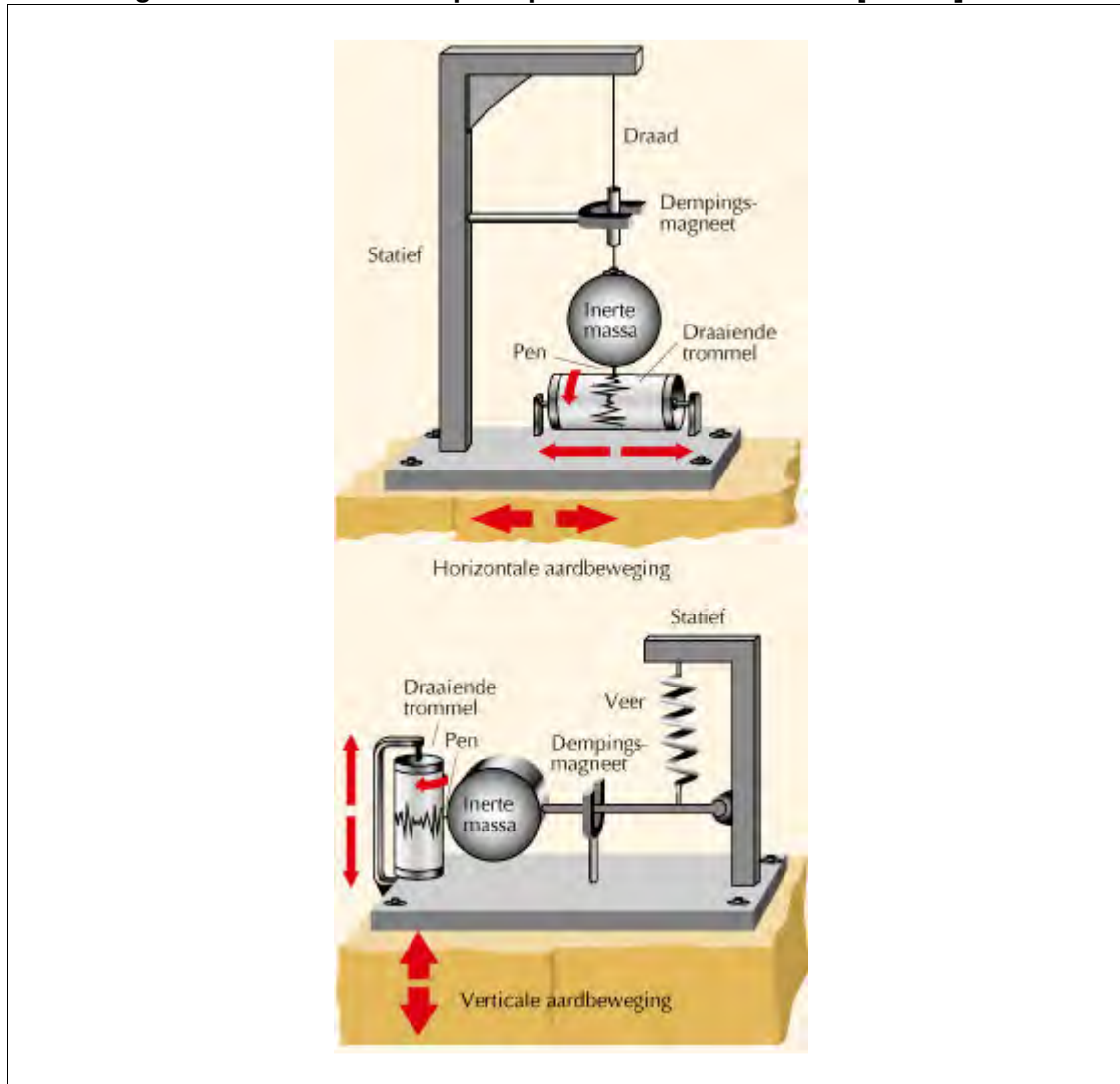
Trillingen aan het aardoppervlak of in gebouwen kunnen worden gemeten met versnellingsmeters (Engels: 'accelerometers'). Deze geven inzicht in de manier waarop de ondergrond en daarmee ook gebouwen op (aardbevings-) trillingen reageren. In tegenstelling tot een seismometer (die verplaatsing meet), registreert een versnellingsmeter direct versnelling ten opzichte van de zwaartekracht (in g's^1 of m/s^2) en dan nog voornamelijk bij hogere frequenties. Versnellingsmeters werken met MEMS, dit zijn micro-electromechanische systemen. Deze zitten tegenwoordig bijvoorbeeld ook in smartphones en tablets.

Geofoons

Een geofoon bestaat uit een magneetje dat aan een veer is gemonteerd. Rondom het magneetje is een spoel bevestigd. Door trillingen beweegt het magneetje op en neer door de spoel. Dit levert een verandering op in het magnetisch veld en dus een elektrisch signaal, dat wordt geregistreerd. Het signaal is een maat voor versnelling of snelheid. Geofoons zijn de (analoge) voorlopers van de (digitale) versnellingsmeters, maar meten hetzelfde. Geofoons worden voornamelijk gebruikt als meetinstrument in geofysisch (seismisch) onderzoek, maar kunnen ook aardbevingstrillingen opmeten. Het voordeel van geofoons is dat ze robuust zijn en geen voeding nodig hebben.

¹ $1 \text{ g} = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Afbeelding 2.4. Illustratie van het principe van een seismometer [ref. 37.]



2.4.2. Verantwoordelijkheid voor monitoren van aardbevingen

De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het monitoren van de geïnduceerde seismische activiteit in de mijnbouwconcessie. Hiervoor dient de mijnbouwonderneming elke jaar een goed te keuren meetplan in bij het ministerie van Economische Zaken. Het KNMI voert de metingen uit in opdracht van de mijnbouwonderneming.

Het KNMI is wel verantwoordelijk voor het monitoren van tektonische seismische activiteit in Nederland. Het KNMI voert seismische metingen uit, beheert verschillende seismische netwerken en voert bovendien aardbevingsrisico analyses uit [ref. 38].

In het noordoostelijk deel van Nederland is sinds 1986 een seismisch meetnet operationeel. In 1995 is het meetnet uitgebreid en sindsdien wordt op 8 locaties gemeten op vier verschillende dieptes met behulp van geofoons tot een diepte van 200 tot 300 m. [ref. 39]. De geofoons zijn aangebracht in boorgaten, waarbij geen beuizing is aangebracht. In 2010 is het netwerk verder uitgebreid. Het netwerk in het noordelijk deel van Nederland momenteel (2012) uit 17 meetlocaties ('boorgatstations') en 23 versnellingsmeters [ref. 38].

De NAM is in samenwerking met KNMI begin 2012 gestart met de uitbreiding van het seismische meetnet van het Groningen veld. Om de locatie van de hypocentra¹ beter te kunnen bepalen verricht de NAM aanvullende metingen zoals in april 2013 bij de te boren Borgsweer put. Later in 2013 zullen op verschillende dieptes geofoons geïnstalleerd worden in de Zeerijp put gelegen nabij Loppersum. Verder zal NAM een innovatief passief seismisch netwerk laten installeren om met hogere resolutie te kunnen meten [ref. 40.].

2.4.3. Real-time monitoren

Het seismisch netwerk van het KNMI wordt gedeeltelijk real-time en gedeeltelijk 'near real-time' gemonitord. De meest recente uitbreiding van het seismisch netwerk met de digitale versnellingsmeters stuurt de gegevens wel real-time door naar het KNMI in De Bilt. De near real-time gegevens worden echter eerst lokaal opgeslagen na een 'event', waarna de gegevens via een belverbinding worden gedownload. Het is wel de ambitie van het KNMI om deze datastromen in de toekomst beter te integreren om sneller tot een analyse te komen na een aardbeving [ref. 38.].

¹ Het hypocentrum is de werkelijke positie van de bron van de aardbeving, dus ook in de diepte. Normaal wordt gesproken over het 'epicentrum'; dit is de geprojecteerde locatie van de bron van de aardbeving op het aardoppervlak.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Monitoren van bodemdaling

Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om bodemdaling (realtime) te monitoren.

Het monitoren van bodemdaling wordt op drie manieren gedaan:

1. meten aan of boven het maaiveld. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen:
 - geodetische methoden (waterpassen, GPS);
 - geofysische methoden (gravimetrie);
 - remote sensing methoden (radar interferometrie, laserhoogtemetingen);
2. meten onder het maaiveld. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen:
 - boorgatmetingen (radioactieve markers, akoestisch metingen, glasvezeltechniek);
 - geofysisch (seismisch) onderzoek (4D);
3. meten aan en het maaiveld en in een boorgat:
 - tiltmeters.

Waterpassen is de standaard manier van monitoren. De meetfrequentie is vrij laag (elke 5 jaar wordt een grote meetserie gemaakt). Radar interferometrie is met het gebruik van zogenaamde 'permanent scatterers' een veelbelovende nieuwe techniek die goed als aanvulling zou kunnen dienen voor de standaard manier van monitoren. GPS kan gebruikt worden voor monitoring en als signaalfunctie.

Om inzicht te krijgen in het compactie gedrag van het gasreservoir zijn ook metingen onder het maaiveld nodig. Dit is vooral van belang voor het relateren van de bodemdaling met het reservoir gedrag en daarmee voor het voorspellen van toekomstige bodemdaling.

Voor een goede interpretatie van de bodemdaling gegevens kan niet met één meetmethode worden volstaan. Het is belangrijk om verschillende gegevens te combineren om tot een goed inzicht te komen welke processen verantwoordelijk zijn voor de bodemdaling en een goede verwachting te kunnen geven van de toekomstige bodemdaling.

Gezien het relatief langzame proces van bodemdaling, is real-time monitoren niet noodzakelijk. Met bepaalde meettechnieken, zoals GPS, tiltmeters en glasvezel is real-time monitoren met huidige stand der techniek echter wel mogelijk.

Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

Staatstoezicht op de Mijnen houdt toezicht op de bodembewegingen aan het maaiveld als gevolg van aardgaswinning en zoutwinning. De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen van bodembeweging als gevolg van delfstofwinning op basis van een goedgekeurd meetplan.

3.2. Deelvraag 2: Monitoren van aardbevingen

Geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om aardbevingen (realtime) te monitoren.

De volgende instrumenten worden gebruikt om aardbevingen en aardbevingstrillingen te meten:

- seismometer of seismograaf;

- versnellingsmeter;
- geofoons.

Hoe is de verantwoordelijkheid hiervoor geregeld?

De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het monitoren van geïnduceerde seismische activiteit in de mijnbouwconcessie en dient dit vast te leggen in een meetplan. Het KNMI is verantwoordelijk voor het monitoren van tektonische seismische activiteit in Nederland. Het KNMI voert in opdracht van de mijnbouwonderneming de seismische metingen uit, beheert verschillende seismische netwerken en voert bovendien aardbevingsrisicoanalyses uit.

Het netwerk in het noordelijk deel van Nederland bestaat momenteel uit 17 boorgat stations en 23 versnellingsmeters. De NAM is in samenwerking met KNMI begin 2012 gestart met de uitbreiding van het seismische meetnet van het Groningen veld

Het seismisch netwerk wordt op dit moment gedeeltelijk in real-time gemonitord. Het andere deel van het netwerk is gebaseerd op near real-time monitoren (inbellen na een 'event').

Het is aan te bevelen om in de toekomst voor het monitoren van bodembewegingen de nog niet gepubliceerde NOGEPa industrieleidraad voor bodembeweging te raadplegen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] J. Geertsma, 'Land Subsidence Above Compacting Oil and Gas Reservoirs FGd,' *Journal of Petroleum Technology*, pp. 734-744, 1973.
- [ref. 2.] J. A. de Waal, J. P. A. Roest, P. A. Fokker, I. C. Kroon, and J. N. Breunese, 'The effective subsidence capacity concept: How to assure that subsidence in the Wadden Sea remains within defined limits?,' *Netherlands Journal of Geosciences*, vol. 3, no. 12, pp. 385-399, 2012.
- [ref. 3.] D. Doornhof, T. G. Kristiansen, N. B. Nagel, P. D. Pattillo, and C. Sayers, 'Compaction and Subsidence,' *Oilfield Review*, no. Autumn 2006, pp. 50-68, 2006.
- [ref. 4.] M. Taniguchi, Ed., *Groundwater and subsurface environments*. Springer, 2011, p. 312.
- [ref. 5.] I. Hans, 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau Pilot Stabilisatie Cavernes Twente,' 2012.
- [ref. 6.] NLOG, 'het NL Olie- en Gasportaal,' 2013. (Online). Available: <http://www.nlog.nl/>.
- [ref. 7.] KNAW, 'Bodembeweging in Nederland,' 2007.
- [ref. 8.] NAM, 'Bodemdaling door Aardgaswinning 2010,' no. September. NAM, Assen, 2010.
- [ref. 9.] A. de Bruijne, J. van Buren, A. Kösters, and H. van der Marel, *De geodetische referentiestelsels van Nederland*. Nederlandse Commissie voor Geodesie, 2005, p. 132.
- [ref. 10.] G. Ketelaar, W. Van Der Veen, and D. Doornhof, 'Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost 2005 - 2010,' 2011.
- [ref. 11.] M. Crombaghs, E. de Min, and G. Strang van Hees, *The first absolute gravity measurements in The Netherlands. Period 1991-1999*, 50th ed., no. March. Delft: NCG, Nederlandse Commissie voor Geodesie, 2002, p. 32.
- [ref. 12.] NASA and GFZ, 'GRACE,' 2013. (Online). Available: <http://www.csr.utexas.edu/grace/>. (Accessed: 01-May-2013).
- [ref. 13.] ESA, 'GOCE,' 2013. (Online). Available: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE. (Accessed: 01-May-2013).
- [ref. 14.] ESA, 'ENVISAT,' 2013. (Online). Available: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat>. (Accessed: 01-May-2013).
- [ref. 15.] NAM, 'Bodemdaling Groningen. Op basis van InSAR waarnemingen 1993-2008,' 2008.
- [ref. 16.] R. F. Hanssen, 'Satellite radar interferometry for deformation monitoring: a priori assessment of feasibility and accuracy,' *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 6, no. 3-4, pp. 253-260, Mar. 2005.
- [ref. 17.] V. B. H. (Gini) Ketelaar, *Satellite Radar Interferometry*, vol. 14. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009.
- [ref. 18.] B. M. Kampes and R. F. Hanssen, 'Ambiguity resolution for permanent scatterer interferometry,' *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no. 11, pp. 2446-2453, Nov. 2004.
- [ref. 19.] AHN, 'Actueel Hoogtebestand Nederland,' 2013. (Online). Available: <http://www.ahn.nl/>. (Accessed: 01-May-2013).
- [ref. 20.] E. Mobach and H. Gussinklo, 'In-situ reservoir compaction monitoring in the Groningen field,' in *Proceedings of Rock Mechanics in Petroleum Engineering*, 1994, p. 13.

- [ref. 21.] A. J. de Cock, T. J. Johnson, T. Hagiwara, H. A. Zea, and F. Santa, 'Gulf of Mexico Subsidence Monitoring Project With a New Formation-Compaction Monitoring Tool,' SPE Drilling & Completion, vol. 13, no. 4, p. 8, Dec. 1998.
- [ref. 22.] K. Abbas and C. M. Griffiths, 'Influence of Effective Stress on the Acoustic Velocity and Log-Derived Porosity,' SPE Reservoir Evaluation & Engineering, vol. 2, no. 1, Feb. 1999.
- [ref. 23.] J. Pearce, P. Legrand, T. Dominique, B. Childers, F. Rambow, and D. Dria, 'Real-Time Compaction Monitoring With Fiber-Optic Distributed Strain Sensing (DSS),' in SPWLA 50th Annual Logging Symposium, June 21 - 24, 2009, The Woodlands, Texas, 2009, p. 11.
- [ref. 24.] F. Rambow, D. Dria, B. Childers, M. Appel, J. Freeman, M. Shuck, S. Poland, and T. Dominique, 'Real-Time Fiber-Optic Casing Imager,' SPE Journal, vol. 15, no. 4, Dec. 2010.
- [ref. 25.] P. Schutjens, K. Hindriks, and M. Myers, 'Depletion-induced reservoir compaction: Two geomechanical models and their application in the planning of subsidence monitoring,' in The 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium (USRMS), June 29 - July 2, 2008, San Francisco, CA, 2008.
- [ref. 26.] K. Hindriks, P. Schutjens, J. van der Horst, and C. Collins, 'Modeling Overburden Stress Change Due to Compaction of Stacked Reservoirs and Application of Model Results in 4D-Seismic and Infill Drilling,' in Proceedings of Offshore Technology Conference, 2008.
- [ref. 27.] P. Schutjens, 'Reservoir Monitoring With Seismic Timeshifts: Geomechanical Modeling For Its Application in Stacked Pay,' in Proceedings of International Petroleum Technology Conference, 2005.
- [ref. 28.] J. V. Herwanger and S. a. Horne, 'Linking reservoir geomechanics and time-lapse seismics: Predicting anisotropic velocity changes and seismic attributes,' Geophysics, vol. 74, no. 4, pp. W13-W33, Jul. 2009.
- [ref. 29.] J. Dunncliff, Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons, 1993, p. 608.
- [ref. 30.] E. Davis, C. Wright, S. Demetrius, J. Choi, and G. Craley, 'Precise Tiltmeter Subsidence Monitoring Enhances Reservoir Management,' in Proceedings of SPE/AAPG Western Regional Meeting, 2000, p. 6.
- [ref. 31.] A. G. Muntendam-Bos, I. C. Kroon, and P. A. Fokker, 'Time-dependent Inversion of Surface Subsidence due to Dynamic Reservoir Compaction,' Mathematical Geosciences, vol. 40, no. 2, pp. 159-177, Jan. 2008.
- [ref. 32.] J. van Elk and D. Doornhof, 'Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity in Groningen - Planning Report,' 2012.
- [ref. 33.] K. Evans, G. Holzhausen, and D. M. Wood, 'The Geometry of a Large-Scale Nitrogen Gas Hydraulic Fracture Formed in Devonian Shale: An Example of Fracture Mapping With Tiltmeters,' Society of Petroleum Engineers Journal, vol. 22, no. 5, Oct. 1982.
- [ref. 34.] SodM, 'Bijlage bij SodM-brief 5052482 van 18-8-2005,' vol. 2002. p. 1, 2005.
- [ref. 35.] SodM, 'Toelichting Meetregisters.' p. 2005, 2005.
- [ref. 36.] TCBB, 'Bestuursreglement van de Technische commissie bodembeweging.' pp. 1-6, 2003.
- [ref. 37.] KNMI, 'Koninklijk Meteorologisch Instituut,' 2013. [Online]. Available: www.knmi.nl. [Accessed: 01-May-2013].
- [ref. 38.] B. Dost, F. Goutbeek, T. Van Eck, and D. Kraaijpoel, 'Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010,' De Bilt, 2012.
- [ref. 39.] B. Dost and H. Haak, A comprehensive description of the KNMI seismological instrumentation. De Bilt: Royal Netherlands Meteorological Institute, 2002, p. 65.
- [ref. 40.] L. E. C. van de Leemput, 'Actualisatie seismologische inzichten Groningenveld,' no. 04008869. pp. 1-8, 2013.



Witteveen+Bos
Hoogoordreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.3
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/216
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE

blz.

1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Hoofdvraag	3
2.2. Subvraag 1: Veiligheid van de mens.	3
2.3. Subvraag 2: Bodembeweging	4
2.4. Subvraag 3: Milieuverontreiniging	4
3. CONCLUSIES	6
3.1. Subvraag 1	6
3.2. Subvraag 2	6
3.3. Subvraag 3	6
3.4. Hoofdvraag	6
4. REFERENTIES	7

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.3. Onderzoeksvraag

Geef aan hoe Staatstoezicht op de Mijnen concreet toezicht houdt met het oog op de genoemde risico's.

1.2. Afbakening

SodM's toezichthoudende taak wordt benaderd vanuit het wetgevingsperspectief, met name het kader van de Mijnbouwwet [ref. 1.] en de invulling van de wettelijke toezichttaak in het meerjarenplan: 'Strategie & Programma 2012- 2016' van SodM [ref. 6.]. Het antwoord gaat via subvragen in op het toezicht met betrekking tot:

- risico voor de veiligheid van de mens;
- risico van bodembeweging;
- risico van milieuverontreiniging.

Subvraag 1: Veiligheid van de mens

In de wetgeving is aandacht geschonken aan de bescherming van de mens, waar het de werknemers betreft die op de mijnbouwlocatie werkzaam zijn. Het is de Arbeidsomstandighedenwetgeving, die -mede naar aanleiding van de Piper-Alpha ramp in 1988- veel regelingen bevat die gericht zijn op de bescherming van de op de locatie werkende mens.

Subvraag 2: Bodembeweging

Voor bodembeweging is de Mijnbouwwetgeving [ref. 1.] de enige wettelijke regeling waarin bepalingen zijn opgenomen in de vorm van een **meetplan**, waardoor (slechts) achteraf kan worden vastgesteld of bodemdaling zich heeft voorgedaan.

Voor bodemtrillingen is het **winningsplan** van belang, omdat hierin een waarschijnlijkheid van het optreden van deze trillingen wordt gegeven.

Subvraag 3: milieuverontreiniging

De Mijnbouwwet [ref. 1.] en de milieuwetgeving [ref. 5.] beogen beiden het milieu te beschermen. Aangegeven wordt hoe dit in deze wetsystemen is geregeld.

1.3. Aanpak

Voor het beantwoorden is gebruik gemaakt van de wetgevingswebsite van Overheid.nl en een interview met de Inspecteur-Generaal der Mijnen. Tevens is geput uit de publicatie 'Strategie en Programma 2012-2016' [ref. 6.], jaarverslagen en andere berichten van de website van Staatstoezicht op de Mijnen.

2. ANALYSE

2.1. Hoofdvraag

SodM houdt toezicht op risico's voor de mens, bodembeweging en milieuverontreiniging door middel van toetsing van de aanpak door de mijnbouwonderneming zoals neergelegd in de documenten van de mijnbouwonderneming. Deze documenten omvatten het:

- Veiligheids- & Gezondheidszorgsysteem;
- Veiligheids- & Gezondheidsdocument;
- overige in wettelijke regels opgenomen documenten als bijvoorbeeld werkprogramma's en de dagelijkse rapportages.

Naast deze over het algemeen schriftelijke controle wordt projectmatig geïnspecteerd¹ en worden veldbezoeken gebracht, waarbij de inspecteurs zich ter plaatse een oordeel kunnen vormen over de wijze waarop de mijnbouwactiviteiten uitgevoerd worden.

In het **werkprogramma** (op basis van art. 74 Mbb en afdeling 8.2 Mbr) geeft de mijnbouwonderneming aan hoe een individuele boring zal worden uitgevoerd en welke problemen verwacht worden. Tevens wordt een inschatting gemaakt van eventuele ongewenste gevolgen en de wijze hoe hiermee om te gaan. Het werkprogramma wordt aan de Inspecteur-Generaal der Mijnen voorgelegd, die dit toetst aan de wettelijke normen en aan de normen die de industrie gebruikelijk hanteert.

Tijdens de aanleg, reparatie of buiten gebruik stellen van een boorgat wordt dagelijks de gang van zaken gerapporteerd overeenkomstig art 8.2.2.1 Mbr. Indien hiertoe aanleiding bestaat zal SodM de mijnbouwonderneming vragen naar het hoe en waarom van een en ander. In dagelijkse taal gezegd: SodM zal de onderneming dicht op de huid zitten.

In het bijzonder lijkt het **Veiligheids- & Gezondheidsdocument** (V&G Document) aandacht te verdienen als totaal inventaris van de risico's van bepaalde werkzaamheden. Dit veelomvattend document is echter gebaseerd op de Arbeidsomstandighedenwetgeving, en beperkt zich diensgevolge tot gezondheids- en veiligheidsrisico's voor de werknemers. Ingevolge artikel 37, tweede lid van het Mijnbouwbesluit, ziet het V&G Document ook op de externe veiligheid.² Aanneمة van SodM is dat de gevraagde documenten (maar veel meer nog de activiteiten) beantwoorden aan de wettelijke eisen.

2.2. Subvraag 1: Veiligheid van de mens.

In het kader van de Arbowet³ is een Risico-Inventarisatie en evaluatie vereist voor alle werkzaamheden; voor de delfstofwinning is dit te vinden in het Veiligheids- & Gezondheidsdocument⁴. Deze uitgebreide risico-evaluatie heeft tevens gevolgen voor de mens buiten de mijnbouwlocatie; anders gezegd: de externe veiligheid⁵ wordt mede gediend door deze eisen uit de Arbowet, het Arbobesluit en de Arboregeling.

SodM hanteert bij het uitvoeren van het toezicht het zogeheten Bow Tie model waarmee op systematische wijze de gevaren op ongewenste gebeurtenissen worden bepaald alsmede de barrières die een ongewenste gebeurtenis moeten verhinderen. Hiernaast is in dit model

¹ Strategie & Programma 2012-2016 pagina 6 rechterkolom.

² Zie Nota van Toelichting bij het Mijnbouwbesluit Staatsblad 2002 604 pagina 91-92.

³ Artikel 5 Arbowet.

⁴ Zie artikel 2.42 Arbobesluit.

⁵ Ingevolge artikel 37, tweede lid van het Mijnbouwbesluit.

aangegeven welke gevolgen voortvloeien uit een ongewenste gebeurtenis en welke maatregelen nodig zijn ter voorkoming van de mogelijk gevolgen.¹

2.3. Subvraag 2: Bodembeweging

Voor bodembewegingaspecten is het wettelijk kader geschetst in de beantwoording van vraag B.4.1. Het toezicht zal zich met name toespitsen op de risicoanalyse die van het betreffende gebied in het **winningsplan** is opgenomen², de wijze van uitvoering van de boorwerkzaamheden, zoals aangegeven in het **werkprogramma** en de wijze van onttrekking van gas aan het gesteente, als genoemd in artikel 24, eerste lid sub h van het Mijnbouwbesluit. De winning van schaliegas zal naar verwachting³ niet leiden tot bodemdaling.

Het instrument dat beschikbaar is om vast te stellen of bodemdaling optreedt, is het **meetplan**, dat voor het begin van de winning moet worden ingediend. In het meetplan zal een meetstrategie worden gepresenteerd die rekening houdt met te verwachten geologische gevolgen van boren en/of winnen. Overeenkomstig artikel 30, zesde lid van het Mijnbouwbesluit loopt het meetplan gedurende de winning en de erna volgende 30 jaren. SodM kijkt mee naar de resultaten van de metingen.

Door injectie van (frac-) vloeistoffen in de diepe ondergrond, kunnen onder bepaalde condities ook aardbevingen worden gegenereerd (zie B.4.7). Het KNMI beheert in samenwerking met de NAM het meetnetwerk voor geïnduceerde aardbevingen (zie B.4.2).

In de winningsfase is toetsen aan het **winningsplan** voor SodM een van de instrumenten voor het houden van toezicht op een goed verloop van de operatie. Het winningsplan bestaat onder meer aandacht aan bodembewegingsaspecten en de hieraan verbonden risico's, overeenkomstig art 35, eerste lid sub f van de Mijnbouwwet en artikel 24, eerste lid sub m tot en met s van het Mijnbouwbesluit. De Technische Commissie Bodembeweging adviseert op dit punt de Minister van Economische Zaken (art 35, tweede lid Mijnbouwwet).

2.4. Subvraag 3: Milieuverontreiniging

Milieuverontreiniging zal kunnen ontstaan door ongewenst uittreden van mijnbouwhulpstoffen door of langs de boor- of productiepijpen in de ondergrond of langs het oppervlak.

Een tweede verschijningsvorm is verontreiniging door het uittreden van mijnbouwhulpstoffen of gewonnen methaangas, door gebreken in een afsluitende gesteentelaag boven de schalielaag (lagen) waaruit geproduceerd wordt. Beide vormen zijn niet specifiek voor schaliegaswinning. SodM zal hierom toezicht uitoefenen zoals gebruikelijk bij conventionele winning met behulp van boorgaten.

Het fraccen van formaties is niet nieuw in Nederland; reeds een 170-tal keren is fraccen gebruikt bij conventionele winning. Wel nieuw is het fraccen van schalielagen waarmee SodM evenals de mijnbouwondernemingen in Nederland nog geen ervaring heeft opgedaan. De drukken en volumes waarmee gefract wordt voor schaliegas is in het algemeen hoger dan bij 'conventioneel fraccen'. Het risico van uitlopen van fracs naar de bovengrond leidt tot extra aandacht van SodM naar de geologische rapportage over de bovengelige formaties en in het bijzonder de afsluitende lagen. Deze rapportage vormt bestanddeel van het werkprogramma dat zowel in de opsporings- als de winningsfase vereist is voor de aan-

¹ Zie Strategie & Planning 2012-2016 pagina 29.

² Artikel 24, eerste lid sub p en q Mijnbouwbesluit.

³ Zie het antwoord op de vragen B.4.5, B.4.12 en B.4.13.

leg van een boorgat. De branchevereniging Nogepe heeft in het regulier overleg met SodM toegezegd hiervoor bij haar leden een specifiek fracprogramma aan te bevelen.

3. CONCLUSIES

3.1. Subvraag 1

In het kader van de Arbowet is een Risico-Inventarisatie en evaluatie vereist voor alle werkzaamheden; voor de delfstofwinning is dit te vinden in het Veiligheids- & Gezondheidsdocument. De externe veiligheid wordt mede gediend door deze eisen uit de Arbowet, het Arbobesluit en de Arboregeling. SodM hanteert bij het uitvoeren van het toezicht het zogeheten 'Bow Tie' model.

3.2. Subvraag 2

Voor bodembewegingsaspecten spitst het toezicht zich voornamelijk toe op de risicoanalyse die van het betreffende gebied in het winningsplan is opgenomen, de wijze van uitvoering van de boorwerkzaamheden, zoals aangegeven in het werkprogramma en de wijze van onttrekking van gas aan het gesteente, als genoemd in het Mijnbouwbesluit. Het instrument dat beschikbaar is om vast te stellen of bodemdaling optreedt, is het meetplan. In de winningsfase is toetsen aan het winningsplan voor SodM een van de instrumenten voor het houden van toezicht op een goed verloop van de operatie.

3.3. Subvraag 3

Op basis van huidig inzicht is een blow-out tengevolge van fraccen en de daarmee verbonden nadelige gevolgen voor veiligheid en milieu niet te verwachten. Het gaat immers om een methode die al in redelijk ruime mate is toegepast bij conventionele opsporing en winning van delfstoffen. Gelet op het ontbreken van feitelijke informatie over de geologische situatie in Nederland en de interactie met het fraccen van de schalielagen zijn verrassingen niet uit te sluiten. Ook de gehanteerde frac-drukken, de hoeveelheid frac-jobs en de volumes die door het boorgat gaan, verschillen van conventionele winning. Door gebruik van 'multi-well pads' kan ook het aantal putten per locatie kan groter zijn dan bij conventionele winning. Het verdient daarom aanbeveling dat SodM extra energie besteedt aan het houden van toezicht op boringen ten behoeve van de opsporing of winning van schaliegas.

3.4. Hoofdvraag

Over het algemeen kan ervan worden uitgegaan dat het wettelijk instrumentarium dat SodM ten dienste staat voor het uitoefenen van toezicht voldoende is. Aangezien sprake is van nieuwe aspecten bij de opsporing en winning is intensivering van het toezicht door SodM aan te bevelen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit.
- [ref. 3.] Mijnbouwregeling.
- [ref. 4.] Arbowet.
- [ref. 5.] Milieuwet.
- [ref. 6.] SodM, 2012. Staatstoezicht op de Mijnen. Strategie & Programma voor 2012-2016.
- [ref. 7.] SodM, 2013. Website: www.sodm.nl.
- [ref. 8.] Wetten overheid, 2013: Website: wetten.overheid.nl.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.4
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/217
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE

blz.

1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Deelvraag 1: Waargenomen seismische effecten	4
2.2. Deelvraag 2: Specifieke geologische omstandigheden	4
2.3. Deelvraag 3: Vergelijking met Nederland	6
3. CONCLUSIES	8
3.1. Deelvraag 1: Waargenomen seismische effecten	8
3.2. Deelvraag 2: Specifieke geologische omstandigheden	8
3.3. Deelvraag 3: Vergelijking met Nederland	8
4. REFERENTIES	9

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

De achtergrond van de vraag is als volgt geformuleerd:

Tijdens fraccen in de Bowland Shale (Lancashire, UK) is seismische activiteit waargenomen. Cuadrilla Resources Ltd. heeft recent een analyse gepubliceerd met betrekking tot deze seismische activiteiten. In het rapport wordt een oorzakelijk verband gelegd met de fraccen en de seismische activiteit. Daarnaast noemt het rapport ook dat er sprake is van een uitzonderlijke combinatie van geologische omstandigheden.

Voorliggend document behandelt onderzoeksvraag B.4.4 die uit bovenstaande voortkomt:

Ga na of de omstandigheden in de Bowland case inderdaad zo bijzonder zijn. Analyseer de representativiteit voor de Nederlandse situatie in die gebieden, waar winning van schaliegas kansrijk worden geacht.

Deze onderzoeksvraag is beantwoord door opsplitsing in een drietal deelvragen die in paragraaf 1.3 tot en met 1.5 worden beschreven. Eerst volg de afbakening van de hoofdvraag.

1.2. Afbakening

De hoofdvraag richt zich op het beschrijven van de geologische omstandigheden voor de Bowland case in relatie tot de seismische activiteit. Daarnaast wordt beoordeeld of deze specifieke omstandigheden ook in Nederland voorkomen in gebieden waar de winning van schaliegas kansrijk wordt geacht.

De beschrijving van de geologische omstandigheden voor de Bowland case is gebaseerd op de beschrijvingen en conclusies uit drie artikelen ([ref. 1.], [ref. 2.], [ref. 3.]) die beschikbaar zijn. Om de specifieke geologische omstandigheden te vergelijken met de potentiële winning gebieden in Nederland is gebruik gemaakt van beschikbare geologische beschrijvingen en de weergave/beschrijving van de Nederlandse geologie ([ref. 4.], [ref. 10.], [ref. 11.], [ref. 12.]). Mogelijk benoemde effecten zijn kwalitatief beschreven.

Deelvraag 1: Waargenomen seismische effecten

Wat zijn de waargenomen seismische effecten bij de Bowland Shale?

Deze deelvraag beschrijft de situatie zoals voorgevallen is bij de Bowland Shale. Wat voor seismische activiteit heeft er plaatsgevonden en hoe heeft deze zich verhouden tot het fraccen. In deze vraag wordt nog niet de relatie gelegd tot de geologische omstandigheden. Dit gebeurt in deelvraag 2, maar het biedt wel de achtergrond die voor het beantwoorden van deze vraag nodig is.

Deelvraag 2: Specifieke geologische omstandigheden

Wat zijn de specifieke geologische omstandigheden waarover wordt gesproken en hoe hebben deze geleid tot seismische activiteit tijdens fraccen?

In deze deelvraag worden de specifieke geologische omstandigheden en kenmerken benoemd waarvan wordt gesteld dat deze een rol hebben gespeeld in de waargenomen seismische activiteiten in combinatie met het fraccen. Waren deze omstandigheden een

voorwaarde voor het ontstaan van de seismische activiteiten? In deze beschrijving gelden de artikelen beschikbaar over de Bowland Shale als basis.

Deelvraag 3: Vergelijking met Nederland

Zijn dergelijke geologische omstandigheden ook in Nederland aanwezig?

In deze deelvraag worden de specifieke geologische omstandigheden, die zijn besproken in deelvraag 2, vergeleken met de geologische omstandigheden in de schaliegasrijke formaties in Nederland.

1.3. Aanpak

Om de (sub)vragen behorende bij dit onderdeel van het statusrapport te beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd met voorrang aan academische bronnen. Bij het zoeken naar relevante literatuur is de bronselectie methode aangehouden zoals gehanteerd in het onderzoeksplan. De gebruikte bronnen zijn opgenomen in het literatuuroverzicht. Naast de beschikbare literatuur is gebruik gemaakt van de geologische beschrijving van de ondergrond zoals beschikbaar is op internet [ref. 4.]. Ten behoeve van de studie zijn geen nieuwe gegevens verzameld (modelberekeningen, veldinventarisaties, etc.).

2. ANALYSE

Nabij Blackpool (Groot Brittannië) is een proefboring locatie aanwezig gericht op de Bowland. Deze put, genaamd 'Preese Hall', was actief van 3 maart 2011 tot en met 5 mei 2011.

2.1. Deelvraag 1: Waargenomen seismische effecten

Wat is er waargenomen?

Gedurende de periode dat de Preese Hall put actief was zijn twee grotere seismische activiteiten waargenomen. De eerste seismiciteit vond plaats op 1 april 2011 en had een kracht van 2,3 ML (= 2,3 op de lokale magnitude schaal; er zijn andere schalen voor aardbevingen op grotere afstand) gedurende de tweede fase van hydraulische stimulatie. Een tweede seismiciteit vond plaats op 27 mei 2011 en had een kracht van 1,5 ML ten tijde van de 4^{de} fase van hydraulische stimulatie. Gedurende deze periode zijn aanvullend 48 kleinere seismische activiteiten herleid uit de beschikbare meetgegevens.

Wat is er beschikbaar aan meetgegevens?

Op 1 april 2011 werd de eerste seismiciteit waargenomen die plaatsvond gedurende de tweede fase van hydraulische stimulatie. Na deze seismiciteit zijn vier tijdelijke meetstations geplaatst in een straal van circa 2-3 km rond de put. Twee van deze locaties zijn opgeheven op 21 april 2011 en hebben niet de tweede gebeurtenis op 27 mei 2011 geregistreerd. Van de twee overgebleven stations heeft één locatie alleen de verticale component kunnen vastleggen. Naast de lokale stations waren vier regionale stations die gedurende de periode waarin Preese Hall actief was, metingen hebben vastgelegd [ref. 5.].

Op basis van de twee grote seismische activiteiten van 1 april en 27 mei, zijn 48 kleinere seismische activiteiten herleid [ref. 5.]. De meeste van deze seismische activiteiten zijn in dezelfde orde van grote als de achtergrondwaarden. Zij zijn geïnterpreteerd door een vergelijking te maken met de twee grotere activiteiten op basis van locatie, timing en mechanisme. Een nadeel van deze methode is dat alleen gebeurtenissen met vergelijkbare locaties en mechanismen als de twee grote gebeurtenissen zichtbaar worden [ref. 5.]. Opvallend is dat er in de waargenomen gebeurtenissen een ongewoon klein aantal kleinere 'events' aanwezig is. Omdat de kleinere gebeurtenissen voorafgaan aan de grotere zou dit een mogelijkheid kunnen bieden om tijdig mitigerende maatregelen te nemen [ref. 5.]. De aanwezige regionale stations laten geen vergelijkbare seismische activiteiten zien in de periode van 1 januari 2011 tot 30 maart 2011 [ref. 6.].

Wat komt uit de analyse van deze gegevens?

Het herleiden van de kleinere gebeurtenissen met vergelijkbare oorsprong en mechanisme is gebruikt door Seismik [ref. 5.] om de locatie van de seismische activiteiten te bepalen. Seismik [ref. 5.] concludeert dat de twee grote events plaatsvonden in de nabijheid van de Preese Hall put, ongeveer 300 tot 500 m ten zuiden van de vierde fase injectielocatie. Echter de locatie in de west-oost richting is erg onzeker. Het haardmechanisme (de oorsprong) is zeer waarschijnlijk een 'strike-slip' beweging (twee horizontaal langs elkaar schuivende lagen). De hellingshoek van het breukvlak is een indicatie dat alleen gesteente dieper dan 2.000 m is verschoven, omdat glijvlakken met een dergelijke hellingshoek niet ondieper voorkomen [ref. 5.].

2.2. Deelvraag 2: Specifieke geologische omstandigheden

Ervaringen uit het verleden, uit de VS, laten zien dat seismische activiteit normaliter vele malen kleiner is bij hydraulische stimulatie dan is waargenomen bij de Preese Hall put [ref. 1.]. Zelfs in de zeldzame gevallen dat er vloeistof in breuken stroomt, was de maximaal

waargenomen seismische activiteit 0.8 ML [ref. 1.]. Een duidelijke indicatie dat de Bowland schalie een specifieke situatie betreft.

Specifieke omstandigheden

In de beschikbare literatuur over de Preese Hall put in de Bowland Schalie worden een aantal specifieke omstandigheden benoemd, waardoor de seismische activiteit op de waargenomen schaal mogelijk was. Als specifieke geologische omstandigheden zijn gekenmerkt:

- in de nabijheid van de Preese Hall put is een breuklijn aanwezig in de ondergrond. Deze breuklijn stond reeds onder 'spanning'. Dit wil zeggen dat er reeds een druk/kracht op het schuifvlak aanwezig was [ref. 3.], [ref. 5.];
- de breuk was een 'strike-slip' breuk, een breuk waar de twee zijden horizontaal langs elkaar schuiven. De spanning in deze breuk was in het horizontale vlak groter dan in het verticale vlak [ref. 2.];
- in het gesteente van de Bowland schalie zijn de horizontale spanningen in de orde van 276 bar. Bij bijvoorbeeld de schaliegesteente in de VS is dit tussen de 15 en 35 bar. Deze hoge druk heeft een grote bijdrage in de mogelijkheid tot seismische activiteit [ref. 3.];
- de breuklijn is noordoost - zuidwest georiënteerd waarbij deze onder een hoek van 60 graden naar het westen staat ('dip') [ref. 6.];
- de spanning in de breuk was reeds op voorhand groot genoeg zodat deze kon falen (waarbij de breuklijn in beweging komt en/of er vervorming van materiaal plaatsvindt als gevolg van deze spanning) [ref. 5.];
- de grootte van het vlak waarover de spanning aanwezig was, moet enkele duizenden vierkante meters groot zijn geweest om de waargenomen seismische activiteit van 2.3 ML te veroorzaken [ref. 6.];
- er wordt aangenomen dat de breuk bestaat uit allemaal kleine spanningsvlakken, waarbij geldt dat als een van deze vlakken faalt, de druk op de andere vlakken wordt vergroot en er een kettingreactie kan ontstaan [ref. 6.];
- de aanwezige breukzone is doorlatend. De geïnjecteerde vloeistof kon zich hier goed in verspreiden [ref. 3.];
- het is onwaarschijnlijk dat de seismische activiteiten een direct gevolg zijn van het fraccen zelf, aangezien de seismische activiteiten na het daadwerkelijke fraccen plaatsvond, bijvoorbeeld 10 uur na fase 2 [ref. 5.]. Na het fraccen nam de druk op de bestaande breuk echter nog steeds langzaam toe en daarmee past het falen van de breuk wel in de tijdslijn [ref. 3.];
- het systeem van scheuren in de schalie als gevolg van het fraccen, zorgt voor de aanlevering van vloeistof naar de breuklijn, ook nadat de bron is gesloten als gevolg van de opgebouwde druk in het pakket. Ook de grote hoeveelheid terugstroming die is waargenomen naar de put als ook de druk van deze terugstroom, die lang hoog bleef, geven deze indicatie [ref. 1.];
- de aanwezige breuklijn en ook de scheuren als gevolg van het fraccen bevinden zich volledig in de Bowland schalie en er is geen sprake van migratie van vloeistof richting het maaiveld [ref. 3.];
- de aanwezige tracer (een vloeistof waarin een specifieke stof is opgelost aan de hand waarvan gezien kan worden hoe de vloeistof zich in de ondergrond verspreidt) was verdund na de injectie. Dit kan duiden op opname van deze tracer of een bijmenging van zout water uit de formatie. Ook de toename van zoutconcentratie is hier een indicatie voor [ref. 1.];
- over de aanwezigheid van andere onder spanning staande breuken in het Bowland schalie gebied is weinig bekend, dus er kan niet worden gesteld dat een vergelijkbare situatie zich niet zal voordoen, of onwaarschijnlijk is bij andere (toekomstige) putten [ref. 7.].

Seismische activiteit in relatie tot fraccen

Over de seismische activiteit in relatie tot het fraccen bij de Preese Hall put wordt het volgende geconcludeerd:

- tijdens de eerste fase ('stage') van hydraulische stimulatie zijn geen aardbevingen groter dan 0.4 ML waargenomen (detectie niveau). De gemakkelijkste uitleg hiervoor is dat er geen hydraulische verbinding was tussen de bron en de breuklijn [ref. 6.];
- in vergelijking met geothermische reservoirs, is de seismische activiteit als gevolg van de tweede fase stimulatie groot, zeker omdat er relatief weinig vloeistof is ingebracht. Dit geeft aan dat een belangrijk deel van de vloeistof direct in de breuklijn terecht is gekomen [ref. 6.]. De belangrijkste seismische activiteit vond circa 10 uur na de stimulatie plaats [ref. 5.]. Na de tweede fase bleek een aanzienlijk traject van de boorputbehuizing te zijn vervormd (ovaal geworden). Dit kan direct gerelateerd zijn aan verschuivingen langs het breukvlak, maar ook door verschuivingen over de vlakken van de verschillende lagen in het pakket als gevolg van het verschuiven van het breukvlak [ref. 3.];
- in fase 3 werd er het dichtst bij de breukvlak vloeistof ingebracht en zou dus het grootste effect zijn te verwachten. Bij fase 3 was echter geen sprake van seismische activiteit. Dit komt waarschijnlijk door de aanzienlijk kleinere hoeveelheid ingebrachte vloeistof, en de snelle terugstroom van de vloeistof [ref. 6.]. Daarnaast is het mogelijk dat de toestroom naar de breuk was geblokkeerd door zand [ref. 1.];
- het effect bij fase 4 was minder dan in fase 2, ondanks dat er evenveel vloeistof was geïnjecteerd. Dit kan betekenen dat er een slechtere verbinding was tussen de bron en de breuklijn bij de vierde fase [ref. 6.];
- tijdens fase 5 was weinig seismische activiteit. Dit kan het gevolg zijn van terugstroom, maar zeer waarschijnlijk speelt ook het ontbreken van een verbinding met de breuklijn een rol [ref. 1.].

Samenvattend gelden de volgende voorwaarden die hebben geleid tot de waargenomen seismische activiteit:

- er is een breuklijn aanwezig in de Bowland schalie in de nabijheid van de Preese Hall put;
- de breuk kent een 'strike-slip' mechanisme, is noordoost - zuidwest georiënteerd en dipt met 60 graden richting het westen;
- bij het injecteren van vloeistof is dit in de breuk terecht gekomen, waarschijnlijk direct, maar ook vanuit de scheuren die zijn ontstaan tijdens het fraccen;
- deze breuklijn stond onder spanning, zodat het met de extra druk van de ingespoten vloeistof mogelijk was om te falen;
- de reeds aanwezige horizontale spanning in de breuk en het gesteente was vele malen groter dan normaal (in vergelijking tot de VS) wordt gemeten in schaliegesteenten, wat de mogelijkheid op seismische activiteit sterk vergroot.

2.3. Deelvraag 3: Vergelijking met Nederland

Geologische opbouw potentiële schaliegas formaties

In Nederland zijn er twee potentiële schaliegas formaties aanwezig, namelijk de Posidonia schalie Formatie (Aalburg Groep) en het Geverik Laagpakket (Epen Formatie).

De Posidonia schalie Formatie heeft een dikte van 30 tot 50 m. De Epen Formatie heeft een dikte tussen enkele honderden meters tot 1 km. Voor deze Formatie geldt dat alleen het onderste lagenpakket (Geverik) van 50 m potentieel schaliegas kan bevatten. Het laagpakket van Geverik ligt aanzienlijk dieper dan de Posidonia schalie, echter niet overal. Genoemde formaties zijn beperkt aanwezig (bijvoorbeeld in vergelijking met de Verenigde Staten) en ook onregelmatig verdeeld in de ondergrond [ref. 4.].

Wat zijn de eigenschappen van het materiaal ten opzichte van de Bowland Schalie?

De Bowland schalie betreft een hard gesteente dat broos is waarin barsten voorkomen. Dit maakt het mogelijk voor de ingespoten vloeistof verder dan de ontstaande scheuren als gevolg van fraccen door te dringen in het gesteente. Het potentiële schaliepakket in Noord Brabant (Posidonia Formatie) kent andere eigenschappen. Het materiaal is relatief flexibel, vervormbaar en zacht. Onder de bestaande druk op de diepte waar de laag aanwezig is, reageert het materiaal dan ook meer als stopverf [ref. 8.].

Het Geverik laagpakket maakt onderdeel uit van dezelfde formatie waar de Bowland schalie uit bestaat [ref. 9.]. Over de specifieke materiaaleigenschappen van de formatie in Nederland is weinig bekend. Benoeming van laagpakketen en formaties is voornamelijk gebaseerd op de (vergelijkbaarheid in) ontstaanswijze. Daaruit kan worden herleid dat het Geverik laagpakket vergelijkbare eigenschappen kent als de Bowland schalie.

Zijn er breuklijnen aanwezig in de kansrijke formaties binnen Nederland?

In het potentieel winbare deel van het schaliepakket van de Posidonia Formatie (voornamelijk in Noord Brabant) [ref. 8.] zijn breuken aanwezig. Wel geldt dat tussen de bekende breuklijnen voldoende ruimte aanwezig is voor de realisatie van putten, zonder dat deze putten en/of scheuren als gevolg van het fraccen in de nabijheid van deze breuken komen [ref. 8.], mits het fraccen adequaat wordt uitgevoerd. Daarnaast geldt dat de plastische eigenschappen van de schalie in deze formatie zorgt voor een afdichting van de breuklijnen ter plaatsen van de schalie. Hierdoor is niet mogelijk voor vloeistof om in de breuklijn te lopen [ref. 8.].

Als de frac de breuklijn raakt, dan kan deze opengeduwd worden. Mocht er toch vloeistof via een breuk in opwaartse richting stromen zal dit in een 'worst case' situatie maximaal enkele honderden meters zijn tot waar dikke slechtdoorlatende lagen boven dit pakket aanwezig zijn. Door deze slechtdoorlatende lagen zal er geen vloeistof in hoger gelegen watervoerende pakketten terecht kunnen komen [ref. 8.].

Ook in het laagpakket van Geveik komen breuken voor. Hierin zijn echter alleen enkele grotere breuken bekend, maar niet in die mate als voor de Posidonia Formatie. Of tussen de aanwezige breuken voldoende ruimte is voor de realisatie van putten vergt onderzoek [ref. 4.].

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Waargenomen seismische effecten

Gedurende de periode dat de Preese Hall put actief was, zijn twee grotere seismische activiteiten waargenomen. De eerste gebeurtenis vond plaats op 1 april 2011 en had een kracht van 2,3 ML 10 uur na de tweede fase van hydraulische stimulatie. Een tweede seismiciteit vond plaats op 27 mei 2011 en had een kracht van 1,5 ML ten tijde van de 4^{de} fase van hydraulische stimulatie. Daarnaast zijn 48 kleinere seismische activiteiten herleid uit de beschikbare meetgegevens.

3.2. Deelvraag 2: Specifieke geologische omstandigheden

Er is een breuklijn aanwezig in de Bowland schalie in de nabijheid van de Preese Hall put. Deze breuk kent een 'strike-slip' mechanisme, is noordoost - zuidwest georiënteerd en dipt met 60 graden richting het westen.

Bij het injecteren van vloeistof moet vloeistof in de breuk terecht zijn gekomen, waarschijnlijk direct vanuit de put, maar ook vanuit de scheuren die zijn ontstaan tijdens het fraccen. De breuk stond onder spanning, zodat het met de extra druk van de ingespoten vloeistof mogelijk was om te falen. De reeds aanwezige horizontale spanning in de breuk en het gesteente was vele mate groter dan normaal wordt gemeten in schaliegesteenten, wat de mogelijkheid op seismische activiteit sterk heeft vergroot in dit geval.

3.3. Deelvraag 3: Vergelijking met Nederland

Geconcludeerd kan worden op basis van de analyse dat de Posidonia Formatie sterk verschilt met de omstandigheden die zijn aangetroffen bij de Bowland schalie. Het materiaal kent andere eigenschappen die de toestroom van vloeistof naar breuken onwaarschijnlijk maakt.

Wel zijn er breuken aanwezig binnen de Posidonia Formatie. Echter, met het goed in beeld brengen van deze breuken, kunnen putlocaties zodanig worden gekozen dat er geen beïnvloeding van de breuken kan plaatsvinden.

Het laagpakket Geverik behoort tot dezelfde formatie als waar de Bowland schalie toe behoort. Dit is indicatief. Op basis van thans beschikbare gegevens kan niet met zekerheid worden gesteld, dat de materiaaleigenschappen van de schalie in het laagpakket Geverik vergelijkbaar zijn met die van de Bowland Schalie. Ook zijn in het pakket enkele breuken bekend. Er kan niets gezegd worden over de spanning die op de betreffende breuklijnen aanwezig is.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Pater, H., & Pellicer, M. (2011). Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity - Fracture Geometry and Injection Mechanism, StrataGen Delft BV (p. 48).
- [ref. 2.] Baker Hughes (2011). Cuadrilla Ressources - Wellbore Failure Analysis and Geomechanical Modelling in the Bowland. (53 pages).
- [ref. 3.] Pater, H., & Baisch, S. (2011). Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity – Synthesis Report. StrataGen Delft BV and Q-con GmbH (87 pages).
- [ref. 4.] NL Olie- en Gasportaal (2013). Ministerie van Economische Zaken en TNO. www.nlog.nl.
- [ref. 5.] Eisner, L., Janská, E., Opršal, I. & Matoušek, P. (2011). Seismic analysis of the event in the vicinity of the Preese Hall well. Seismik (28 pages).
- [ref. 6.] Baisch, S. & Vörös, R. (2011). Geomechanical Study of Blackpool Seismicity. Q-con GmbH (58 pages).
- [ref. 7.] Green, A., Styles, P. & Baptie, J. (2012). Preese Hall Schale gas fracturing, Review & recommendations for induced seismic mitigation (26 pages).
- [ref. 8.] Hans, I., de Vos, S. & Ijpelaar, G. (2012). Shale gas production in a Dutch perspective, Final public report. Royal Haskoning (26 pages).
- [ref. 9.] Pagnier, H.J.M., Van den Belt, F.J.G., Mijnlief, H.F., Van Bergen, F. & Verbeek, J.W. (2002). An overview of the Carboniferous structural and sedimentary evolution of the Southern North Sea with a discussion of hydrocarbon fields and play concepts in the Dutch sector. Conference Abstract - Carboniferous Hydrocarbon Geology: the southern North Sea and surrounding onshore areas, University of Sheffield, UK (4 pages).
- [ref. 10.] TNO-NITG, 2005 - Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands – onshore.
- [ref. 11.] Adrichem Boogaert, H.A. van en Kouwe, W.F.P., 1997. Stratigraphic nomenclature of The Netherlands. Revision and update by RGD and NOGPA. TNO-NITG Geological Survey of the Netherlands, Mededelingen Rijks Geologische Dienst Nr. 50 1993-1997 from: <http://www2.dinoloket.nl/nomenclator/index.html>.
- [ref. 12.] Mulder, E.F.J. de, Geluk, M.C., Ritserna, I., Westerhoff W.E., Wong, T.E., 2003. De ondergrond van Nederland. Wolters Noordhof, Groningen / Houten.
- [ref. 13.] Kombrink et al. (2012), 'New insights into geological structure of the Netherlands: results of a detailed mapping project', Netherlands Journal of Geoscience, Vol. 91 (4), 419-446.



Witteveen+Bos
Hoogoordreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.5
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/218
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2103
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE

blz.

1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
2. CONCLUSIE	3

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.5 Onderzoeksvraag:

Maak een onderbouwde schatting van de bodembewegingen ten gevolge van het fraccen in een voor Nederland representatieve situatie.

1.2. Afbakening

Onder bodembewegingen door mijnbouwactiviteiten wordt vervolgens volgens Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) verstaan (zie ook notitie B.4.2):

1. bodemdaling door de winning van zout en aardgas;
2. aardbevingen die veroorzaakt worden door aardgaswinning.

Deze hoofdvraag is daarmee onder te verdelen in twee subvragen.

Subvraag 1: Bodemdaling door fraccen

Maak een onderbouwde schatting van de bodemdaling ten gevolge van het fraccen in een voor Nederland representatieve situatie

Deze vraag wordt in B.4.12 beantwoord en wel in een bredere context, namelijk ten gevolge van schaliegaswinning in het algemeen, en daarmee dus ook het fracking proces.

Subvraag 2: Aardbevingen door fraccen

Maak een onderbouwde schatting van de aardbevingen ten gevolge van het fraccen

De analyse vereist voor de beantwoording van deze vraag kan op twee manieren gedaan worden:

1. een analyse van de relatie tussen al uitgevoerde frac-jobs in Nederland en trillingen in Nederland. Deze analyse wordt in B.4.6 behandeld;
2. een analyse van het optreden van geïnduceerde aardbevingen door schaliegaswinning gebaseerd op ervaringen uit het buitenland (VS en Verenigd Koninkrijk). Deze analyse wordt in B.4.7 behandeld.

2. CONCLUSIE

Om overlap en herhaling te voorkomen wordt voor de beantwoording van deze onderzoeksvraag specifiek verwezen naar:

- B.4.12: relatie fraccen en schaliegaswinning met bodemdaling;
- B.4.6: relatie tussen frac-jobs en trillingen (aardbevingen) in Nederland;
- B.4.7: relatie tussen schaliegaswinning (inclusief frac-jobs) en aardbevingen op basis van ervaringen uit het buitenland.



Witteveen+Bos
 Hoogoorddreef 56 F
 Postbus 12205
 1100 AE Amsterdam
 telefoon 020 312 55 55
 fax 020 697 47 95
 www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.6
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/219
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	4

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	4
2.1. Relatie in ruimte en tijd	4
2.2. Relatie met gasvelden	4
2.3. Tijds marge	5
3. CONCLUSIES	7
4. REFERENTIES	8
BIJLAGEN	aantal blz.
I Lijst van geïnduceerde aardbevingen sinds 1986	18
II Frac jobs onshore sinds 1986	3
III Visualisatie van frac jobs en aardbevingen	2
IV Kaarten van frac jobs, aardbevingen en gasvelden	2

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.6. Onderzoeksvraag

Maak een analyse van de relatie tussen frac-jobs met waargenomen trillingen in Nederland en bespreek de relevantie hiervan voor toekomstige winning van niet-conventioneel gas in Nederland.

1.2. Afbakening

Fracen wordt sinds de jaren '60 toegepast in Nederland voor stimulatie van conventionele olie- en gasreservoirs, zowel onshore als offshore. Sinds 1986 wordt de geïnduceerde seismiteit door het KNMI geregistreerd. Het ligt daarom voor de hand om te bekijken of de uitgevoerde frac-jobs een relatie hebben met de gemeten (geïnduceerde) seismiteit.

Elke frac-job genereert een micro-aardbeving ('micro-tremor') door het plotseling scheuren van het gesteente. Deze micro-aardbevingen treden meteen op en zijn niet te voelen (Magnitude $M_L < 1$) en zelfs door zeer gevoelige apparatuur aan het aardoppervlak zeer lastig te meten. Deze analyse gaat niet in op de relatie met de direct optredende micro aardbevingen, maar met de grotere geïnduceerde aardbevingen ($M_L > 1$) door het inspuiten van de fracvloeistof. Deze kunnen mogelijk met een vertraging en op zekere afstand van de put plaatsvinden.

Er wordt aangenomen dat het hydraulisch fracen dat in Nederlands tot nu toe is uitgevoerd, is gedaan met als doel conventionele gasreservoirs te stimuleren of 'tight-gas' reservoirs (reservoirsteente met een lage doorlatendheid) te ontwikkelen.

Zoals in achtergrondnotitie B.4.7 is uitgelegd, kunnen aardbevingen geïnduceerd worden door de injectie van fracvloeistof in een (actieve) breuk of breuk onder spanning. In het zuiden van Nederland kunnen dat tektonische breuken zijn. In Groningen kunnen dat breuken zijn die door gaswinning en de daaraan gerelateerde compactie onder spanning zijn komen te staan. In deze notitie wordt niet ingegaan op de fysische relatie tussen het fracen, het injecteren van vloeistoffen en optreden van aardbevingen. Uitgangspunt is dat er wordt gekeken naar de mogelijke statistische, spatiële (in ruimte) en temporele relatie (in tijd) tussen frac-jobs en geïnduceerde aardbevingen.

Deze frac-jobs zijn niet helemaal te vergelijken met frac-jobs die nodig zijn voor schalie- of steenkoolgas winning. De technieken zijn hetzelfde, alleen zijn (vooral voor schaliegaswinning) de benodigde drukken en de geïnjecteerde fracvloeistof volumes groter. Bovendien worden bij reservoir stimulatie van conventionele reservoirs meestal verticale boringen gebruikt, terwijl bij schalie- en steenkoolgas ontwikkeling horizontale boringen aan de orde zijn en er dus contact is met een groter gesteentevolume. De kans dat door frac-jobs voor schaliegaswinning aardbevingen optreden is dus groter dan door frac-jobs voor conventionele gaswinning.

1.3. Aanpak

Om te bepalen of er een relatie bestaat tussen de uitgevoerde frac-jobs en waargenomen trillingen worden de volgende twee data sets met elkaar vergeleken:

1. locatie, diepte, datum en tijdstip van gemeten (geïnduceerde) aardbevingen;
2. locatie, diepte, datum en tijdstip van uitgevoerde frac-jobs in Nederland.

De volgende analyse stappen worden vervolgens uitgevoerd:

1. via een GIS¹ visualisatie worden mogelijke verbanden in ruimte en tijd tussen frac-jobs en waargenomen trillingen deterministisch bepaald. Als uitgangspunt voor deze analyse stap wordt een maximale afstand van 10 km en een tijdsspanne van 1 maand gehanteerd tussen de frac-job en de aardbeving om een eerste selectie te maken;
2. de geïdentificeerde frac-jobs en trillingen die mogelijk verband houden worden vervolgens geplot over de velden waarin gefract is. Als de trillingen binnen het veld vallen, is er mogelijk een relatie. Als de trillingen buiten het gefracte veld valt, is de relatie niet waarschijnlijk.

Dataset 1: lijst van geïnduceerde aardbevingen

Het KNMI meet sinds 1986 de geïnduceerde seismiteit in Nederland. Deze lijst is te vinden op de website van het KNMI [ref. 1]. Het geeft de naam en locatie van het epicentrum (x,y), de diepte van de beving, intensiteit, magnitude, datum en tijdstip. Deze dataset staat ook in bijlage I.

Dataset 2: frac-jobs onshore in Nederland

NOGEPA heeft op verzoek van het Consortium een lijst samengesteld van alle onshore frac-jobs, die in Nederland zijn uitgevoerd vanaf 1986. Zoals is aangegeven zijn er voor deze datum ook al frac-jobs uitgevoerd in Nederland. Aangezien de KNMI database niet verder gaat dan 1986 had het voor deze analyse ook geen zin om informatie voor deze datum te vergaren. De frac-job data betreft de volgende items:

- operator;
- put naam;
- datum van de uitgevoerde frac-job(s);
- locatie van de frac-jobs, (x, y, z) van de frac-jobs (dus niet de locatie van de put, maar ook de werkelijke locatie van de uitgevoerde frac-job, omdat er vaak sprake is van een gedeveerde boringen, op grote diepte, geeft de locatie van de put geen exacte locatie van de frac-job.

Deze dataset staat in bijlage II.

Offshore (op het Nederlands continentaal plat) zijn er ook een aantal frac-jobs uitgevoerd. Om praktische redenen heeft NOGEPA de inventarisatie van offshore frac-jobs in eerste instantie beperkt tot putten en operators in de nabijheid van geïnduceerde aardbevingen met magnitude $M_L > 1$. In al deze putten zijn echter geen frac-jobs uitgevoerd minder dan 1 maand voor optreden van de aardbeving. De inventarisatie van NOGEPA is hiermee beperkt tot onshore frac-jobs.

¹ GIS: Geografisch Informatie Systeem.

2. ANALYSE

2.1. Relatie in ruimte en tijd

Met het GIS zijn de twee datasets (frac-jobs en geïnduceerde aardbevingen) gevisualiseerd in ruimte en tijd. Door de locaties van de fracs en de aardbevingen per jaar en per maand te visualiseren, wordt het duidelijk welke aardbevingen er mogelijk een relatie hadden met welke frac-jobs. Aardbevingen die later dan een maand zijn opgetreden na een frac-job of verder dan 10 km van de locatie van een frac-job, zijn uitgesloten van een mogelijke relatie.

In totaal zijn er op basis van deze tijds- en afstandsmarge 4 frac-jobs geïdentificeerd die mogelijk een relatie met aardbevingen hebben (zie ook afbeelding III.1 tot afbeelding III.4 in bijlage III). Deze frac-jobs en de mogelijk gerelateerde aardbevingen zijn opgesomd in tabel 2.1.

Volgens het KNMI (B. Dost, persoonlijke communicatie, 28 juni 2013) zit er enige mate van onnauwkeurigheid in de locatiebepaling van de aardbeving. Deze onzekerheid is weergegeven in tabel 2.1. Dit geeft ook een spreiding in de afstand tot de frac-jobs.

De bevingen die binnen de gestelde grenzen voorkomen hebben allen een magnitude (M_L) van maximaal 1,4. Bevingen van deze sterkte worden veelal niet of nauwelijks door de bevolking opgemerkt en veroorzaken in principe geen schade.

2.2. Relatie met gasvelden

Na het identificeren van de frac-jobs en de gerelateerde aardbevingen is bekeken of de aardbevingen in hetzelfde gasveld voorkomen als waar gefract is. Er is aangenomen dat een mogelijke aardbeving optreedt in hetzelfde veld waarin ontgonnen wordt. Zodra de aardbeving buiten het veld valt, is het niet waarschijnlijk dat er een verband is, omdat er geen druk communicatie is. Deze aanvullende analyse is door de NAM uitgevoerd (B. Pestman, persoonlijke communicatie, 21 juni 2013). Ook de kaarten met de velden, frac jobs en aardbevingen (afbeelding IV.1 tot afbeelding IV.3, bijlage IV) zijn door de NAM aangeleverd (B. Pestman, persoonlijke communicatie, 21 juni 2013).

MKZ-3

1997 NO Friesland: Dit zijn de fracs op MKZ-3, op 7 en 12 februari 1997 in het Munnekezijl veld. De beving op 2 maart 1997 ligt duidelijk buiten het Munnekezijl veld (namelijk ten zuiden ervan, dicht bij het Grijskerk veld) en lijkt dus niet gerelateerd aan de frac.

KMP-3

2012 NO Friesland: Dit is de frac op KMP-3, op 3 oktober 2012 in het Kollum veld. De beving op 16 oktober 2012 ligt buiten het Kollum veld (namelijk 2 km ten westen ervan) en lijkt dus niet direct gerelateerd aan de frac. Met inachtneming van de onzekerheid in de bepaling van de locatie kan deze aardbeving wel net in het Kollum veld komen te liggen. Deze frac-job en deze beving hebben daarmee mogelijk wel een relatie, hoewel niet erg duidelijk. Een mogelijk verband is hiermee ook nog steeds gebaseerd op een vrij ruime tijdsrange (13 dagen). Een meer gedetailleerd onderzoek naar eerdere aardbevingen, gaswinning en overige lokale omstandigheden zou moeten worden uitgevoerd om een duidelijk verband tussen de frac en aardbeving aan te tonen.

KWR-1A

2012 Groningen: Dit is de KWR-1 frac, op 1 november 2012 in het Kielwindeweer veld. Twee bevingen vonden plaats op 27 november in het Groningen veld, 8 tot 10 km naar het noorden vanaf de frac (buiten de kaart). Het Groningen veld is door een grote breuk afgescheiden van het Kielwindeweer veld. Er lijkt geen communicatie tussen Kielwindeweer (plm. 200 bar druk) en Groningen (plm. 100 bar druk). Daarom lijkt hier in het geheel geen correlatie mogelijk.

2.3. Tijds marge

De tijds marge (1 maand) die hier gehanteerd is, is vrij ruim. De ervaring met fraccen in Oklahoma [ref. 3.] en Engeland [ref. 4.] leert dat de bevingen vrijwel instantaan (slechts binnen een paar uren na het fraccen) zijn opgetreden. Aan de andere kant zou het ook mogelijk zijn dat door waterinjectie extra spanningsopbouw wordt gecreëerd die niet meteen leidt tot een aardbeving, maar juist na langere tijd. Een voorbeeld is te geven van langdurige waterinjectie voor conventionele gaswinning in Cogdell Canyon. Pas na 18 jaar heeft dit geleid tot een krachtige aardbeving (M_w 4,6-4,7) [ref. 5.]. Bij fraccen is er echter geen sprake van langdurige waterinjectie, dus het is waarschijnlijker dat een aardbeving kort na een frac-job optreedt analoog aan de ervaringen in Oklahoma en Engeland.

Tabel 2.1. Lijst van frac jobs en mogelijk gerelateerde aardbevingen

frac jobs						geïnduceerde aardbevingen							onzekeerheid locatie	
ope- rator	naam put	datum	diepte (m)	x coördi- naat (m)	y coördi- naat (m)	locatie	datum	magni- tude (M _L)	diepte (m)	x coördi- naat (m)	y coördi- naat (m)	afstand (km)*	x coördi- naat (m)	y coördi- naat (m)
NAM	MKZ-3	07-02-1997	3608	213956	594544	Kommerzijl	02-03-1997	1,3	3000	213502	589361	3,2-7,1 (5,0)	1500-2500	700-1300
NAM	MKZ-3	12-02-1997	3556	213956	594544	Kommerzijl	02-03-1997	1,3	3000	213502	589361	3,2-7,1 (5,0)	1500-2500	700-1300
NAM	KMP-3	03-10-2012	3214	206731	589977	Oudwoude	16-10-2012	1,1	3000	204713	590189	1,2-4,7 (2,0)	1500-2500	700-1300
NAM	KWR-1A	01-11-2012	3233	247476	572354	Froom- bosch	27-11-2012	1,4	3000	248346	581008	8,0-9,6 (8,9)	1100	700
						Froom- bosch	27-11-2012	0,4	3000	247780	581479	8,5-9,9 (9,3)	1100	700

* De spreiding in de afstand is gegeven door de onzekerheid in de locatie bepaling van het epicentrum. De waarde tussen haakjes geeft de afstand weer op basis van de gemeten locatie van het epicentrum.

3. CONCLUSIES

Van de 94 frac-jobs die vanaf 1986 zijn uitgevoerd laten er 4, op basis van een ruime marge in ruimte en tijd (dichter dan 10 km en korter dan 1 maand na een frac job), een mogelijke relatie zien met geïnduceerde aardbevingen (4 %). Het moet worden benadrukt dat dit frac-jobs waren voor de conventionele gaswinning of 'tight gas' velden en niet in schalie- of steenkoolformaties. Een nadere beschouwing laat zien dat deze aardbevingen vrijwel allemaal buiten het gasveld vallen waarin gefract is. Er treedt in het gebied bovendien ook nog aan productie (compactie) gerelateerde seismiciteit op, wat de zaak compliceert.

Een mogelijke relatie tussen fraccen en aardbevingen is elders in de wereld wel aangetoond. Op basis van bovengenoemde gevallen kan echter niet worden geconcludeerd dat er een duidelijk verband is.

Gezien de onzekerheid in de plaatsbepaling van het epicentrum, zou mogelijk de frac-job in put KMP-3 op 3 oktober 2012 gerelateerd kunnen zijn aan de aardbeving op 16 oktober 2012. Een mogelijk verband is hiermee nog steeds gebaseerd op een vrij ruime tijdsspanne tussen frac-job en optreden (13 dagen) en de onzekerheidsmarge van de plaatsbepaling van het epicentrum. Een meer gedetailleerd onderzoek naar deze aardbeving, gaswinning ter plaatse en overige lokale omstandigheden (bijvoorbeeld de locatie van breuken) zou moeten worden uitgevoerd om een duidelijk fysisch verband tussen deze specifieke frac job en aardbeving aan te tonen.

Dit voorgaande wil echter nog niet zeggen dat mogelijk toekomstige frac-jobs voor schalie- of steenkoolgaswinning geen aardbevingen zouden kunnen veroorzaken. De schaal van de frac-jobs is anders (hogere drukken en volumes) en er wordt een groter gesteentevolume gefract. Bovendien is bepalend of er (in een seismisch actief gebied) de nabijheid van actieve breuken wordt gefract. Dit vereist nader locatiespecifiek onderzoek zoals ook is aangegeven in achtergrondnotitie B.4.7.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] KNMI, 2013. Geïnduceerde aardbevingen sinds 1986. Website: www.knmi.nl.
- [ref. 2.] NOGEPA, 2013. Lijst van frac jobs onshore sinds 1986. Samengesteld op verzoek van Consortium door NOGEPA.
- [ref. 3.] Holland, A. 2011. Examination of possibly induced seismicity from hydraulic fracturing in the Eola Field, Garvin County, Oklahoma. Oklahoma Geological Survey Open-File Report OF1-2011, 28 pp. Website: www.ogs.ou.edu
- [ref. 4.] Eisner, L., Janská, E., Opršal, I., Matoušek, P. 2011. Seismic analysis of the events in the vicinity of the Preese Hall well. Technical Report for Cuadrilla Resources Ltd., 28 pp.
- [ref. 5.] Suckale, J. 2010. Moderate-to-large seismicity induced by hydrocarbon production. The Leading Edge, 29, p. 310-314.

BIJLAGE I LIJST VAN GEÏNDUCEERDE AARDBEVINGEN SINDS 1986

Geïnduceerde aardbevingen in Nederland

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
19861226	074751.00	Assen	52.992	6.548	232,924	556,587	4.5	2.8	1.0
19871214	204951.05	Hooghalen	52.928	6.552	233,266	549,537	4	2.5	1.5
19891201	200914.35	Purmerend	52.529	4.971	126,697	504,593	5	2.7	1.2
19910215	021116.54	Emmen	52.771	6.914	257,992	532,491	3.5	2.2	3.0
19910425	102631.58	Geelbroek	52.952	6.575	234,788	552,218	3.5	2.6	3.0
19910808	040114.65	Eleveld	52.965	6.573	234,653	553,624	3.5	2.7	3.0
19911205	002456.74	Middelstum	53.358	6.657	239,503	597,465	3	2.4	3.0
19920523	152911.46	Geelbroek	52.953	6.572	234,563	552,325	3.5	2.6	3.0
19920524	180005.95	Geelbroek	52.957	6.562	233,885	552,685	2	1.6	3.0
19920611	170937.00	Roswinkel	52.831	7.032	265,802	539,341	3.5	2.7	1.5
19920722	232313.20	Eleveld	52.961	6.570	234,437	553,158	3	2.6	3.0
19921206	203432.01	Ten Boer	53.320	6.740	245,107	593,338	1	1.3	3.0
19921211	130050.05	Slochteren	53.210	6.747	245,782	581,126	1	1.4	3.0
19930212	114600.76	Noordbroek	53.295	6.868	253,715	590,669	1	1.0	3.0
19930305	222725.22	Langelo	53.085	6.465	227,177	566,825	2.5	1.5	3.0
19930312	221241.52	Hoogezand	53.160	6.805	249,789	575,582	1	0.9	3.0
19930326	183421.16	Overschild	53.285	6.795	248,848	589,495	1	1.1	3.0
19930505	200832.79	Haren	53.177	6.685	241,729	577,378	1	1.5	3.0
19930514	193942.00	Ten Post	53.305	6.793	248,692	591,773	1	1.1	3.0
19930627	020851.80	Bedum	53.317	6.650	239,118	592,839	1	1.4	3.0
19930627	025710.06	Stedum	53.315	6.660	239,788	592,647	1	1.0	3.0
19930710	002234.51	Appingedam	53.333	6.837	251,518	594,928	1	1.4	3.0
19930727	133918.07	Loppersum	53.336	6.808	249,625	595,169	1	0.8	3.0
19930823	005121.69	Nijenklooster	53.332	6.848	252,297	594,851	1	0.7	3.0
19930904	022450.15	Oldenzijl	53.363	6.765	246,682	598,117	1	1.4	3.0
19930922	173703.82	Middelstum	53.368	6.675	240,682	598,562	2.5	2.0	3.0
19930925	002133.46	Slochteren	53.208	6.812	250,129	580,932	1	0.9	3.0
19931123	123147.68	Slochteren	53.202	6.820	250,699	580,256	2.5	2.2	3.0
19931222	020442.79	Ten Post	53.294	6.753	246,050	590,462	1	1.6	3.0
19940204	213238.91	Winneweer	53.306	6.777	247,581	591,790	1	1.3	3.0
19940205	151005.80	Roswinkel	52.833	7.045	266,672	539,583	4.5	2.9	1.5
19940228	210016.59	Garsthuizen	53.370	6.720	243,671	598,895	1	0.6	3.0
19940302	103638.08	Steendam	53.279	6.807	249,639	588,861	1	1.5	3.0
19940306	200231.23	Eenrum	53.323	6.805	249,431	593,774	1	1.0	3.0
19940314	093101.18	't-Zandt	53.345	6.808	249,605	596,207	1	1.3	3.0
19940314	104400.00	Zandweer	53.390	6.680	240,970	601,053	1	1.6	0.0
19940314	223209.67	Westerbroek	53.170	6.747	245,866	576,693	1	1.1	3.0
19940324	052903.80	Delfzijl	53.316	6.962	259,885	593,193	1	0.8	3.0
19940404	184611.65	Steendam	53.275	6.828	251,094	588,389	1	1.3	3.0
19940507	200853.67	Kolham	53.194	6.798	249,269	579,374	1	1.0	3.0
19940510	013411.97	Hellum	53.226	6.835	251,646	583,021	1	0.8	3.0
19940605	021450.79	Weiwerd	53.295	6.950	259,159	590,784	1	1.0	3.0
19940606	040826.16	Achterdiep	53.156	6.823	251,022	575,217	1	1.0	3.0
19940608	222024.55	Garsthuizen	53.359	6.682	241,142	597,625	1	1.5	3.0
19940626	174438.88	De Klip	53.335	6.852	252,512	595,171	1	1.0	3.0
19940627	205853.88	Uithuizermeeden	53.424	6.770	246,885	604,892	1	1.7	3.0
19940701	062743.03	Stedum	53.324	6.613	236,660	593,651	1	2.7	3.0
19940719	081729.67	't-Zandt	53.372	6.743	245,220	599,164	1	2.0	3.0
19940730	091820.78	Middelstum	53.351	6.628	237,609	596,616	4.5	2.7	1.0
19940730	095329.68	Middelstum	53.365	6.577	234,143	598,134	1	1.3	1.0
19940806	180219.20	Alkmaar	52.654	4.711	109,221	518,630	4.5	3.0	2.5
19940816	143739.85	Annen	53.061	6.698	242,855	564,487	4.5	2.3	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
19940907	220604.30	Warffum	53.402	6.575	233,964	602,231	1	1.4	3.0
19940909	155654.38	Emmen	52.714	6.915	258,193	526,189	1	1.7	3.0
19940921	011258.13	Alkmaar	52.658	4.708	109,021	519,047	5	3.2	2.5
19940923	195000.00	Schoonebeek	52.670	6.880	255,931	521,208	2	1.3	3.0
19941026	214101.83	Schildwolde	53.246	6.737	245,039	585,119	1	1.2	3.0
19941213	215046.58	Steendam	53.282	6.815	250,188	589,187		1.0	3.0
19950124	093839.19	Amsweer	53.316	6.897	255,555	593,044	1	1.3	3.0
19950131	194755.62	Annen	53.063	6.720	244,303	564,737	4	2.0	3.0
19950201	003132.00	Veendam	53.079	6.775	247,956	566,531	2	1.2	3.0
19950321	163744.34	Doekegat	53.438	6.913	256,377	606,679	1	1.1	3.0
19950406	080343.45	Loppersum	53.360	6.680	241,030	597,677	1	2.0	3.0
19950426	173549.64	Zuidlaren	53.084	6.668	240,799	566,992	1	0.7	3.0
19950515	095239.35	Weiwerd	53.309	6.945	258,791	592,390	1	1.8	3.0
19950603	220638.20	Boerakker	53.190	6.358	219,873	578,443	1	0.9	3.0
19950620	085940.12	Roswinkel	52.832	7.030	265,651	539,449	3	2.7	2.0
19950715	160539.14	Veenhuizen	53.207	6.823	250,911	580,817		1.0	3.0
19950721	232440.48	Meedhuizen	53.276	6.963	260,095	588,689	1	1.1	3.0
19950913	213436.83	Wirdumerdraai	53.335	6.728	244,299	594,974		1.1	3.0
19951018	003427.36	Altena	53.129	6.492	228,887	571,840		1.3	3.0
19951102	010700.71	Loppersum	53.352	6.718	243,598	596,835	2	1.6	3.0
19951104	055043.21	Uithuizerwad	53.470	6.722	243,577	609,986	1	1.8	3.0
19951120	022054.73	Steendam	53.315	6.762	246,561	592,809	1	1.1	3.0
19951224	132634.16	PolderWormer	52.511	4.847	118,279	502,595	1	2.3	3.0
19951230	020408.08	Emmen	52.845	7.048	266,865	540,960	1	1.2	3.0
19960212	140224.24	Schaaphok	53.256	6.767	247,021	586,231	1	0.9	3.0
19960224	033107.56	Emmen	52.761	6.908	257,635	531,315		1.8	3.0
19960225	135509.30	Roswinkel	52.838	7.062	267,805	540,166	1	0.9	1.5
19960229	080734.42	Eppenhuisen	53.343	6.640	238,401	595,721	1	2.0	3.0
19960306	092050.20	Roswinkel	52.838	7.062	267,805	540,166	2	1.6	1.5
19960312	005144.67	Eexterveen	53.064	6.790	248,994	564,882	2	1.1	3.0
19960312	121348.17	Roswinkel	52.838	7.059	267,631	540,117	4	2.6	2.0
19960312	183412.68	Schuilingsoord	53.072	6.653	239,817	565,676	1	0.8	3.0
19960314	222358.30	Roswinkel	52.838	7.064	267,947	540,136	1	1.1	2.0
19960316	041632.77	Appingedam	53.298	6.848	252,374	591,031	1	1.4	3.0
19960321	181901.80	Roswinkel	52.833	7.054	267,278	539,619	2	1.8	2.0
19960401	185345.19	Amen	52.940	6.608	237,052	550,845	1	0.6	3.0
19960401	232818.39	Nieuw-Annerveen	53.067	6.790	248,986	565,289	1	0.1	3.0
19960409	135834.43	Spijkerboor	53.060	6.798	249,561	564,429	1	1.1	3.0
19960415	034131.20	Ten Boer	53.289	6.688	241,727	589,862	1	0.9	3.0
19960417	190512.18	Holwierde	53.357	6.883	254,570	597,680	1	0.9	3.0
19960421	213602.32	Warffum	53.376	6.595	235,342	599,378	1	0.5	3.0
19960425	232220.44	Delfzijl	53.356	6.863	253,242	597,486	1	0.9	3.0
19960607	042056.64	Annerveenschekanaal	53.085	6.780	248,278	567,242	1	1.2	3.0
19960607	083407.01	Garrelsw eer	53.309	6.778	247,685	592,143	1	1.3	3.0
19960607	145910.82	Annerveenschekanaal	53.082	6.832	251,744	567,013	1	0.7	3.0
19960616	025327.88	Eleveld	52.947	6.568	234,350	551,598	1	1.7	3.0
19960703	214007.16	Spijkerboor	53.053	6.803	249,911	563,693	1	0.8	3.0
19960804	004217.83	Wachtum	52.724	6.738	246,237	527,063	1	1.6	3.0
19960806	133827.76	Weerdinge	52.756	6.917	258,209	530,771	1	1.6	3.0
19960809	023145.71	Annen	53.057	6.688	242,193	564,031	1	0.3	3.0
19960809	063847.14	Oterdumerwarven	53.287	6.958	259,734	589,942	1	1.6	3.0
19960825	222411.14	Geelbroek	52.945	6.570	234,465	551,451	2	1.7	3.0
19960902	052051.92	Nieuw-Roden	53.147	6.422	224,175	573,700	3.5	2.1	3.0
19961016	050900.10	Amen	52.942	6.610	237,160	551,070	1	1.3	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
19961116	033349.87	't-Zandt	53.355	6.755	246,033	597,251	1	1.3	3.0
19961117	045952.05	Wachtum	52.724	6.732	245,787	527,055	3.5	2.2	3.0
19961130	202657.95	Leek	53.165	6.410	223,365	575,746	1	1.0	3.0
19961206	164648.00	Roswinkel	52.835	7.053	267,220	539,807	1	1.6	1.5
19961216	160115.16	Annerveenschekanaal	53.072	6.815	250,651	565,823	1	0.5	3.0
19961216	160650.21	Annerveenschekanaal	53.078	6.822	251,085	566,481	1	-0.1	3.0
19961226	195205.57	Schaaphok	53.261	6.765	246,898	586,824	1	-0.2	3.0
19961228	005408.57	Winde	53.107	6.505	229,818	569,369	1	1.9	3.0
19961228	181648.75	Roswinkel	52.834	7.043	266,548	539,725	4.5	2.7	2.0
19961228	233946.90	Donderen	53.111	6.502	229,589	569,755	2	1.8	3.0
19970108	012054.49	Westeremden	53.338	6.713	243,294	595,288	1	1.5	3.0
19970114	211340.62	Geelbroek	52.943	6.577	234,917	551,199	1	0.7	3.0
19970116	001246.60	Roswinkel	52.835	7.046	266,708	539,807	4	2.4	2.0
19970124	040004.54	Annen	53.079	6.678	241,478	566,484	1	0.6	3.0
19970217	072055.23	Zijldijk	53.387	6.752	245,743	600,826	1	1.6	3.0
19970217	111600.47	Eleveld	52.948	6.568	234,349	551,691	1	1.2	3.0
19970219	215350.81	Roswinkel	52.832	7.038	266,230	539,495	6	3.4	2.0
19970226	193122.43	Coevorden	52.642	6.803	250,808	517,933	1	1.2	3.0
19970302	152532.54	Kommerzijl	53.289	6.265	213,502	589,361	1	1.3	3.0
19970308	142904.28	Zuidlaarderveen	53.107	6.815	250,575	569,680	1	-0.8	3.0
19970308	142916.94	Zuidlaarderveen	53.109	6.812	250,345	569,990	1	0.0	3.0
19970325	001307.74	Woudbloem	53.252	6.748	245,806	585,726	1	-0.2	3.0
19970401	003419.04	Emmen	52.768	6.873	255,255	532,137	1	1.4	3.0
19970409	222143.97	Noordbroek	53.200	6.865	253,708	580,187	1	0.5	3.0
19970417	202756.13	Roswinkel	52.834	7.053	267,209	539,707	1	0.8	2.0
19970429	181646.34	Schildwolde	53.249	6.803	249,482	585,519	1	1.4	3.0
19970504	024239.74	Weiwerd	53.300	6.930	257,813	591,386	1	1.1	3.0
19970504	042909.85	Kropswolde	53.144	6.737	245,252	573,770	1	0.8	3.0
19970519	154356.26	Roswinkel	52.836	7.053	267,227	539,911	1	1.3	2.0
19970606	193918.88	Opwierde	53.293	6.875	254,165	590,455	1	1.2	3.0
19970619	231925.56	't-Zandt	53.364	6.753	245,903	598,231	1	1.8	3.0
19970620	004538.49	Roswinkel	52.831	7.055	267,351	539,413	2	1.8	2.0
19970621	003033.08	Oud-Annerveen	53.094	6.752	246,361	568,207		1.9	3.5
19970709	062312.06	Roswinkel	52.833	7.053	267,234	539,596	1	1.2	2.0
19970717	025629.71	Oud-Annerveen	53.061	6.717	244,085	564,455	1	-0.7	3.0
19970723	064436.04	Lageland	53.247	6.753	246,150	585,195	1	1.2	3.0
19970818	044228.77	Roswinkel	52.834	7.050	267,006	539,739	2	1.6	2.0
19970818	051732.25	Roswinkel	52.834	7.050	267,006	539,721	3	2.1	2.0
19970822	102708.85	Spijkerboor	53.063	6.813	250,558	564,857	1	0.2	3.0
19970823	000156.53	Spijkerboor	53.063	6.813	250,558	564,857	1	0.6	3.0
19970823	193935.04	Lageland	53.239	6.683	241,494	584,256	1	1.6	3.0
19970913	213041.02	Wirdum	53.338	6.747	245,513	595,349	1	1.1	3.0
19970914	193902.65	Annen	53.046	6.740	245,681	562,796	1	0.4	3.0
19971101	225625.87	Zandweer	53.427	6.705	242,558	605,164	1	1.4	3.0
19971103	181248.77	Donderen	53.108	6.513	230,374	569,489	1	1.4	3.0
19971104	195501.94	Wirdum	53.328	6.793	248,643	594,278	1	1.7	3.0
19971115	162232.14	Oud-Annerveen	53.104	6.822	251,026	569,429	1	0.3	3.0
19971120	173521.04	Slochteren	53.206	6.792	248,796	580,756	1	1.2	3.0
19971126	023537.01	Woudbloem	53.254	6.765	246,913	586,062	1	0.2	3.0
19971203	144719.71	Meedhuizen	53.279	6.897	255,641	588,947	1	1.8	3.0
19971203	150103.65	Siddeburen	53.244	6.858	253,164	585,000	1	1.3	3.0
19971207	070244.49	Zuidlaarderveen	53.075	6.702	243,051	566,012	1	0.3	3.0
19971223	062132.11	Termunterzijl	53.317	7.015	263,437	593,327	1	1.3	3.0
19980108	081145.26	Amen	52.937	6.597	236,272	550,573	1	1.2	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
19980122	103155.15	Geelbroek	52.984	6.547	232,828	555,728	1	1.1	3.5
19980128	213303.86	Roswinkel	52.833	7.042	266,449	539,541	5	2.7	2.0
19980128	223404.40	Roswinkel	52.833	7.037	266,111	539,589	3	2.0	2.0
19980131	083939.26	Woudbloem	53.237	6.745	245,615	584,053	1	0.7	3.0
19980205	211149.34	Meedhuizen	53.291	6.935	258,169	590,317	1	1.1	3.0
19980215	072416.42	't-Zandt	53.356	6.773	247,251	597,367	3	2.6	3.0
19980329	060640.52	Westeremden	53.345	6.730	244,390	596,070	1	1.3	3.0
19980419	080012.08	Zeerijp	53.339	6.723	243,958	595,412	1	1.5	3.0
19980419	153235.72	Uithuizen	53.425	6.682	241,012	604,894	1	1.6	3.0
19980428	020225.27	Veendam	53.107	6.865	253,920	569,840	1	0.4	3.0
19980430	010841.72	Scharmer	53.197	6.707	243,138	579,574	1	0.9	3.0
19980518	220342.46	Oldenzijl	53.404	6.732	244,378	602,655	1	1.3	3.0
19980530	094315.14	Slochteren	53.204	6.777	247,800	580,422	1	0.9	3.0
19980714	121202.23	Roswinkel	52.833	7.053	267,235	539,540	5	3.3	2.0
19980814	192516.89	Froombosch	53.192	6.803	249,607	579,177		1.1	3.0
19980824	042858.00	Overschild	53.298	6.810	249,820	590,961	1	2.4	3.0
19980905	203611.24	Emmen	52.742	6.875	255,427	529,229	2.5	1.9	3.0
19981004	032832.97	Zeerijp	53.353	6.748	245,593	597,001	1	1.0	3.0
19981020	213205.00	Deurze	52.974	6.607	236,875	554,682	1	0.8	3.0
19981101	174829.50	Geelbroek	52.955	6.572	234,560	552,473	1	1.3	3.0
19981212	075139.52	Oldenzijl	53.392	6.698	242,186	601,261	1	2.0	3.0
19981226	234802.19	Slochteren	53.215	6.830	251,338	581,716	1	1.6	3.0
19990111	083609.14	Roswinkel	52.837	7.057	267,471	540,047	1	1.1	2.0
19990113	193637.03	Zeerijp	53.359	6.777	247,466	597,724	1	2.1	3.0
19990131	045300.59	Siddeburen	53.255	6.825	250,915	586,215	1	0.4	3.0
19990305	190040.23	Borgercompagnie	53.101	6.792	249,024	569,074	1	1.0	3.0
19990306	055639.96	Wirdum	53.325	6.778	247,651	593,906	1	1.6	3.0
19990312	180644.42	Roswinkel	52.833	7.052	267,111	539,571	1-2	1.3	2.0
19990317	231425.46	Roswinkel	52.832	7.052	267,124	539,482	1-2	1.5	2.0
19990421	105956.44	Appingedam	53.312	6.840	251,787	592,577	1	1.4	3.0
19990422	225802.90	Rottevalle	53.112	6.152	206,154	569,561	1	1.0	3.0
19990506	181356.37	Roswinkel	52.836	7.055	267,339	539,896	1-2	1.4	2.0
19990508	204018.93	Stedum	53.325	6.700	242,432	593,845	1	1.6	3.0
19990514	183020.73	Roswinkel	52.834	7.052	267,118	539,741	2	1.7	2.0
19990515	192830.37	Roswinkel	52.834	7.052	267,118	539,741	1-2	1.4	2.0
19990521	000938.86	Sappemeer	53.165	6.815	250,447	576,133	1	0.7	3.0
19990607	202031.38	Steenbergen	53.097	6.402	222,914	568,191	1	1.1	3.0
19990707	090311.36	Amen	52.950	6.627	238,264	552,071	1	1.3	3.0
19990810	232418.31	Garsthuizen	53.382	6.727	244,091	600,201	1	1.4	3.0
19990811	011800.96	Westeremden	53.346	6.702	242,500	596,202	1	0.7	3.0
19990907	171623.52	Eexterveen	53.068	6.795	249,319	565,388	1	1.5	3.0
19990907	194751.09	Eexterveen	53.057	6.813	250,572	564,189	1	0.5	3.0
19991018	185609.54	Schipborg	53.078	6.718	244,162	566,330	1	0.4	3.0
19991018	185755.40	Schuilingsoord	53.061	6.678	241,516	564,389	1	0.3	3.0
19991022	131916.77	Amen	52.941	6.592	235,929	550,994	1	1.7	3.0
19991208	053928.47	Achterdiep	53.179	6.802	249,524	577,729	1	1.1	3.0
19991209	093800.05	Schildwolde	53.247	6.803	249,487	585,241	1	1.1	3.0
19991209	095212.96	Achterdiep	53.184	6.797	249,179	578,242	1	1.0	3.0
19991210	061332.01	Achterdiep	53.175	6.792	248,865	577,215	1	1.4	3.0
19991220	122929.69	Westeremden	53.352	6.710	243,042	596,898	1	1.5	3.0
19991221	045237.74	Kolham	53.190	6.765	247,049	578,905	1	1.0	3.0
19991224	235241.12	Delfzijl	53.320	6.947	258,876	593,616	1	1.8	3.0
19991231	110055.32	Roswinkel	52.835	7.048	266,892	539,830	5	2.8	2.0
20000107	141906.76	Roswinkel	52.834	7.043	266,557	539,711	2	1.1	2.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20000110	041807.46	Schipborg	53.077	6.655	239,920	566,197	1	0.6	3.0
20000212	194810.61	Appingedam	53.321	6.822	250,546	593,554	1	1.7	3.5
20000319	161336.08	Westeremden	53.343	6.698	242,285	595,827		1.6	3.0
20000327	102322.03	Roswinkel	52.835	7.045	266,667	539,825	1	0.8	2.0
20000401	031351.38	Dalen	52.685	6.750	247,108	522,666		1.3	3.0
20000408	110728.03	Engelbert	53.205	6.632	238,111	580,375		1.2	3.0
20000408	211317.80	Godlinze	53.370	6.845	251,990	599,056		1.1	3.0
20000414	230747.79	Ten Boer	53.308	6.772	247,243	592,006		1.2	3.0
20000516	011114.73	Garsthuizen	53.381	6.710	242,985	600,032		1.9	3.0
20000609	170347.28	Annerveenschekanaal	53.087	6.813	250,506	567,489	1	1.1	3.0
20000611	041220.13	Loppersum	53.348	6.763	246,602	596,483	2	2.0	3.0
20000612	154823.01	Loppersum	53.340	6.742	245,177	595,546	2	2.5	3.0
20000615	014224.75	Siddeburen	53.280	6.847	252,303	589,063	2	2.5	3.0
20000706	230956.72	Loppersum	53.340	6.752	245,843	595,559	1	1.2	3.0
20000710	150549.12	Vries	53.064	6.575	234,583	564,697		1.0	3.0
20000713	084152.43	Vries	53.079	6.565	233,886	566,299		1.1	3.0
20000716	013412.00	't-Zandt	53.367	6.782	247,783	598,565		1.5	3.0
20000922	170516.77	Annerveenschekanaal	53.076	6.820	250,978	566,256		1.0	3.0
20000922	205206.40	Annerveenschekanaal	53.082	6.793	249,178	566,889	2	2.2	3.0
20000923	034747.43	Annerveenschekanaal	53.081	6.788	248,845	566,771		1.0	2.7
20001025	181034.70	Roswinkel	52.832	7.052	267,125	539,463	5	3.2	2.3
20001112	021636.27	Deurze	52.977	6.608	236,981	555,054		0.3	3.0
20001223	052006.17	Borgercompagnie	53.108	6.812	250,348	569,842		0.4	3.0
20001226	163357.64	Meedhuizen	53.294	6.910	256,493	590,708		1.4	3.0
20010226	113907.31	Annerveenschekanaal	53.072	6.822	251,097	565,887		0.8	3.0
20010318	041420.68	Lageland	53.243	6.692	242,042	584,747		1.6	3.0
20010428	100008.29	Geelbroek	52.948	6.567	234,236	551,764		1.5	3.0
20010428	100055.51	Eleveld	52.959	6.575	234,776	552,978		1.1	3.0
20010428	230015.92	Roswinkel	52.833	7.053	267,233	539,615	4	2.4	2.0
20010517	074815.93	Hoornsedijk	53.173	6.612	236,835	576,828		1.4	3.0
20010610	033533.20	Annen	53.049	6.753	246,567	563,203		0.5	3.0
20010619	064955.57	Annerveenschekanaal	53.079	6.820	250,971	566,608		1.0	3.0
20010621	035049.03	Overschild	53.295	6.800	249,158	590,670		1.7	3.0
20010807	170901.50	Veendam	53.097	6.845	252,605	568,663		0.3	3.0
20010909	065812.64	Alkmaar	52.651	4.713	109,374	518,265	6	3.5	2.0
20010910	043015.35	Alkmaar	52.653	4.712	109,274	518,445	5	3.2	2.0
20010912	004733.00	Noordzee	53.025	3.908	55,761	560,664		3.1	3.0
20011010	064109.36	Bergen-aan-Zee	52.682	4.648	105,011	521,739	3	2.7	2.9
20011010	140643.35	Schaaphok	53.239	6.763	246,834	584,355		1.0	3.0
20011010	140657.24	Schaaphok	53.240	6.763	246,832	584,429		0.8	3.0
20011112	143315.37	Appingedam	53.323	6.875	254,094	593,849		1.5	3.0
20011204	190831.06	Woudbloem	53.204	6.785	248,355	580,507		0.2	3.0
20011204	190837.83	Woudbloem	53.204	6.785	248,355	580,507		0.0	3.0
20011204	223337.96	Woudbloem	53.210	6.743	245,560	581,085		1.0	3.0
20011211	151717.62	Slochteren	53.217	6.788	248,551	581,902		0.7	3.0
20011220	012542.98	Veendam	53.081	6.838	252,195	566,818		0.5	3.0
20011225	232809.76	Uithuizerwad	53.466	6.713	243,031	609,550		1.3	0.0
20011226	123653.07	Eexterveen	53.057	6.805	250,015	564,104		-0.2	3.0
20020205	103039.74	Stedum	53.319	6.717	243,555	593,197		2.2	3.0
20020214	170104.74	Roswinkel	52.832	7.035	266,003	539,401	3	2.1	2.0
20020227	035214.03	Appingedam	53.337	6.825	250,732	595,339		1.1	3.0
20020317	021627.90	Donderen	53.093	6.543	232,409	567,889		0.4	3.0
20020414	011144.09	Annen	53.049	6.770	247,686	563,168		1.9	3.0
20020510	103348.95	Bierum	53.378	6.857	252,747	599,980		1.7	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20020511	100723.22	Geelbroek	52.943	6.580	235,141	551,221		1.5	3.0
20020522	133813.04	Eleveld	52.956	6.585	235,453	552,655		1.0	3.0
20020628	030647.38	Smilde	52.968	6.450	226,363	553,848		1.8	3.0
20020718	053116.83	Froombosch	53.188	6.783	248,279	578,687		1.6	3.0
20020727	150108.63	Geelbroek	52.947	6.565	234,126	551,632		1.6	3.0
20020805	192810.16	Oudemolen	53.055	6.657	240,074	563,771		0.9	3.0
20020829	211322.74	Luddeweer	53.247	6.747	245,705	585,205		0.0	3.0
20020905	000021.45	Mariënborg	52.508	6.563	234,809	502,735		0.9	3.0
20020906	060705.50	Veendam	53.112	6.842	252,347	570,365		0.6	3.0
20020922	071333.43	Annen	53.056	6.680	241,636	563,910		0.6	3.0
20020922	073013.81	Annen	53.035	6.638	238,885	561,486		0.5	3.0
20021012	023213.63	Veendam	53.107	6.815	250,575	569,680		0.9	3.0
20021014	234522.53	Roswinkel	52.834	7.045	266,670	539,694	1	0.9	2.0
20021019	180339.22	Spijkerboor	53.068	6.768	247,533	565,317		1.3	1.8
20021214	001324.62	Coevorden	52.677	6.832	252,648	521,865		1.4	3.0
20021216	122339.09	Zuidlaren	53.092	6.718	244,133	567,906		1.4	3.0
20021217	002318.74	Tjuchem	53.291	6.860	253,168	590,249		0.9	3.0
20021218	203109.15	Spitsbergen	53.175	6.847	252,540	577,380		0.8	3.0
20021224	025722.59	Roswinkel	52.833	7.042	266,449	539,522		1.4	2.0
20030101	191615.30	Loppersum	53.338	6.743	245,293	595,289		1.0	3.0
20030113	024545.50	Smilde	52.971	6.413	223,896	554,127		1.7	3.0
20030118	181243.32	Overschild	53.287	6.770	247,176	589,723		1.0	3.0
20030123	074616.66	Winneweer	53.307	6.752	245,912	591,906		1.6	3.0
20030130	012730.24	Leermens	53.342	6.793	248,613	595,817		1.5	3.0
20030131	152047.78	Denemarken	53.232	6.782	248,072	583,618		0.3	3.0
20030202	093223.69	Eleveld	52.950	6.588	235,688	552,009		2.0	3.0
20030206	192524.91	De Paauwen	53.259	6.768	247,124	586,623		0.3	3.0
20030211	192949.56	Zeerijp	53.353	6.773	247,258	596,996		1.3	3.0
20030212	062220.02	De Paauwen	53.262	6.812	250,009	586,995		0.8	3.0
20030214	065424.14	Rottevalle	53.146	6.122	204,107	573,360		1.8	3.0
20030228	215418.19	Westeremden	53.355	6.730	244,369	597,201		0.7	3.0
20030303	205121.89	Middelstum	53.360	6.662	239,809	597,730		2.2	3.0
20030306	201518.67	Hoogezand	53.141	6.753	246,374	573,419		0.9	3.0
20030309	053126.70	Kantens	53.372	6.640	238,344	598,984		1.1	3.0
20030323	160003.03	Emmapolder(Eemshaven	53.457	6.783	247,698	608,673		1.5	3.0
20030329	210901.44	Harkstede	53.238	6.682	241,386	584,087		0.4	3.0
20030401	002552.09	Oldenklooster	53.364	6.852	252,448	598,342		0.3	3.0
20030402	201948.74	Loppersum	53.340	6.718	243,623	595,517		1.9	3.0
20030405	164948.33	Engelbert	53.209	6.630	237,991	580,874		0.3	3.0
20030406	000750.70	Overschild	53.272	6.795	248,877	588,012		0.1	3.0
20030406	005727.90	Ruiten	53.205	6.750	246,017	580,499		1.0	3.0
20030406	230204.37	Ruiten	53.206	6.763	246,904	580,683		0.7	3.0
20030416	162042.53	Overschild	53.281	6.775	247,522	589,079		0.7	3.0
20030418	235955.00	Schaaphok	53.238	6.753	246,168	584,250		0.0	3.0
20030420	001939.19	Schaaphok	53.247	6.750	245,928	585,172		0.1	3.0
20030428	215611.33	Ten Boer	53.284	6.727	244,294	589,260		1.0	3.0
20030429	025504.92	Ten Boer	53.284	6.730	244,516	589,283		1.3	3.0
20030514	205215.91	Siddeburen	53.254	6.865	253,587	586,121		0.8	3.0
20030514	222346.52	Siddeburen	53.257	6.847	252,357	586,411		0.8	3.0
20030521	045709.24	Annen	53.072	6.765	247,301	565,740		1.1	3.0
20030523	025950.86	Muntendam	53.084	6.823	251,182	567,207		0.6	3.0
20030531	231225.73	Siddeburen	53.247	6.875	254,270	585,374		0.8	3.0
20030603	161538.91	Stedum	53.337	6.683	241,299	595,104		1.5	3.0
20030606	142716.47	Harkstede	53.225	6.682	241,411	582,696		0.7	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20030608	053047.24	Froombosch	53.192	6.788	248,605	579,139		1.0	3.0
20030608	081416.55	Woltersum	53.271	6.737	244,988	587,863		1.5	3.0
20030616	004417.12	Smilde	52.963	6.407	223,460	553,250		2.3	2.6
20030805	184508.49	Assen	52.975	6.558	233,628	554,703		1.1	3.0
20030807	082421.12	Zeerijp	53.350	6.758	246,266	596,643		1.7	3.0
20030807	105639.85	Zeerijp	53.345	6.748	245,611	596,093		1.3	3.0
20030820	084614.99	Veendam	53.106	6.815	250,575	569,661		0.5	3.0
20030825	042455.00	Kiel-Windeweer	53.108	6.792	249,010	569,779		0.7	3.0
20030825	100535.89	Kiel-Windeweer	53.108	6.795	249,233	569,784		0.9	3.0
20030922	175011.50	Uithuizen	53.395	6.688	241,514	601,638		2.4	3.0
20030927	135754.15	Westeremden	53.348	6.697	242,164	596,381		2.7	3.0
20031011	114408.34	Roswinkel	52.835	7.055	267,340	539,858		1.6	2.0
20031024	015241.16	Hoeksmeer	53.295	6.792	248,604	590,622	4.5	3.0	3.0
20031026	091700.14	Hoeksmeer	53.304	6.788	248,362	591,619		1.2	3.0
20031029	143009.26	Froombosch	53.192	6.783	248,271	579,114		1.0	3.0
20031110	002238.14	Stedum	53.325	6.690	241,765	593,869	4.5	3.0	3.0
20031110	024055.01	Westeremden	53.349	6.710	243,049	596,546		1.4	3.0
20031116	200411.48	Stedum	53.344	6.702	242,505	595,924		2.7	3.0
20031226	100958.93	Garrelsw eer	53.320	6.802	249,216	593,380		1.4	3.0
20031226	170510.76	Spijkerboor	53.084	6.755	246,605	567,099		-0.6	3.0
20031228	042918.29	Spijkerboor	53.080	6.762	247,061	566,607		-0.3	3.0
20031229	130959.31	Delfzijl	53.343	6.938	258,266	596,144		1.5	3.0
20040112	010547.88	Kolham	53.189	6.745	245,716	578,732		1.6	3.0
20040124	135344.54	Woltersum	53.271	6.720	243,876	587,861		1.0	3.0
20040130	114740.99	Appingedam	53.314	6.868	253,671	592,821		1.2	3.0
20040307	071830.45	Veendam	53.103	6.845	252,592	569,312		0.2	3.0
20040308	014116.41	Meedhuizen	53.293	6.895	255,498	590,483		0.4	3.0
20040316	234941.24	Veendam	53.090	6.880	254,964	567,969		1.0	3.0
20040321	170544.58	Wagenborgen	53.255	6.918	257,142	586,344		1.4	3.0
20040326	023245.52	Steendam	53.273	6.862	253,321	588,231		0.5	3.0
20040415	045023.62	Eexterveen	53.041	6.800	249,713	562,392		1.0	3.0
20040430	221243.89	Lageland	53.230	6.712	243,404	583,270		0.5	3.0
20040524	050314.24	Garnwerd	53.310	6.525	230,801	591,940		1.4	3.0
20040529	210642.27	Garnwerd	53.308	6.508	229,693	591,737		0.8	3.0
20040531	005919.96	Garnwerd	53.313	6.518	230,351	592,285		0.3	3.0
20040610	011326.72	Doodstil	53.391	6.663	239,860	601,089		2.1	3.0
20040621	233202.76	Geelbroek	52.944	6.568	234,355	551,301		2.8	3.0
20040727	224945.94	Appingedam	53.343	6.875	254,048	596,111		1.2	3.0
20040821	010632.82	Kleinemeer	53.164	6.793	249,000	575,993		1.8	3.0
20040822	025601.13	Geelbroek	52.946	6.585	235,472	551,542		1.0	3.0
20040906	203120.28	Roswinkel	52.834	7.048	266,895	539,700		1.0	2.0
20040910	015644.91	Schipborg	53.064	6.670	240,951	564,751		0.4	3.0
20040918	033312.38	Uithuizen	53.416	6.703	242,470	603,938		1.2	3.0
20040922	124433.00	Winneweer	53.311	6.743	245,347	592,377		1.5	3.0
20041008	132342.72	Annerveenschekanaal	53.076	6.833	251,870	566,311		1.3	2.5
20041030	114052.88	Zeerijp	53.356	6.778	247,583	597,411		1.4	3.0
20041031	172721.88	Amerbrug	52.952	6.633	238,708	552,302		0.9	3.0
20041113	121557.32	Overschild	53.291	6.802	249,280	590,134		1.2	3.0
20041123	221310.36	Borgercompagnie	53.116	6.820	250,888	570,762		0.3	3.0
20041124	181857.95	Wittewierum	53.289	6.753	246,061	589,886		1.9	3.0
20041125	142554.43	Froombosch	53.195	6.772	247,485	579,414		0.6	3.0
20041126	065801.52	Winneweer	53.314	6.737	244,897	592,685		1.6	3.0
20041216	211430.20	Engelbert	53.231	6.652	239,396	583,309		0.8	3.0
20050109	235938.53	Wirdum	53.323	6.797	248,875	593,781		1.7	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20050117	000055.58	Wirdum	53.317	6.808	249,666	593,128		1.1	3.0
20050130	023134.04	Ten Boer	53.277	6.692	241,974	588,475		1.0	3.0
20050208	132033.86	Bedum	53.316	6.638	238,342	592,733		2.3	3.0
20050215	192111.01	Anreep (Assen)	52.955	6.605	236,798	552,603		1.0	3.0
20050216	104617.86	Zijldijk	53.404	6.793	248,478	602,752		1.3	3.0
20050218	112629.87	Annen	53.081	6.673	241,140	566,664		0.6	3.0
20050218	125546.57	Westeremden	53.341	6.735	244,731	595,612		1.3	3.0
20050218	184925.65	Schaaphok	53.231	6.750	245,960	583,467		0.5	3.0
20050218	220552.17	Schaaphok	53.239	6.727	244,386	584,327		1.6	3.0
20050220	060324.65	Hoogezand	53.176	6.795	249,084	577,405		0.0	3.0
20050225	034609.86	Appingedam	53.336	6.812	249,848	595,154		1.6	3.0
20050301	163159.41	Schaapbulten	53.326	6.922	257,197	594,229		1.2	3.0
20050308	230058.53	Wagenborgen	53.262	6.915	256,904	587,062		0.9	3.0
20050310	020439.78	Oosterwijtwerd	53.342	6.810	249,722	595,894		2.0	3.0
20050321	105833.93	De Paauwen	53.257	6.767	247,019	586,343		0.9	3.0
20050321	232119.01	Amelandervad	53.457	5.850	185,710	607,872		1.8	3.0
20050402	232108.74	Overschild	53.270	6.798	249,104	587,793		1.2	3.0
20050418	191116.59	Overschild	53.264	6.803	249,450	587,151		1.0	3.0
20050421	204921.64	Tjuchem	53.291	6.885	254,836	590,247		0.9	3.0
20050422	001449.67	Appingedam	53.335	6.858	252,958	595,106		0.8	3.0
20050430	192802.72	Vierburen	53.360	6.700	242,362	597,683		1.0	3.0
20050517	085014.19	Siddeburen	53.232	6.893	255,528	583,731		1.0	3.0
20050525	213346.22	Noordbroek	53.194	6.850	252,721	579,425		1.1	3.0
20050528	195757.64	Morra	53.374	6.088	201,630	598,727		1.4	3.0
20050530	153645.87	Westeremden	53.343	6.710	243,063	595,804		2.3	3.0
20050622	160202.05	Oosterwijtwerd	53.330	6.818	250,305	594,496		1.5	3.0
20050709	170137.49	Lageland	53.238	6.685	241,607	584,183		1.1	3.0
20050717	180707.83	Winneweer	53.319	6.747	245,553	593,254		1.8	3.0
20050725	032158.98	Harkstede	53.212	6.712	243,441	581,267		0.8	3.0
20050805	192302.02	Sappemeer	53.170	6.810	250,100	576,775	2	2.2	3.0
20050910	020511.67	Garrelswaer	53.316	6.772	247,225	592,952		1.2	3.0
20051005	091602.95	Eppenhuisen	53.331	6.642	238,535	594,406		1.7	3.0
20051012	160642.53	Smilde	52.963	6.450	226,372	553,273		2.5	3.0
20051023	170338.08	Diddingehuisen	53.366	6.675	240,685	598,358		1.9	3.0
20051111	170229.54	Harkstede	53.224	6.697	242,414	582,639		1.4	3.0
20060102	120045.67	Harkstede	53.236	6.695	242,279	583,917		1.1	3.0
20060110	234106.14	Elefeld	52.956	6.572	234,557	552,640		2.6	3.0
20060114	222954.76	Hoogezand	53.177	6.767	247,189	577,424		0.3	3.0
20060118	081246.65	Wittewierum	53.290	6.765	246,836	590,068		1.5	3.0
20060118	220815.79	Overschild	53.274	6.773	247,427	588,243		1.6	3.0
20060120	202250.10	Loppersum	53.336	6.740	245,073	595,137		1.3	3.0
20060123	111739.96	Lageland	53.237	6.697	242,389	584,012		1.9	3.0
20060128	030042.14	Spijk	53.380	6.818	250,193	600,133		1.1	3.0
20060129	182653.14	Geelbroek	52.952	6.580	235,125	552,185		1.1	3.0
20060211	190135.92	Siddeburen	53.256	6.847	252,358	586,375		1.3	3.0
20060212	143638.63	Hoeksmeer	53.297	6.795	248,822	590,830		1.5	3.0
20060224	045030.03	Wirdumerdraai	53.312	6.788	248,346	592,453		1.3	3.0
20060304	043233.96	Kropswolde	53.144	6.742	245,588	573,702		1.8	3.0
20060321	145033.70	Ten Post	53.302	6.755	246,145	591,354		2.4	3.0
20060323	031223.91	Overschild	53.284	6.778	247,740	589,325		2.2	3.0
20060325	135438.14	Roswinkel	52.834	7.045	266,670	539,713		2.1	2.0
20060325	135551.17	Roswinkel	52.834	7.043	266,558	539,673		1.7	2.0
20060405	014111.29	Delfzijl	53.344	6.890	255,045	596,187		1.4	3.0
20060412	052029.14	Steendam	53.270	6.837	251,660	587,863		1.2	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG. DEPTH
20060413	073851.89	Garmerwolde	53.240	6.647	239,044	584,342		1.5 3.0
20060416	135152.50	Garrelsw eer	53.311	6.783	248,015	592,336		1.9 3.0
20060416	184454.42	Garrelsw eer	53.313	6.770	247,121	592,578		1.1 3.0
20060419	173915.34	Stedum	53.336	6.685	241,410	595,087		1.6 3.0
20060422	034154.26	Loppersum	53.325	6.752	245,874	593,890		1.5 3.0
20060422	170313.66	Warffum	53.382	6.598	235,552	600,105		0.4 3.0
20060423	011818.28	Delfzijl	53.338	6.883	254,614	595,566		0.9 3.0
20060423	150207.76	Warffum	53.389	6.537	231,438	600,743		1.1 3.0
20060502	165201.31	Wirdumerdraai	53.314	6.797	248,896	592,706		1.0 3.0
20060503	191637.31	Wittewierum	53.290	6.767	246,948	590,014		1.2 3.0
20060507	161132.06	Westeremden	53.345	6.717	243,501	596,109		1.4 3.0
20060522	202340.85	Lageland	53.241	6.698	242,492	584,477		0.9 3.0
20060606	031734.01	Schildwolde	53.238	6.810	249,952	584,267		1.4 3.0
20060608	233106.38	Lageland	53.240	6.690	241,937	584,356		0.8 3.0
20060616	210646.76	Overschild	53.293	6.770	247,165	590,316		1.6 3.0
20060617	024308.64	Garrelsw eer	53.297	6.768	247,044	590,814		1.2 3.0
20060617	131621.58	Appingedam	53.330	6.852	252,525	594,540		1.4 3.0
20060623	223543.14	Garrelsw eer	53.317	6.763	246,669	593,014		1.7 3.0
20060624	164219.50	Oosterwijtwerd	53.341	6.823	250,613	595,745		1.2 3.0
20060712	001356.33	Godlinze	53.369	6.813	249,884	598,922		0.9 3.0
20060712	225623.84	Appingedam	53.309	6.868	253,683	592,263		1.3 3.0
20060716	081039.15	Appingedam	53.303	6.867	253,585	591,593		1.5 3.0
20060808	050400.05	Westeremden	53.350	6.697	242,159	596,659		3.5 3.0
20060808	094923.26	Westeremden	53.350	6.707	242,826	596,579		2.5 3.0
20060811	062123.03	Harkstede	53.219	6.672	240,755	582,016		1.1 3.0
20060826	224118.56	Westeremden	53.343	6.712	243,172	595,881		2.3 3.0
20060906	013732.17	Peizermade	53.189	6.522	230,791	578,492		1.8 3.0
20060927	233044.28	Garsthuizen	53.368	6.687	241,458	598,557		1.6 3.0
20061006	001028.98	Hoeksmeer	53.302	6.790	248,477	591,418		1.6 3.0
20061015	201800.95	Emmen	52.768	6.885	256,044	532,061		1.6 3.0
20061023	133805.84	Garsthuizen	53.372	6.738	244,887	599,158		2.3 3.0
20061025	094541.93	Delfzijl	53.326	6.923	257,308	594,195		1.4 3.0
20061026	135937.27	Zandew eer	53.389	6.702	242,413	600,968		1.4 0.8
20061104	210448.48	Geelbroek	52.934	6.578	235,045	550,219		1.3 3.0
20061105	150025.43	Schaaphok	53.273	6.792	248,652	588,137		1.2 3.0
20061225	045718.51	Warfhuizen	53.340	6.403	222,645	595,194		1.3 3.0
20070110	183628.54	Delfzijl	53.341	6.883	254,609	595,807		1.5 3.0
20070118	222944.29	Overschild	53.274	6.767	246,983	588,216		0.9 3.0
20070126	002009.10	Zeerijp	53.352	6.755	246,039	596,898		2.3 3.0
20070131	010335.87	Zandew eer	53.368	6.672	240,459	598,595		1.2 3.0
20070204	044735.16	Middelstum	53.346	6.658	239,614	596,168		0.6 3.0
20070216	111409.06	Harkstede	53.229	6.702	242,739	583,110		1.5 3.0
20070217	014114.01	Harkstede	53.227	6.703	242,853	582,981		2.6 3.0
20070217	022108.02	Harkstede	53.228	6.683	241,516	583,013		0.9 3.0
20070217	195801.45	Krewerd	53.351	6.857	252,810	596,939		0.9 3.0
20070303	064333.49	Harkstede	53.235	6.708	243,170	583,878		1.1 3.0
20070311	010814.36	Wirdum	53.326	6.780	247,760	594,019		1.1 3.0
20070321	230436.36	Schaaphok	53.240	6.722	244,051	584,414		1.2 3.0
20070329	202814.25	Schipborg	53.068	6.693	242,507	565,223		0.7 3.0
20070330	162505.67	Lageland	53.236	6.707	243,058	583,950		1.2 3.0
20070401	154237.31	Harkstede	53.230	6.690	241,958	583,207		0.7 3.0
20070413	145728.11	Woudbloem	53.231	6.745	245,628	583,405		1.3 2.0
20070514	121924.02	Stedum	53.331	6.702	242,531	594,533		2.0 3.0
20070519	053322.59	Westeind	53.163	6.828	251,342	575,984		0.4 3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20070609	200733.63	Zeerijp	53.353	6.747	245,482	597,018		2.1	3.0
20070610	172740.31	Bedum	53.326	6.613	236,656	593,873		1.7	3.0
20070611	021812.25	Bedum	53.321	6.653	239,331	593,344		1.1	3.0
20070623	020146.32	Stedum	53.317	6.703	242,670	592,995		1.2	3.0
20070702	205703.35	Emmen	52.767	6.875	255,370	532,028		1.4	3.0
20070815	054924.24	Garsthuizen	53.369	6.732	244,450	598,779		1.5	3.0
20070917	050120.88	Leermens	53.344	6.800	249,052	596,122		1.5	3.0
20070918	061633.81	Schildwolde	53.236	6.800	249,288	584,068		0.9	3.0
20070928	052640.03	Fraamklap	53.338	6.623	237,300	595,182		1.2	3.0
20070930	141735.63	Froombosch	53.194	6.788	248,600	579,399		2.1	3.0
20071027	015751.45	Loppersum	53.333	6.748	245,635	594,776		2.0	3.0
20071113	102605.83	Overschild	53.293	6.823	250,719	590,460		1.7	3.0
20071130	213745.84	Vries	53.053	6.568	234,157	563,429		1.5	3.0
20071210	035913.85	Sauwerd	53.297	6.535	231,490	590,559		0.7	3.0
20080102	033615.85	Geelbroek	52.939	6.560	233,805	550,718		1.4	3.0
20080105	203149.73	Nieuw-Annerveen	53.065	6.782	248,433	564,982		1.7	3.0
20080107	215316.80	Garmerwolde	53.243	6.658	239,818	584,652		1.1	3.0
20080124	192101.70	Bedum	53.196	6.773	247,593	579,602		1.5	3.0
20080212	024849.96	Garrelsheer	53.311	6.783	248,014	592,372		0.9	3.0
20080217	163515.19	Westlaren	53.082	6.682	241,696	566,822		1.8	3.0
20080219	154451.34	Froombosch	53.183	6.762	246,842	578,122		0.9	3.0
20080319	170210.02	Onderdendam	53.348	6.565	233,397	596,248		1.2	3.0
20080329	165722.03	Steendam	53.292	6.842	251,943	590,373		1.4	3.0
20080331	070602.50	Westeremden	53.346	6.700	242,389	596,218		1.2	3.0
20080402	011531.70	Elefeld	52.946	6.592	235,919	551,569		1.9	3.0
20080402	012837.19	Elefeld	52.947	6.595	236,143	551,628	2	2.5	3.0
20080407	043222.73	Meedhuizen	53.294	6.897	255,605	590,689		1.2	3.0
20080411	225126.21	Tjuchem	53.283	6.875	254,186	589,416		1.1	3.0
20080415	045403.21	Westerdijkshorn	53.312	6.557	232,907	592,252		0.9	3.0
20080422	114602.53	Nieuw-Annerveen	53.068	6.770	247,645	565,282		1.8	3.0
20080428	024701.09	Siddeburen	53.259	6.860	253,242	586,652		1.3	3.0
20080505	195608.87	Onderdendam	53.333	6.590	235,090	594,551		1.0	3.0
20080509	213303.07	Ten Post	53.286	6.725	244,179	589,499		1.3	3.0
20080510	232035.31	Loppersum	53.327	6.728	244,316	594,046		1.2	3.0
20080518	132346.14	Garsthuizen	53.375	6.728	244,215	599,480	3	2.2	2.8
20080519	150729.55	Loppersum	53.325	6.740	245,097	593,857	2	1.9	3.0
20080530	144808.51	Usquert	53.408	6.633	237,831	603,001		1.3	3.0
20080601	110058.77	Garrelsheer	53.308	6.782	247,909	592,037		1.3	3.0
20080610	205105.76	Garrelsheer	53.310	6.785	248,127	592,263		0.9	3.0
20080615	062927.02	Noordzee	52.864	4.362	85,916	542,205		2.1	3.5
20080622	210615.53	Siddeburen	53.248	6.842	252,043	585,422		0.9	3.0
20080623	135214.53	Veendam	53.109	6.855	253,248	569,993		1.1	3.0
20080710	065733.90	Holwierde	53.351	6.882	254,475	596,918	3	2.5	3.0
20080723	200512.97	Engelbert	53.212	6.663	240,213	581,209		1.2	3.0
20080805	023551.14	Emmen	52.762	6.908	257,632	531,426	2	2.0	3.0
20080823	194907.37	Loppersum	53.330	6.725	244,088	594,413		0.9	3.0
20080826	225552.65	Elefeld	52.949	6.565	234,122	551,854	2	2.3	3.0
20080914	203212.48	Westerwijtwerd	53.331	6.622	237,203	594,383		1.1	3.0
20080915	222657.62	Eexterveen	53.054	6.803	249,909	563,768		1.0	3.0
20080920	084558.68	Lageland	53.238	6.707	243,054	584,173		1.3	3.0
20080929	102044.81	Warffum	53.379	6.602	235,780	599,738		1.8	3.0
20081011	081939.90	Noordzee	52.700	4.372	86,333	523,931		2.6	3.0
20081026	024850.06	Schildwolde	53.243	6.805	249,606	584,873		1.1	3.0
20081026	074952.41	Geelbroek	52.945	6.553	233,346	551,341		1.7	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20081029	163621.82	Stedum	53.330	6.710	243,089	594,376		1.4	3.0
20081030	055429.08	Westeremden	53.337	6.720	243,740	595,168	2	3.2	3.0
20081107	164001.28	Garsthuizen	53.381	6.735	244,647	600,100	2	2.2	3.0
20081110	105506.90	Spijkerboor	53.083	6.763	247,166	566,942		0.7	3.0
20081116	225109.67	Eexterveen	53.048	6.792	249,139	563,160		1.2	3.0
20081210	032238.90	Tetjehorn	53.280	6.828	251,082	588,946		1.1	3.0
20081215	204117.08	Onderdendam	53.336	6.600	235,750	594,952		1.5	3.0
20081223	151659.84	Oldenzijl	53.403	6.710	242,940	602,480		1.4	3.0
20081224	012737.32	Vries	53.065	6.582	235,029	564,760		1.2	3.0
20090101	083439.08	Zuidlaren	53.095	6.718	244,126	568,277		1.5	3.0
20090101	093546.69	Delfzijl	53.330	6.902	255,856	594,609		1.2	3.0
20090101	165446.91	Loppersum	53.366	6.772	247,118	598,533		1.7	3.0
20090108	011701.76	Westeremden	53.348	6.717	243,496	596,387		1.7	3.0
20090109	201658.44	Westeremden	53.341	6.713	243,287	595,660	3	1.9	3.0
20090115	124113.36	Marsum	53.339	6.872	253,836	595,606		1.0	3.0
20090117	060503.64	Sappemeer	53.170	6.795	249,097	576,755		1.1	3.0
20090201	042324.16	Westeremden	53.360	6.740	245,024	597,769		2.2	3.0
20090203	065352.07	Appingedam	53.315	6.875	254,114	592,922		1.2	3.0
20090204	122350.02	Garsthuizen	53.376	6.742	245,101	599,571		1.7	3.0
20090205	115612.95	Delfzijl	53.328	6.923	257,304	594,417		1.1	3.0
20090216	092455.58	Overschild	53.298	6.800	249,153	590,930		1.4	3.0
20090222	115626.65	Midlaren	53.118	6.647	239,282	570,749		0.8	3.0
20090223	180315.49	Tripscompagnie	53.132	6.830	251,523	572,481		1.0	3.0
20090226	012149.58	Midlaren	53.119	6.650	239,503	570,846		0.5	3.0
20090226	030315.25	Midlaren	53.118	6.647	239,281	570,786		1.1	3.0
20090305	233634.62	Midlaren	53.119	6.647	239,281	570,824		0.8	3.0
20090312	043655.26	Midlaren	53.117	6.645	239,172	570,636		0.6	3.0
20090312	050022.29	Midlaren	53.117	6.645	239,172	570,655		0.5	3.0
20090312	145600.62	Midlaren	53.117	6.647	239,284	570,619		0.8	3.0
20090312	170751.79	Midlaren	53.117	6.647	239,284	570,619		0.6	3.0
20090313	143332.82	Delfzijl	53.350	6.902	255,809	596,853		1.2	3.0
20090314	153216.31	Midlaren	53.119	6.652	239,614	570,904		1.0	3.0
20090314	153227.70	Midlaren	53.118	6.643	239,059	570,727		1.0	3.0
20090314	201051.95	Midlaren	53.116	6.637	238,616	570,515		0.5	3.0
20090317	000615.04	Midlaren	53.122	6.652	239,610	571,145		0.4	3.0
20090317	033407.36	Midlaren	53.120	6.648	239,389	570,993		0.5	3.0
20090317	043827.41	Midlaren	53.119	6.648	239,392	570,844		1.4	3.0
20090317	063252.22	Midlaren	53.120	6.648	239,390	570,955		1.1	3.0
20090317	163455.07	Midlaren	53.118	6.652	239,616	570,774		0.5	3.0
20090317	183957.72	Midlaren	53.119	6.653	239,725	570,906		0.5	3.0
20090317	184009.26	Midlaren	53.119	6.645	239,169	570,822		0.6	3.0
20090317	191016.55	Midlaren	53.120	6.648	239,390	570,937		0.9	3.0
20090317	191033.60	Midlaren	53.120	6.648	239,389	570,993		0.9	3.0
20090317	191049.31	Midlaren	53.120	6.647	239,278	570,953		0.9	3.0
20090317	191112.38	Midlaren	53.121	6.648	239,388	571,085		1.0	3.0
20090317	191535.80	Midlaren	53.120	6.648	239,390	570,974		1.0	3.0
20090317	191615.04	Midlaren	53.120	6.648	239,389	570,993		1.0	3.0
20090317	192736.41	Midlaren	53.120	6.650	239,502	570,920		0.7	3.0
20090317	192841.32	Midlaren	53.120	6.650	239,502	570,939		0.7	3.0
20090317	212851.49	Midlaren	53.120	6.652	239,612	571,014		1.1	3.0
20090317	224206.79	Midlaren	53.119	6.652	239,615	570,830		0.8	3.0
20090318	142639.47	Midlaren	53.120	6.653	239,725	570,924		0.9	3.0
20090318	181645.08	Midlaren	53.119	6.650	239,503	570,846		0.9	3.0
20090318	182718.77	Midlaren	53.120	6.652	239,613	570,941		0.6	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20090320	210748.86	Midlaren	53.119	6.642	238,946	570,836		0.5	3.0
20090320	212154.82	Midlaren	53.119	6.645	239,169	570,803		0.6	3.0
20090320	213022.62	Midlaren	53.120	6.647	239,278	570,972		0.5	3.0
20090320	213748.46	Midlaren	53.120	6.648	239,389	570,993		0.6	3.0
20090320	224815.16	Midlaren	53.120	6.655	239,835	571,018		0.4	3.0
20090320	224929.96	Midlaren	53.117	6.638	238,726	570,609		0.5	3.0
20090321	043135.70	Midlaren	53.122	6.648	239,386	571,196		0.2	3.0
20090321	051106.51	Midlaren	53.120	6.652	239,613	570,978		0.5	3.0
20090322	003219.11	Midlaren	53.120	6.648	239,390	570,955		1.2	3.0
20090322	003453.49	Midlaren	53.119	6.648	239,391	570,900		0.6	3.0
20090327	025128.16	Hoeksmeer	53.308	6.810	249,797	592,092		1.0	3.0
20090414	210525.96	Huizinge	53.342	6.678	240,955	595,673		2.6	3.0
20090414	233502.87	't-Zandt	53.359	6.780	247,689	597,672		0.9	3.0
20090416	171215.91	Appingedam	53.313	6.845	252,118	592,732		2.6	3.0
20090420	144251.49	Wirdumerpolder	53.296	6.808	249,712	590,774		1.5	3.0
20090501	141301.73	Harkstede	53.222	6.720	243,976	582,428		1.2	3.0
20090504	113116.56	't-Zand	53.356	6.782	247,805	597,433		1.8	3.0
20090507	012024.54	't-Zand	53.379	6.778	247,535	599,932		1.4	3.0
20090507	034212.64	Winneweer	53.316	6.728	244,339	592,841		1.6	3.0
20090507	131442.56	Lageland	53.253	6.723	244,135	585,862		1.2	3.0
20090508	052311.95	Zeerijp	53.354	6.762	246,479	597,129		3.0	3.0
20090508	155422.87	Kropswolde	53.142	6.715	243,807	573,465		0.9	3.0
20090522	014029.53	Annerveenschekanaal	53.076	6.835	251,982	566,313		1.3	3.0
20090526	000759.58	Meedhuizen	53.302	6.930	257,809	591,553		1.3	3.0
20090526	110036.74	Meedhuizen	53.314	6.928	257,669	592,904		1.3	3.0
20090601	023225.49	Siddeburen	53.230	6.878	254,530	583,525		0.9	3.0
20090615	153250.85	Overschild	53.287	6.813	250,067	589,705		1.0	3.0
20090705	104246.37	Winneweer	53.308	6.755	246,133	591,966		1.8	3.0
20090705	185242.27	Schildwolde	53.226	6.835	251,647	582,965		1.2	3.0
20090714	161114.14	Noordzee	52.773	4.308	82,174	532,114		2.7	3.0
20090722	000000.11	Wittewierum	53.290	6.765	246,836	590,068		1.7	3.0
20090819	014938.13	Middelbert	53.232	6.632	238,060	583,360		0.7	3.0
20090914	003251.39	Steendam	53.278	6.845	252,198	588,782		1.3	3.0
20090929	022310.19	Eekwerderdraai	53.314	6.802	249,229	592,731		1.6	3.0
20091102	020005.65	Westenesch	52.790	6.863	254,531	534,515		1.4	3.0
20091118	051749.39	Hoogezand	53.145	6.748	246,030	573,914		1.6	3.0
20091119	010930.84	Annerveenschekanaal	53.071	6.817	250,765	565,715		1.1	3.5
20091119	132009.42	Assen	52.972	6.588	235,648	554,420		0.9	3.0
20091120	092732.46	Winneweer	53.321	6.747	245,550	593,439		1.2	3.0
20091126	125414.21	De Hoeve (Fr)	52.892	6.113	203,834	545,075		2.8	3.0
20091202	085331.22	Laskwerd	53.291	6.833	251,390	590,251		1.1	3.0
20091204	041232.14	Wittewierum	53.284	6.743	245,404	589,355		2.3	3.0
20091207	002459.87	Doekegat	53.451	6.923	257,010	608,177		1.3	3.0
20091221	045528.14	Woudbloem	53.224	6.743	245,531	582,624		1.5	3.0
20091223	183825.41	Garrelsheer	53.310	6.760	246,462	592,195		1.5	3.0
20091225	233752.19	Woudbloem	53.227	6.750	245,969	583,021		0.7	3.0
20100109	123112.38	Winneweer	53.367	6.665	240,018	598,476		1.7	3.0
20100114	171222.65	Hoeksmeer	53.293	6.817	250,275	590,395		1.2	3.0
20100211	071412.60	Oud-Annerveen	53.084	6.767	247,387	567,077		0.3	3.0
20100217	155501.98	Froombosch	53.192	6.792	248,827	579,181		1.2	3.0
20100219	231251.58	Overschild	53.288	6.802	249,286	589,819		1.8	3.0
20100304	195957.89	Eenum	53.342	6.792	248,501	595,870		1.4	3.0
20100331	151502.77	Froombosch	53.190	6.777	247,828	578,957		2.4	3.0
20100403	115056.76	Middelstum	53.346	6.658	239,616	596,094		1.4	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20100425	004600.40	Eekwerderdraai	53.318	6.800	249,109	593,173		1.6	3.0
20100425	131317.17	Zuidbroek	53.158	6.850	252,803	575,401		1.0	3.0
20100503	092616.05	Spijk	53.387	6.810	249,624	600,882		2.3	3.0
20100505	033803.03	Oosternieland	53.405	6.775	247,258	602,784		1.6	3.0
20100507	082635.78	Waddenzee	53.491	6.617	236,566	612,181		2.5	3.0
20100508	233607.21	Tjuchem	53.278	6.865	253,531	588,847		1.0	3.0
20100509	170509.55	Wagenborgen	53.247	6.927	257,717	585,484		1.7	3.0
20100521	023409.18	Tjuchem	53.281	6.870	253,858	589,132		0.9	3.0
20100526	125359.07	Schildwolde	53.235	6.833	251,516	583,963		0.9	3.0
20100530	185836.12	Lageland	53.238	6.678	241,162	584,175		1.5	3.0
20100530	185857.99	Lageland	53.238	6.678	241,162	584,175		1.2	3.0
20100608	022028.86	Noordbroek	53.199	6.847	252,487	579,977		1.0	3.0
20100609	191922.46	Hoogezand	53.182	6.775	247,735	578,010		2.0	3.0
20100610	195735.18	Middelbert	53.226	6.652	239,406	582,735		1.1	3.0
20100616	010757.96	Krewerd	53.358	6.853	252,571	597,750		1.5	3.0
20100621	004007.48	Luddeweer	53.250	6.745	245,588	585,500		1.3	3.0
20100621	040258.42	Groningen	53.218	6.620	237,307	581,845		1.5	3.0
20100621	080603.70	Wildervank	53.074	6.835	251,986	566,110		1.7	3.0
20100704	015804.72	Schildwolde	53.251	6.800	249,255	585,737		0.8	3.0
20100724	004643.62	Woltersum	53.280	6.735	244,857	588,917		1.8	3.0
20100814	074320.25	Uithuizermeeden	53.403	6.703	242,496	602,509		2.5	3.0
20100829	181330.57	Slochteren	53.210	6.828	251,238	581,157		1.6	3.0
20100831	175456.58	Zandeweer	53.376	6.683	241,219	599,518	2	1.4	3.0
20100903	105404.27	Schildwolde	53.228	6.813	250,197	583,140		1.0	3.0
20101006	202223.96	Slochteren	53.218	6.775	247,658	582,033		0.9	3.0
20101022	193111.37	Kolham	53.180	6.732	244,842	577,769		1.0	3.0
20101031	144638.98	Appingedam	53.312	6.872	253,898	592,601		1.0	3.0
20101115	114245.95	Westeremden	53.348	6.703	242,608	596,389		1.4	3.0
20101124	041025.18	Delfzijl	53.281	6.955	259,527	589,233		0.6	3.0
20101202	134439.79	Warfum	53.423	6.580	234,257	604,629		1.2	3.0
20101207	144250.06	Appingedam	53.313	6.862	253,229	592,718		1.2	3.0
20101208	150205.55	Winneweer	53.317	6.735	244,781	592,961		1.1	3.0
20101230	095658.47	Termunterzijl	53.335	7.005	262,725	595,334		0.9	3.0
20110106	061736.34	Hoeksmeer	53.295	6.780	247,826	590,588		1.3	3.0
20110107	213437.32	Nieuwolda	53.245	6.967	260,391	585,337		1.7	3.0
20110116	015617.92	Annen	53.057	6.762	247,108	564,140		1.8	3.0
20110119	193931.69	Stedum	53.315	6.640	238,454	592,697		2.4	3.0
20110122	092817.93	Hoogezand	53.166	6.793	248,995	576,271		1.1	3.0
20110128	150702.24	Lellens	53.301	6.712	243,259	591,170		1.5	3.0
20110130	092804.07	Kroddeburen	53.302	6.722	243,923	591,293		1.4	3.0
20110208	041625.01	Luddeweer	53.258	6.763	246,795	586,413		1.3	3.0
20110311	043242.34	Appingedam	53.263	6.863	253,454	587,157		1.4	3.0
20110313	201610.68	Overschild	53.271	6.775	247,544	587,949		1.5	3.0
20110314	200245.92	Achterdiep	53.177	6.812	250,198	577,464		0.8	3.0
20110319	023439.44	Nieuwe Pekela	53.066	6.933	258,595	565,301		0.9	3.0
20110326	023148.92	Schildwolde	53.253	6.820	250,585	586,023		1.2	3.0
20110326	204554.41	Loppersum	53.335	6.732	244,521	594,978		1.5	3.0
20110328	031448.65	Sappemeer	53.168	6.805	249,770	576,546	3	2.0	3.0
20110408	010459.84	Eemshaven	53.446	6.843	251,709	607,455		1.3	3.0
20110412	165840.48	Gieterveen	53.035	6.838	252,297	561,756		0.9	3.0
20110413	202822.71	Overschild	53.288	6.800	249,175	589,817		0.9	3.0
20110415	043854.14	Slochteren	53.200	6.837	251,816	580,111		1.5	3.0
20110420	202944.67	Ommelandervijk	53.083	6.902	256,431	567,220		0.8	3.0
20110424	064008.96	Tussenklappen	53.156	6.853	253,030	575,202		0.5	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20110428	024104.04	Steendam	53.286	6.848	252,403	589,640		1.4	3.0
20110428	084841.37	Winneweer	53.312	6.727	244,235	592,431		1.4	3.0
20110502	234410.44	Meeden	53.127	6.937	258,671	572,148		1.2	3.0
20110505	000418.06	Scheemda	53.174	6.932	258,226	577,314		0.8	3.0
20110507	124410.55	Wirdum	53.328	6.772	247,200	594,268		1.1	3.0
20110508	134023.27	Overschild	53.278	6.802	249,309	588,688		0.9	3.0
20110510	033815.70	Holwierde	53.350	6.863	253,255	596,856		1.0	3.0
20110510	172011.90	Klein Harkstede	53.225	6.657	239,743	582,611		1.2	3.0
20110512	164429.83	Froombosch	53.195	6.757	246,481	579,487	2	1.8	3.0
20110512	165105.76	Hellum	53.240	6.828	251,172	584,495		1.1	3.0
20110514	033336.60	Noordzee	53.634	4.402	89,783	627,902		2.5	3.0
20110518	000226.51	Garrelsw eer	53.320	6.770	247,106	593,395		0.8	3.0
20110518	174825.84	Siddeburen	53.248	6.845	252,266	585,408	2	1.9	3.0
20110519	000904.96	Bocht van Watum	53.422	6.893	255,086	604,834		0.9	3.0
20110519	181604.30	Krewerd	53.359	6.843	251,905	597,775		1.2	3.0
20110519	194152.19	Kolhol	53.396	6.777	247,386	601,877		1.4	3.0
20110523	051513.08	Sappemeer	53.155	6.820	250,802	575,101		0.9	0.9
20110523	074931.21	Overschild	53.270	6.767	246,990	587,827		1.2	3.0
20110526	155608.13	Oosternieland	53.407	6.775	247,254	603,007		1.9	3.0
20110527	230412.35	Waterhuizen	53.182	6.647	239,158	577,852		1.7	3.0
20110602	001940.19	Garsthuizen	53.376	6.737	244,769	599,528		1.0	3.0
20110602	164317.14	Steendam	53.274	6.822	250,649	588,362		0.8	3.0
20110605	094030.82	Haren	53.176	6.612	236,829	577,199		1.5	3.0
20110605	230837.82	Rottumerplaat	53.522	6.485	227,776	615,471		1.4	3.0
20110618	154219.71	Noordbroek	53.199	6.845	252,374	580,048		1.3	3.0
20110619	202209.00	Schuilingsoord	53.072	6.705	243,281	565,664		1.1	3.0
20110619	205040.00	Schuilingsoord	53.075	6.703	243,163	565,977		0.3	3.0
20110623	091446.29	Wirdum	53.321	6.775	247,437	593,493	2	1.7	3.0
20110624	004947.26	Westeremden	53.359	6.735	244,692	597,708		1.1	3.0
20110627	041028.35	Wittewierum	53.285	6.743	245,403	589,411		1.0	3.0
20110627	154809.71	Hoeksmeer	53.299	6.800	249,151	591,078		3.2	3.0
20110627	162736.50	Appingedam	53.295	6.777	247,604	590,603		1.4	3.0
20110627	225534.33	Appingedam	53.305	6.802	249,249	591,748		1.1	3.0
20110705	114430.48	Noordzee	52.917	4.280	80,509	548,239		2.5	3.5
20110723	191419.50	Slochteren	53.246	6.775	247,597	585,185		1.2	3.0
20110727	001714.32	Tjuchem	53.285	6.880	254,515	589,647		1.2	3.0
20110727	174422.04	Schaapbulten	53.286	6.953	259,402	589,843		1.2	3.0
20110727	184209.41	Zandeweer	53.387	6.662	239,756	600,716		1.1	3.0
20110729	224833.63	Loppersum	53.337	6.728	244,296	595,159		1.8	3.0
20110801	112005.20	Godlinze	53.368	6.798	248,889	598,753		0.9	3.0
20110802	164420.38	Schuilingsoord	53.074	6.727	244,728	565,950		1.6	3.0
20110817	211804.09	Hoeksmeer	53.303	6.787	248,254	591,450		1.0	3.0
20110818	214440.61	Woltersum	53.281	6.733	244,743	589,027		1.3	3.0
20110820	093942.17	Noordwolde	53.279	6.625	237,524	588,619		1.5	3.0
20110823	150800.64	Sappemeer	53.168	6.817	250,551	576,506		1.6	3.0
20110831	045140.24	Garsthuizen	53.370	6.693	241,898	598,807		1.1	3.0
20110831	062357.32	Uithuizen	53.439	6.688	241,427	606,460		2.5	3.0
20110904	130056.12	Stedum	53.316	6.678	241,006	592,836		0.8	3.0
20110906	214810.98	Oosterwijtwerd	53.338	6.805	249,399	595,368	3	2.5	3.0
20110907	041456.89	Woltersum	53.267	6.767	246,998	587,419		1.4	1.1
20110915	002029.82	Eekwerderdraai	53.323	6.823	250,652	593,798		1.6	3.0
20110922	055407.64	Eleveld	52.970	6.580	235,092	554,151		0.9	3.0
20110925	004910.27	Westeremden	53.348	6.728	244,272	596,420		1.0	3.0
20110925	125901.28	Garsthuizen	53.363	6.728	244,240	598,144		2.0	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20111004	195239.36	Noordzee	52.822	4.265	79,336	537,685		2.6	3.0
20111008	004742.62	Siddeburen	53.261	6.862	253,347	586,932		1.9	3.0
20111009	043342.84	Noordzee	53.281	3.885	54,789	589,160		3.1	3.0
20111009	214314.08	Ten Boer	53.281	6.662	239,964	588,940		1.5	3.0
20111024	172727.17	Farmsum	53.317	6.965	260,106	593,253		1.3	3.0
20111104	180212.09	Oosterwijtwerd	53.343	6.808	249,610	595,966		1.5	3.0
20111106	053742.68	Harkstede	53.226	6.682	241,409	582,770		0.7	3.0
20111107	175033.78	Eexterveen	53.058	6.798	249,564	564,299		1.0	3.0
20111107	192631.27	Garmerwolde	53.246	6.685	241,591	585,073		1.2	3.0
20111109	150852.55	Nieuwolda	53.256	6.958	259,810	586,457		1.6	3.0
20111115	021246.85	Eleveld	52.953	6.592	235,906	552,348		0.9	3.0
20111115	081411.03	Weiwerd	53.292	6.967	260,277	590,511		1.5	3.0
20111118	212720.97	Froombosch	53.206	6.773	247,573	580,659		0.2	3.0
20111127	050000.95	Appingedam	53.313	6.822	250,564	592,645		1.7	3.0
20111204	153452.10	Lakswerd	53.293	6.825	250,830	590,462		1.3	3.0
20111220	213539.32	Tripscompagnie	53.145	6.817	250,603	573,910		0.9	3.0
20111220	231713.20	Noordzee	52.773	4.288	80,825	532,209		2.2	3.0
20111223	113717.13	Engelbert	53.204	6.627	237,780	580,239		1.1	3.0
20111230	062012.69	Middelstum	53.353	6.657	239,491	596,853	3	2.2	3.0
20120106	171353.09	Middelstum	53.360	6.667	240,143	597,643	2	1.9	3.0
20120107	065712.79	Thesinge	53.262	6.628	237,778	586,769		1.6	3.0
20120116	211100.81	Wirdum	53.319	6.793	248,663	593,276		1.3	3.0
20120121	000726.74	Zevenhuizen	53.237	6.682	241,387	583,994		1.1	3.0
20120124	113538.49	Winneweer	53.315	6.755	246,118	592,745		1.3	3.0
20120127	061832.98	Nieuwe Pekela	53.103	6.968	260,850	569,486		1.6	3.0
20120128	134259.26	Zeerijp	53.349	6.757	246,156	596,604		0.9	3.0
20120130	090624.69	Lellens	53.295	6.745	245,494	590,526		1.5	3.0
20120131	193706.26	Tjuchem	53.288	6.872	253,953	589,950		1.4	3.0
20120201	004238.48	Sappemeer	53.156	6.803	249,686	575,135		0.9	3.0
20120204	095622.90	Westeremden	53.357	6.722	243,809	597,451		1.8	3.0
20120205	165338.43	Eenum	53.329	6.793	248,641	594,407		1.4	3.0
20120205	165844.63	Meedhuizen	53.276	6.902	255,982	588,601		1.5	3.0
20120207	001903.83	Tjuchem	53.295	6.868	253,714	590,724		1.4	3.0
20120212	013330.10	Noordzee	52.689	4.370	86,204	522,783		1.3	3.0
20120212	070605.70	Noordzee	52.782	4.327	83,425	533,097		1.7	3.0
20120216	000559.19	Stedum	53.307	6.692	241,913	591,832		1.9	3.0
20120217	080844.15	Westeremden	53.358	6.708	242,920	597,546		1.7	3.0
20120217	171749.95	Nieuwediep	53.033	6.870	254,425	561,577		1.0	3.0
20120219	185710.12	Siddeburen	53.259	6.872	254,019	586,742	2	1.8	3.0
20120304	172939.14	Garmerwolde	53.241	6.633	238,153	584,419		0.9	3.0
20120307	095116.57	Hellum	53.230	6.882	254,754	583,455		1.3	3.0
20120307	172226.89	Garrelsw eer	53.293	6.825	250,830	590,462		1.0	3.0
20120308	035456.80	Overschild	53.264	6.798	249,116	587,181		0.5	3.0
20120308	110337.24	Hoogezand	53.167	6.768	247,321	576,350		0.9	3.0
20120316	082846.45	Noordzee	52.702	4.613	102,668	523,951		1.0	3.0
20120318	182827.91	Meedhuizen	53.303	6.902	255,918	591,642		0.9	3.0
20120323	034656.88	Woudbloem	53.210	6.748	245,894	581,072		0.4	3.0
20120327	144011.91	Winneweer	53.313	6.735	244,789	592,516		1.0	3.0
20120331	025803.39	Wagenborgen	53.249	6.917	257,046	585,636		1.6	3.0
20120404	211633.16	Tjuchem	53.289	6.872	253,951	590,006		1.7	3.0
20120407	022547.97	Garrelsw eer	53.295	6.798	249,047	590,667		1.5	3.0
20120413	011449.53	Steendam	53.261	6.838	251,791	586,882		0.7	3.0
20120414	203928.37	Uithuizen(Wad)	53.487	6.695	241,771	611,883		0.9	3.0
20120416	210147.17	Wirdum	53.309	6.787	248,241	592,136		1.1	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20120418	120705.43	Loppersum	53.341	6.733	244,619	595,685		1.2	3.0
20120418	222449.48	Groet (Noordzee)	52.700	4.625	103,455	523,739		1.8	3.0
20120421	213911.77	Krewerd	53.352	6.833	251,255	596,963		0.3	3.0
20120425	172524.55	Sappemeer	53.178	6.818	250,640	577,639	3.5	2.0	3.0
20120506	042333.11	Steendam	53.274	6.823	250,762	588,271		0.8	3.0
20120510	210721.44	Siddeburen	53.247	6.878	254,491	585,416		0.8	3.0
20120511	002325.76	Appingedam	53.331	6.885	254,743	594,716		0.9	3.0
20120513	162244.53	Appingedam	53.298	6.835	251,486	590,976		0.9	3.0
20120515	141052.72	Siddeburen	53.250	6.893	255,487	585,696		0.8	3.0
20120517	025419.03	Siddeburen	53.248	6.852	252,711	585,417		0.9	3.0
20120524	155239.81	Huizinge	53.359	6.670	240,366	597,592		1.5	3.0
20120528	074137.26	Overschild	53.278	6.815	250,197	588,724		0.6	3.0
20120602	011222.94	Sappemeer	53.185	6.817	250,514	578,360		0.7	3.0
20120608	055432.15	Kolham	53.183	6.760	246,730	578,156		0.9	3.0
20120614	030508.38	Wagenborgen	53.254	6.922	257,367	586,218	2	1.7	3.0
20120615	052337.12	Siddeburen	53.246	6.863	253,494	585,229		1.5	3.0
20120621	080136.67	Wirdum	53.322	6.783	247,991	593,579	3	1.7	3.0
20120621	234422.79	Oosterwijtwerd	53.319	6.813	249,995	593,340		1.1	3.0
20120622	133143.88	Lellens	53.296	6.755	246,158	590,649		1.4	3.0
20120622	151028.90	Lellens	53.290	6.753	246,059	589,998		0.8	3.0
20120627	003157.62	Zuidbroek	53.151	6.850	252,817	574,715		0.5	3.0
20120627	003912.66	Zuidbroek	53.151	6.852	252,930	574,624		0.3	3.0
20120627	194459.37	Eexterzandvoort	53.046	6.762	247,133	562,824		0.4	3.0
20120627	194548.06	Eexterzandvoort	53.046	6.762	247,133	562,860		0.2	3.0
20120703	165505.77	Overschild	53.269	6.768	247,104	587,699		1.1	3.0
20120707	001305.08	Overschild	53.289	6.800	249,172	589,965		0.8	3.0
20120707	002808.85	Eenum	53.332	6.773	247,303	594,659		0.7	3.0
20120710	180909.03	Lettelbert	53.196	6.403	222,871	579,208		0.9	3.0
20120712	170202.63	Steendam	53.278	6.850	252,531	588,808		1.0	3.0
20120716	202129.97	Wirdum	53.320	6.768	246,996	593,318		0.6	3.0
20120719	124257.52	Sappemeer	53.177	6.802	249,528	577,506		0.9	3.0
20120725	181215.05	Garrelsw eer	53.293	6.823	250,719	590,460		0.8	3.0
20120727	171253.50	Stedum	53.315	6.680	241,121	592,652		1.2	3.0
20120730	113646.90	Westeremden	53.340	6.730	244,399	595,551		1.3	3.0
20120730	131411.43	Wirdum	53.323	6.787	248,211	593,694		1.0	3.0
20120730	210902.99	Hoogezand	53.177	6.783	248,303	577,463		0.5	3.0
20120801	032411.14	Eenum	53.333	6.800	249,077	594,824		0.7	3.0
20120808	141123.14	Harkstede	53.211	6.670	240,661	581,069		0.8	3.0
20120809	232349.83	Haren	53.183	6.613	236,928	577,943	2	1.5	3.0
20120814	030159.81	Garrelsw eer	53.305	6.785	248,138	591,726		1.0	3.0
20120815	191736.49	Leermens	53.353	6.805	249,365	597,093	2	2.4	3.0
20120816	075451.64	Zeerijp	53.362	6.752	245,796	598,026		1.2	3.0
20120816	203033.32	Huizinge	53.345	6.672	240,504	596,073	6	3.6	3.0
20120817	002641.75	Middelstum	53.360	6.653	239,255	597,683		0.6	3.0
20120817	063452.46	Siddeburen	53.238	6.898	255,847	584,461		0.8	3.0
20120823	210649.74	Appingedam	53.300	6.833	251,371	591,178		0.7	3.0
20120828	232717.96	Appingedam	53.308	6.835	251,464	592,107		0.9	3.0
20120923	045419.39	Middelstum	53.346	6.645	238,727	596,135		0.9	3.0
20120928	103223.49	Schildwolde	53.219	6.830	251,328	582,253		1.2	3.0
20120930	010922.96	Woudbloem	53.208	6.752	246,121	580,854		0.6	3.0
20120930	163524.90	Amen	52.939	6.620	237,837	550,785		0.7	3.0
20121007	024443.71	Nieuw-Annerveen	53.053	6.768	247,565	563,630		1.0	3.0
20121013	223646.24	Steendam	53.279	6.850	252,530	588,864		0.9	3.0
20121016	190036.92	Oudwoude	53.297	6.133	204,713	590,189		1.1	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20121023	170529.05	Wirdum	53.311	6.777	247,569	592,383	2	1.3	3.0
20121027	105523.79	Garmerwolde	53.239	6.613	236,821	584,211		1.0	3.0
20121030	210510.85	Garrelsw eer	53.298	6.763	246,710	590,864		0.7	3.0
20121113	164751.86	Oldenzijl	53.409	6.695	241,930	603,130		1.0	3.0
20121114	134500.91	Steendam	53.278	6.838	251,753	588,773		0.9	3.0
20121117	075739.70	Overschild	53.290	6.790	248,503	590,063		1.1	3.0
20121118	011806.20	Tjuchem	53.272	6.890	255,213	588,159		0.7	3.0
20121122	222011.71	Appingedam	53.315	6.870	253,781	592,896		1.1	3.0
20121127	200111.16	Froombosch	53.209	6.785	248,346	581,008		1.4	3.0
20121127	200300.55	Froombosch	53.213	6.777	247,780	581,479		0.4	3.0
20121130	161750.46	Steendam	53.261	6.833	251,458	586,838		1.0	3.0
20121130	161754.24	Steendam	53.254	6.830	251,250	586,147		1.1	3.0
20121130	200203.07	Steendam	53.267	6.845	252,222	587,577		0.9	3.0
20121217	091357.87	Loppersum	53.323	6.730	244,434	593,678		1.2	3.0
20121220	202520.16	Zuidbroek	53.169	6.855	253,111	576,687		0.6	3.0
20121225	203629.62	't Zandt	53.377	6.783	247,871	599,735		1.2	3.0
20130105	040841.45	Garrelsw eer	53.306	6.823	250,691	591,832	2	0.9	3.0
20130105	231458.98	Noordzee	52.824	4.258	78,889	537,877		2.6	3.0
20130109	175725.05	Lauwerzijl	53.316	6.327	217,574	592,454		1.2	3.0
20130111	125147.10	Delfzijl	53.346	6.960	259,701	596,509		1.4	3.0
20130111	223650.57	Usquert	53.407	6.602	235,728	602,817		1.8	3.0
20130111	223857.18	Steendam	53.265	6.852	252,672	587,345		0.8	3.0
20130112	012824.64	Zuidbroek	53.168	6.872	254,228	576,599		0.6	3.0
20130112	162440.74	Krewerd	53.345	6.862	253,156	596,278		0.9	3.0
20130112	223732.54	Steendam	53.273	6.850	252,541	588,288		0.9	3.0
20130118	164400.60	Zandeweer	53.389	6.663	239,864	600,903		1.3	3.0
20130119	201008.07	Overschild	53.280	6.785	248,192	588,908		2.4	3.0
20130127	084938.37	Froombosch	53.186	6.773	247,615	578,471		1.2	3.0
20130128	174353.79	Meedhuizen	53.275	6.912	256,649	588,596		1.5	3.0
20130203	141324.78	Lageland	53.230	6.703	242,847	583,297		1.4	3.0
20130204	042040.87	Froombosch	53.202	6.790	248,694	580,253		0.9	3.0
20130205	145308.58	Garmerwolde	53.222	6.643	238,857	582,317		1.5	3.0
20130207	223158.39	Zandeweer	53.375	6.667	240,112	599,405		2.7	3.0
20130207	231908.97	Zandeweer	53.389	6.667	240,085	600,945		3.2	3.0
20130209	052610.05	t Zandt	53.366	6.758	246,230	598,516		2.7	3.0
20130210	081508.25	Tjuchem	53.289	6.855	252,838	590,075		1.5	3.0
20130210	081641.00	Tjuchem	53.293	6.878	254,387	590,460		1.1	3.0
20130211	060852.15	Garrelsw eer	53.297	6.783	248,045	590,797		2.0	3.0
20130211	080708.15	Garrelsw eer	53.292	6.768	247,054	590,295		1.8	3.0
20130211	120145.36	Woudbloem	53.218	6.758	246,544	582,048		1.8	3.0
20130213	051646.48	Losdorp	53.368	6.845	251,995	598,815		1.8	3.0
20130215	142842.53	Wirdum	53.319	6.795	248,774	593,278		2.0	3.0
20130216	040631.41	Borgsw eer	53.328	6.993	261,965	594,593		0.8	3.0
20130216	074250.23	Steendam	53.252	6.833	251,477	585,912		0.8	3.0
20130218	000646.22	Nieuwolda	53.266	6.973	260,784	587,666		1.9	3.0
20130218	055400.17	Leermens	53.350	6.782	247,820	596,673		0.7	3.0
20130221	211408.44	't Zandt	53.364	6.753	245,903	598,231		0.7	3.0
20130225	013640.52	Garrelsw eer	53.303	6.782	247,921	591,462		1.0	3.0
20130227	234913.85	Froombosch	53.206	6.768	247,239	580,634		0.4	3.0
20130302	053115.30	Middelstum	53.352	6.660	239,715	596,745		0.7	3.0
20130306	112527.83	Bergen	52.646	4.713	109,369	517,690		0.7	2.0
20130313	015710.54	Steendam	53.285	6.830	251,181	589,579		0.8	3.0
20130314	030918.61	Farmsum	53.315	6.942	258,556	592,997		1.0	3.0
20130316	130653.76	Eemshaven	53.474	6.792	248,214	610,576	2	2.0	3.0

YYMMDD	TIME	LOCATION	LAT	LON	X_RD	Y_RD	INT	MAG.	DEPTH
20130329	142806.77	Lageland	53.233	6.717	243,731	583,629		0.9	3.0
20130402	134915.44	Hellum	53.223	6.872	254,101	582,737		1.1	3.0

Gebruik van het materiaal van deze webpagina's [tekst, illustraties, grafieken] uitsluitend met duidelijke vermelding van de bron:
www.knmi.nl

Any use of this material [text, illustrations, graphics] is only permitted when the source www.knmi.nl is acknowledged.

BIJLAGE II FRAC JOBS ONSHORE SINDS 1986

Tabel II.1. Lijst van onshore frac jobs uitgevoerd in Nederland vanaf 1986 (samengesteld door NOGEPA)

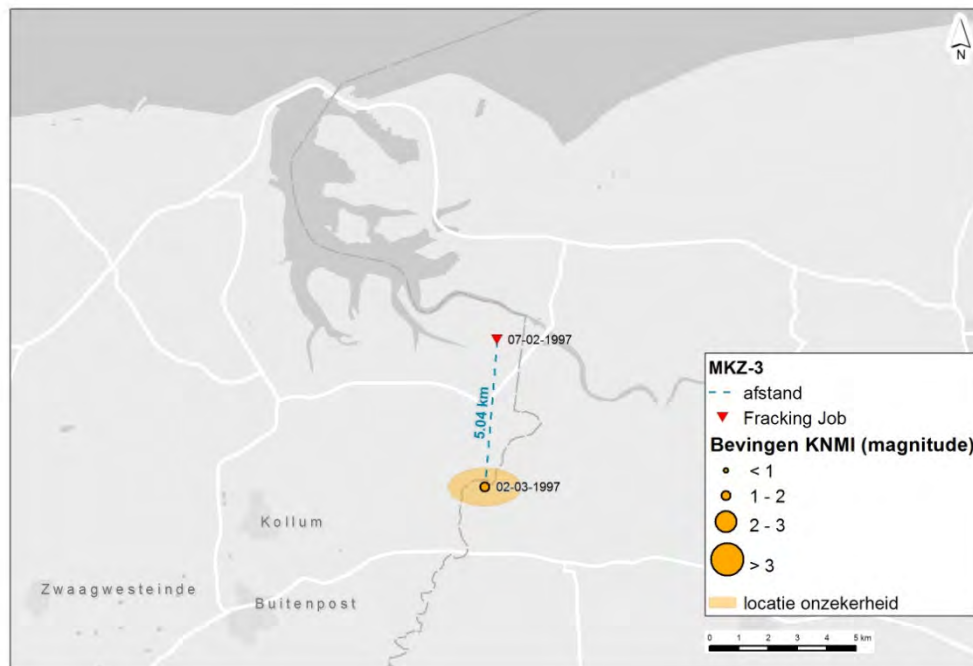
operator	naam put	jaar (vanaf 1986)	datum frack job	diepte (m) True Vertical	X coördinaten Bottom Hole	Y coördinaten Bottom Hole
NAM	COV-35	1986	29-05-86	2,764	241993.1	519347.4
NAM	COV-47	1987	23-06-87	2,786	239910.8	520327.5
NAM	COV-47	1987	01-07-87	2,786	239910.8	520327.5
NAM	COV-47	1987	13-07-87	2,765	239910.8	520327.5
NAM	COV-5	1987	21-01-87	2,244	240392.8	518833.9
NAM	DAL-14	1987	10-09-87	3,123	243240.8	525717.6
Vermilion	Leeuwarden 16	1987	13-05-87	1,955	186517.1	569457.1
Vermilion	Leeuwarden 16	1987	16-06-87	1,955	186517.1	569457.1
Vermilion	Leeuwarden 7	1987	01-12-87	1,949	187258.0	569701.0
Vermilion	Nijega 9	1987	01-12-87	1,935	194639.4	572441.5
NAM	COV-49	1988	12-07-88	2,870	242040.7	517877.6
NAM	COV-49	1988	20-09-88	2,870	242040.7	517877.6
NAM	COV-49	1988	23-09-88	2,870	242040.7	517877.6
NAM	COV-49	1988	27-09-88	2,717	242040.7	517877.6
NAM	COV-49	1988	29-09-88	2,717	242040.7	517877.6
NAM	COV-49	1988	10-10-88	2,629	242040.7	517877.6
NAM	LIR-48	1988	11-02-88	1,606	76257.5	443318.8
Vermilion	Leeuwarden 11	1989	20-03-89	1,922	191616.5	570912.3
Vermilion	Leeuwarden 15	1989	26-09-89	1,967	192250.1	569893.3
Vermilion	Leeuwarden 8	1989	03-09-89	1,939	190797.4	571548.8
Vermilion	Nijega 2	1989	16-09-89	1,914	197884.3	573457.7
Vermilion	Nijega 4	1989	01-03-89	2,540	196315.8	573453.7
Vermilion	Nijega 5	1989	22-09-89	1,961	196295.0	574673.0
Vermilion	Nijega 9	1989	19-02-89	1,935	194639.4	572441.5
Vermilion	Opeinde 5	1989	17-09-89	1,954	198979.0	571696.3
Vermilion	Rauwerd 2	1989	29-07-89	1,973	182128.0	567387.0
NAM	ASN-1	1990	26-06-90	2,879	232758.3	557749.5
Vermilion	Grouw 1	1990	24-05-90	1,975	184104.0	568268.0
Vermilion	Grouw 2	1990	04-08-90	1,965	183239.9	569113.2
Vermilion	Leeuwarden 10	1990	01-08-90	1,950	188348.3	570077.8
Vermilion	Leeuwarden 13	1990	21-05-90	1,954	190779.7	569489.7
Vermilion	Leeuwarden 14	1990	23-05-90	1,953	191206.9	569276.0
Vermilion	Leeuwarden 3	1990	15-05-90	1,970	186083.0	570192.0
Vermilion	Nijega 6	1990	08-08-90	1,935	196967.3	572934.3
Vermilion	Opeinde 2	1990	11-08-90	1,950	202223.0	573958.0
NAM	LIR-49	1991	04-07-91	1,671	76933.5	442748.9
Vermilion	Eernewoude 1	1991	18-07-91	2,475	191820.0	572275.0
Vermilion	Leeuwarden 1	1991	08-05-91	1,967	194974.0	574284.0
Vermilion	Leeuwarden 12	1991	14-05-91	1,945	192889.0	570558.0
Vermilion	Leeuwarden 16	1991	17-05-91	1,955	186517.1	569457.1

operator	naam put	jaar (vanaf 1986)	datum frack job	diepte (m) True Vertical	X coördinaten Bottom Hole	Y coördinaten Bottom Hole
Vermilion	Nijega 3	1991	11-05-91	1,960	196949.0	575264.0
Vermilion	Rauwerd 1	1991	24-05-91	1,973	180903.4	568277.3
Vermilion	Warga 2	1991	21-05-91	1,901	186516.0	573740.0
NAM	COV-53	1992	18-08-92	2,673	238603.6	517850.5
NAM	DAL-8	1992	22-07-92	3,090	250838.9	525401.6
Vermilion	Leeuwarden 101	1992	01-06-92	2,462	196008.3	573363.5
Vermilion	Nijega 1	1992	03-06-92	2,495	197698.0	572334.0
Vermilion	Nijega 7	1992	10-06-92	1,931	197290.0	574060.0
Vermilion	Nijega 8	1992	06-06-92	1,929	196494.0	572315.0
NAM	BRK-11	1993	27-07-93	990	91335.1	439854.9
NAM	RTD-10	1994	10-05-94	1,550	91423.5	432857.1
NAM	RTD-11	1994	10-12-94	1,538	90737.5	433521.1
NAM	BLF-105	1995	29-11-95	2,573	185292.5	596835.9
NAM	BLF-103	1996	19-07-96	2,566	184556.4	597693.9
NAM	BLF-104A	1996	25-07-96	2,579	186103.3	596590.7
NAM	COV-40	1996	07-10-96	2,753	242560.6	521615.6
NAM	COV-44	1996	23-04-96	2,866	243887.7	516627.6
NAM	COV-16	1997	02-05-97	2,828	236155.7	517146.4
NAM	MKZ-3	1997	07-02-97	3,608	213956.5	594544.0
NAM	MKZ-3	1997	12-02-97	3,556	213956.5	594544.0
NAM	TID-302	1997	10-12-97	2,429	202146.2	578803.1
Vermilion	Franeker 1	1997	01-01-97	1,825	162139.3	578490.2
Vermilion	Wartena 1	1997	17-04-97	1,898	189259.4	573550.7
NAM	BLF-106B	1998	26-08-98	2,682	188373.9	597271.1
NAM	BLF-106B	1998	01-09-98	2,679	188373.9	597271.1
NAM	BLF-106B	1998	07-09-98	2,653	188373.9	597271.1
NAM	BLF-106B	1998	14-09-98	2,639	188373.9	597271.1
NAM	COV-16	1998	18-12-98	2,746	236155.7	517146.4
NAM	COV-52	1998	06-05-98	2,756	239885.2	521640.5
NAM	GAG-5	1999	09-06-99	3,531	73655.7	443199.9
NAM	KBB-2	2001	04-09-01	3,614	217076.3	593781.1
NAM	KBB-2	2001	19-09-01	3,589	217076.3	593781.1
NAM	KMP-3	2001	26-06-01	3,214	206730.9	589976.6
NAM	COV-57	2002	06-03-02	2,880	238461.3	519172.2
NAM	COV-57	2002	13-03-02	2,825	238461.3	519172.2
NAM	COV-47	2003	27-01-03	2,672	239910.8	520327.5
NAM	OSH-3B	2007	30-05-07	3,150	244101.4	531159.8
NAM	DAL-8	2008	28-02-08	3,090	250838.9	525401.6
NAM	SCH-580	2008	22-10-08	2,999	256961.7	521436.9
Northern Petroleum	Andel-06	2008	26-11-08	2,355	134634.0	419799.0

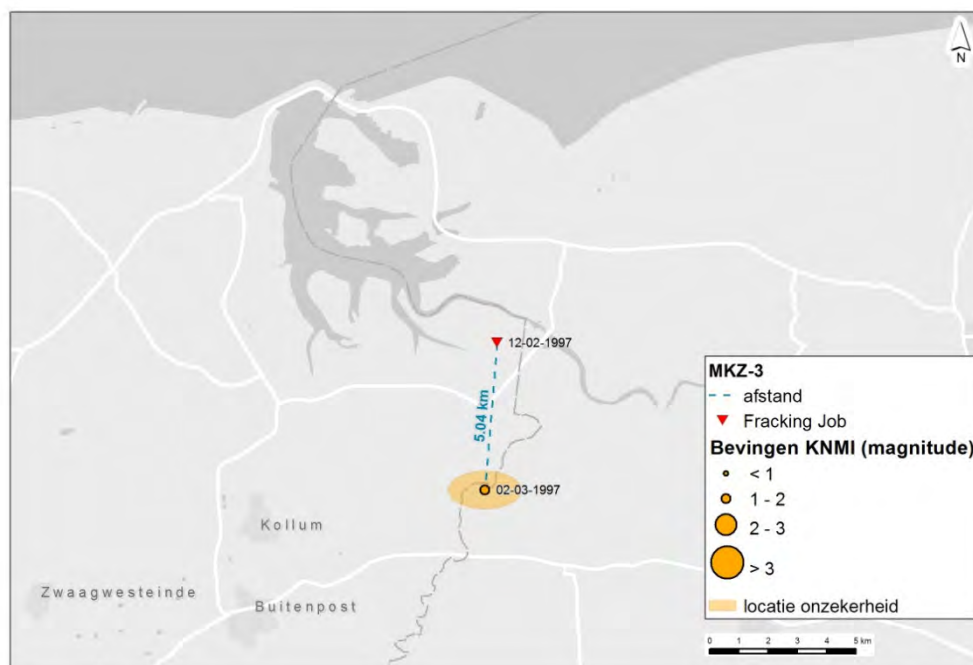
operator	naam put	jaar (vanaf 1986)	datum frack job	diepte (m) True Vertical	X coördinaten Bottom Hole	Y coördinaten Bottom Hole
Northern Petroleum	Brakel-01	2008	03-12-08	2,255	131726.0	422950.0
Northern Petroleum	Geesbrug-01	2009	22-08-09	3,130	237896.0	527441.0
Northern Petroleum	Geesbrug-01	2009	02-09-09	3,305	237896.0	527441.0
Northern Petroleum	Grolloo-01	2009	11-06-09	3,370	243062.0	550979.0
Northern Petroleum	Ottoland-01-ST2	2009	25-03-09	2,195	120413.0	431721.0
NAM	SCH-580	2010	28-12-10	2,999	256961.7	521436.9
Northern Petroleum	Tiendeveen-01	2010	09-12-10	3,270	233265.0	529266.0
NAM	SCH-580	2011	03-08-11	2,999	256961.7	521436.9
NAM	BLF-108	2012	22-08-12	2,660	187899.7	595583.7
NAM	BLF-108	2012	28-08-12	2,638	187899.7	595583.7
NAM	KMP-3	2012	03-10-12	3,214	206730.9	589976.6
NAM	KWR-1A	2012	01-11-12	3,233	247475.8	572353.8
NAM	LWZ-3A	2012	30-11-12	3,480	217373.7	590845.2

BIJLAGE III VISUALISATIE VAN FRAC JOBS EN AARDBEVINGEN

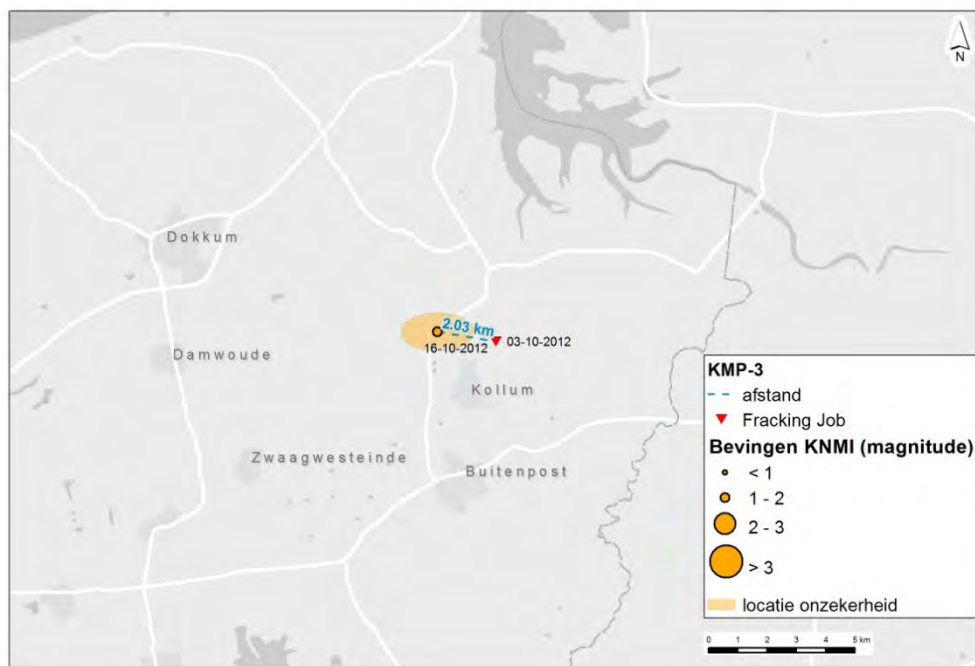
Afbeelding III.1. Frac job van 07-02-1997, put MKZ-3



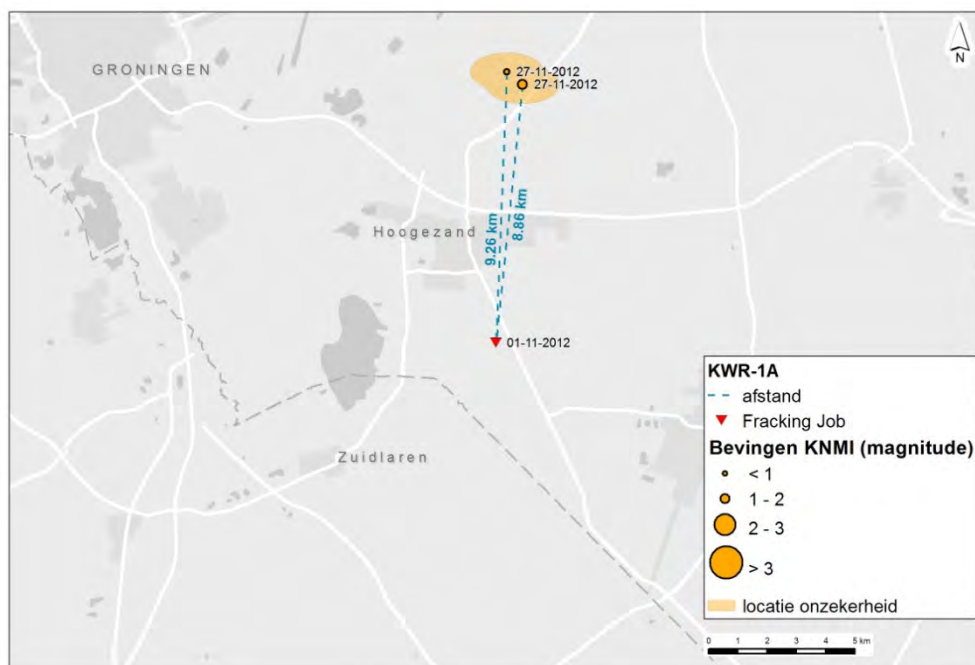
Afbeelding III.2. Frac job van 12-02-1997, put MKZ-3



Afbeelding III.3. Frac job van 03-10-2012, put KMP-3

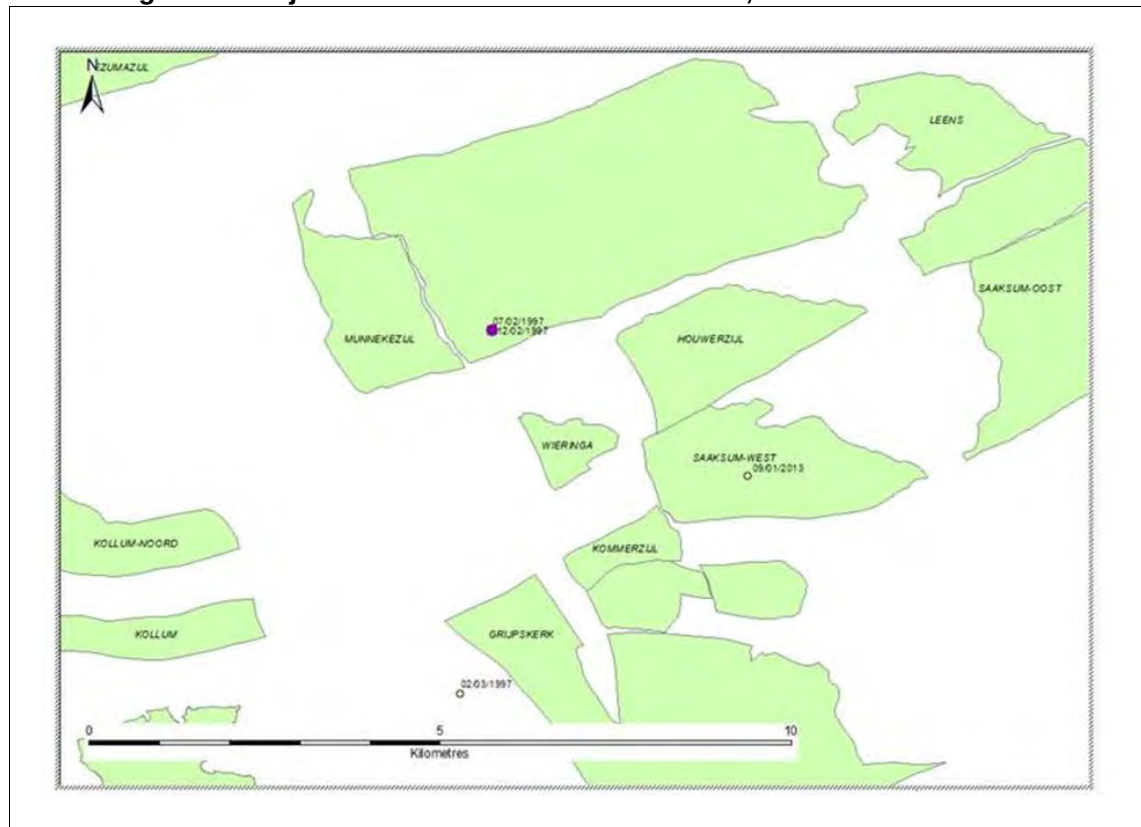


Afbeelding III.4. Frac job van 01-11-2012, put KWR-1A

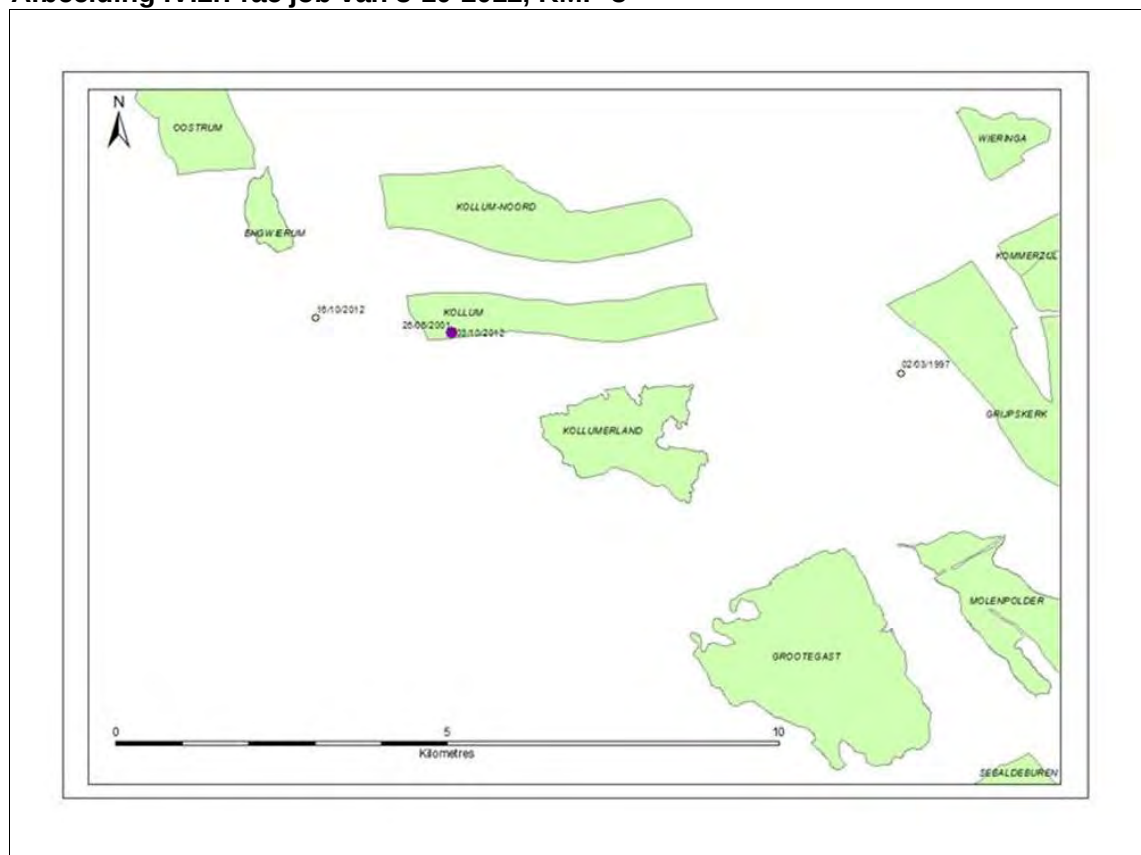


BIJLAGE IV KAARTEN VAN FRAC JOBS, AARDBEVINGEN EN GASVELDEN

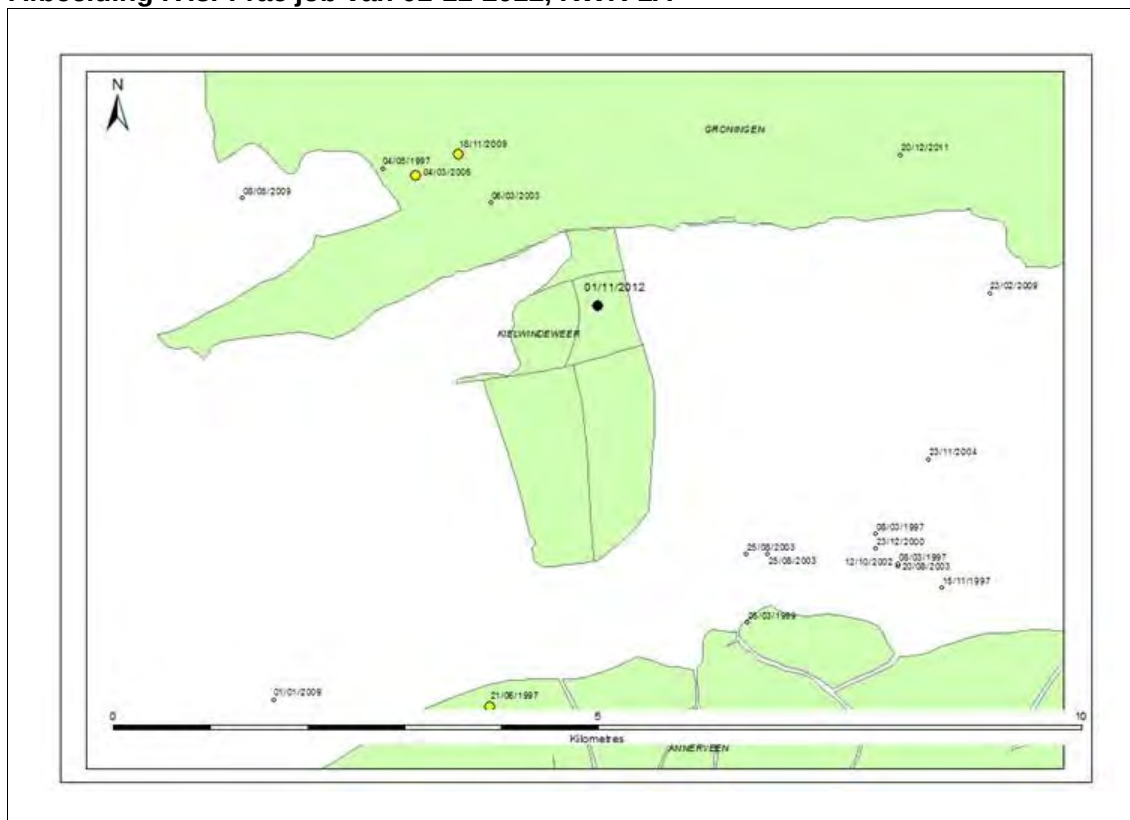
Afbeelding IV.1. Frac jobs van 07-02-1997 en 12-02-1997, MKZ-3



Afbeelding IV.2. Frac job van 3-10-2012, KMP-3



Afbeelding IV.3. Frac job van 01-11-2012, KWR-1A





Witteveen+Bos
 Hoogoorddreef 56 F
 Postbus 12205
 1100 AE Amsterdam
 telefoon 020 312 55 55
 fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.7
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/220
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Introductie en achtergrond	3
2.2. Deelvraag 1: Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving	6
2.3. Deelvraag 2: Frac-activiteiten als oorzaak	7
2.4. Deelvraag 3: Welke schade kan worden verwacht	8
2.5. Deelvraag 4: Impact	9
3. CONCLUSIES	12
3.1. Deelvraag 1: Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving	12
3.2. Deelvraag 2: Frac-activiteiten als oorzaak	12
3.3. Deelvraag 3: Welke schade kan worden verwacht	12
3.4. Deelvraag 4: Impact	12
4. REFERENTIES	14

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.7. Onderzoeksvraag:

Geef aan wat de maximale kracht is van een geïnduceerde aardbeving in Nederland en of frac-activiteiten een dergelijke beving kan veroorzaken. Ga na welke mogelijke schade hier aan het oppervlak bij te verwachten is. Kijk hierbij ook naar de mogelijke impact van seismische activiteit op de integriteit van de bebuizing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

1.2. Afbakening

Om de hoofdonderzoeksvraag goed te kunnen beantwoorden, is deze opgesplitst in de volgende deelvragen:

Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving

Geef aan wat de maximale kracht is van een geïnduceerde aardbeving in Nederland.

Frac-activiteiten als oorzaak

Geef aan of frac-activiteiten een dergelijke (geïnduceerde) aardbeving kan veroorzaken.

Welke schade kan worden verwacht

Ga na welke mogelijke (door geïnduceerde aardbevingen veroorzaakte) schade aan het oppervlakte kan worden verwacht.

Impact

Ga na wat de impact is van deze seismische activiteit op de bebuizing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

De volgende aannames worden gedaan:

- bij de beantwoording van de eerste deelvraag (maximale kracht) worden de hoogst gemeten magnitudes (M_L) van geïnduceerde aardbevingen beschouwd;
- bij de bepaling van de mogelijke schade (deelvraag 3) wordt uitgegaan van schade ontstaan door het fracking proces zelf en niet door injecties van proces- en afvalwater.

De relatie tussen aardbevingen en de injecties van proces- en afvalwater wordt specifiek behandeld in achtergrondnotitie B.4.11.

1.3. Aanpak

Om de gestelde onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn verschillende bronnen geraadpleegd, te weten:

- wetenschappelijke (peer-reviewed) publicaties;
- wetenschappelijke conferenties en workshops;
- proefschriften;
- naslagwerken;
- rapportages door kennisinstituten;
- rapportages door industrie;
- standaarden en richtlijnen;
- websites en webportalen voor disseminatie van informatie.

2. ANALYSE

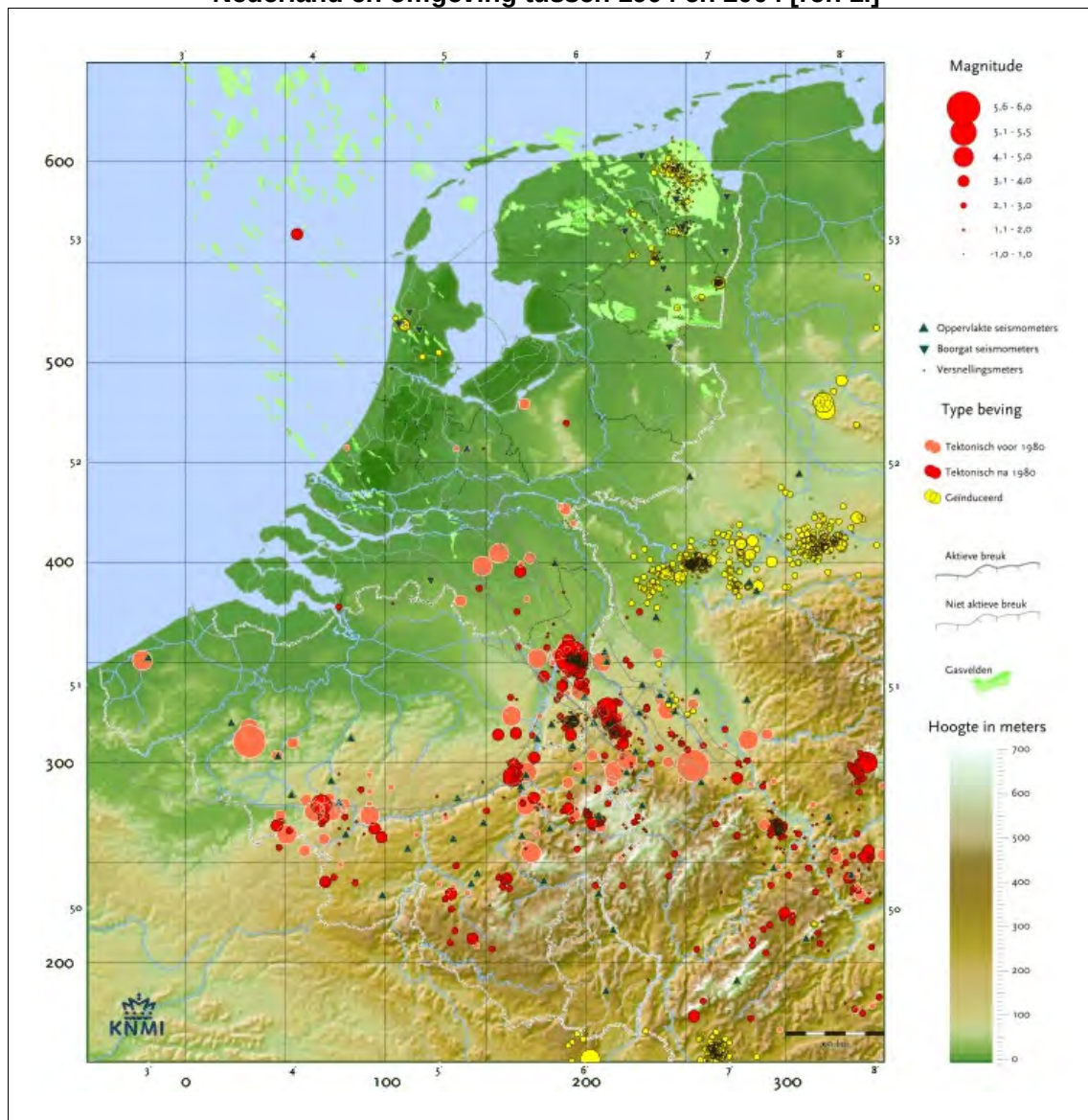
2.1. Introductie en achtergrond

Aardbevingen komen in Nederland, Duitsland en België relatief weinig voor en zijn meestal beperkt in kracht en frequentie (lange herhalingstijd). Aardbevingen in Nederland kunnen onderverdeeld worden in tektonische aardbevingen en geïnduceerde aardbevingen. Geïnduceerde aardbevingen zijn in Nederland meestal gerelateerd aan de conventionele gaswinning in Groningen en rond Alkmaar. Tektonische aardbevingen in Nederland zijn in de regel gerelateerd aan natuurlijke bewegingen langs de Peelrandbreuk in Zuid-Limburg (zie afbeelding 2.1). In Duitsland komen nog geïnduceerde aardbevingen voor die te wijten zijn aan mijnbouwactiviteiten (zie afbeelding 2.2).

Mechanisme

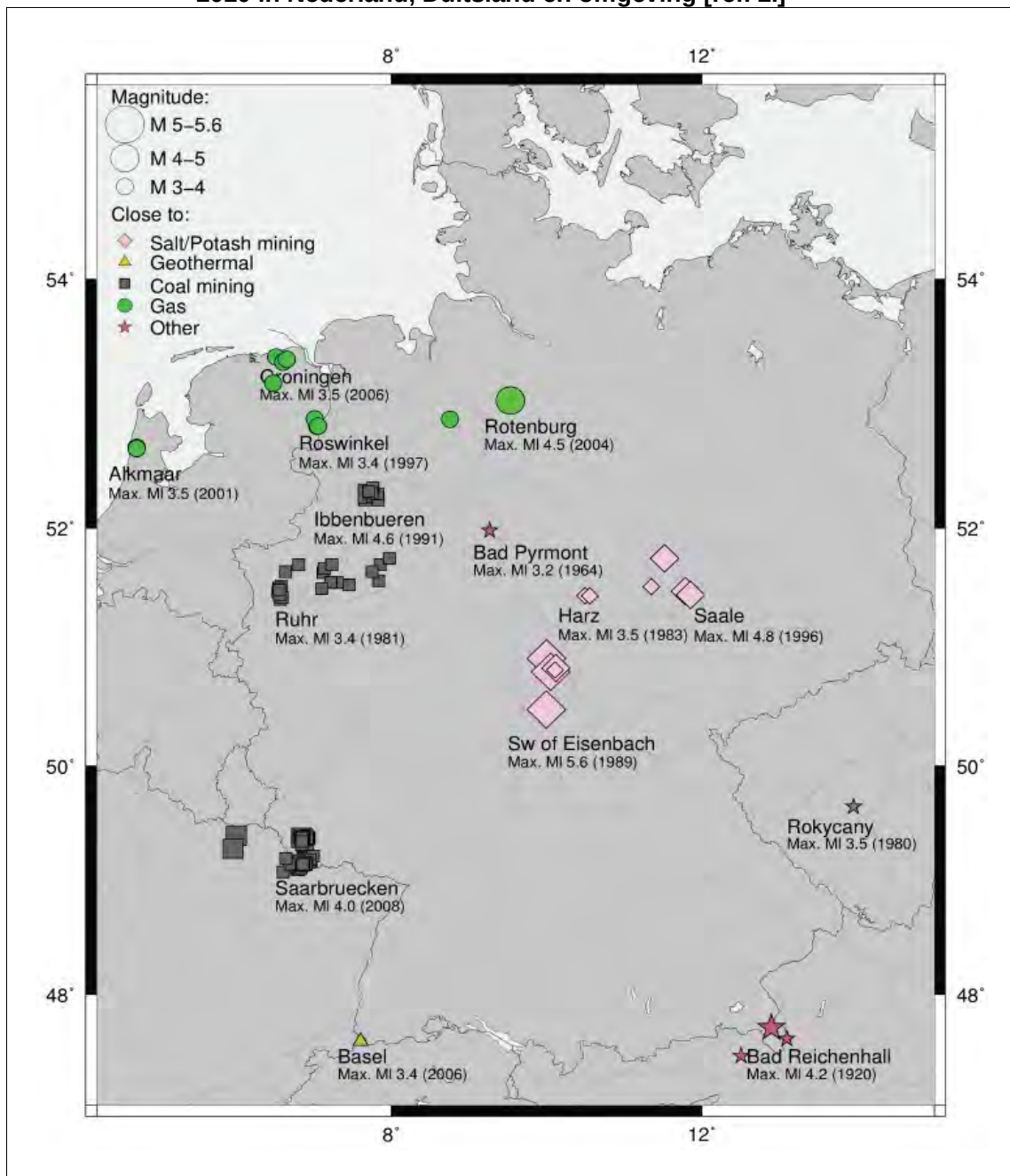
De geïnduceerde aardbevingen die in Nederland zijn opgetreden als gevolg van conventionele gaswinning hebben een ander mechanisme dan geïnduceerde aardbevingen die mogelijk zijn als het gevolg zijn onconventionele gaswinning. Aardbevingen door conventionele gaswinning komt door verschuiving langs breuken door compactie in het reservoirgesteente. De compactie is het gevolg van jarenlange gas- en vloeistof extractie (zie ook onderzoeksnotities B.4.12 en B.4.13). Als er aardbevingen bij schaliegaswinning voorkomen dan wordt dit veroorzaakt door injectie van vloeistoffen, het hydraulisch fracken, in of nabij breuken. Daarom kan het effect van hydraulisch fracken niet één-op-één worden vergeleken met het optreden van de aardbevingen in Groningen. Ervaringen en waarnemingen uit het buitenland, waar hydraulisch fracken voor schaliegaswinning al langere tijd wordt toegepast, moet in dit geval dienen als referentie.

Afbeelding 2.1. Overzicht van geïnduceerde en tektonische seismische activiteit in Nederland en omgeving tussen 1904 en 2004 [ref. 1.]



Gele cirkels geven de door industrie (gas, olie, mijnbouw) geïnduceerde bevingen weer en rode cirkels indiceren natuurlijke tektonische bevingen. De grootte van de cirkels geeft een indicatie voor de magnitude van de aardbeving. De grijze lijnen geven bekende breuken weer, de lichtgroene gebieden geven een benadering van de contouren van gasvelden (KNMI, [ref. 1.]).

Afbeelding 2.2. Geïnduceerde aardbevingen met magnitude $M_L > 3$ in de periode 1899-2010 in Nederland, Duitsland en omgeving [ref. 2.]



De kracht van aardbevingen

Aardgaswinning is in Nederland begonnen in de jaren '60, maar geïnduceerde aardbevingen zijn pas gemeten sinds 1986 [ref. 3.]. Sindsdien is ook een toename te zien in de kracht van deze geïnduceerde aardbevingen. De kracht van een aardbeving wordt gegeven in termen van Magnitude. Dit is een maat voor de hoeveelheid energie die vrij is gekomen. In de volksmond wordt vaak gebruik gemaakt van schaal van Richter. Seismologen hanteren in de regel echter de volgende aanduidingen: Richter Local magnitude schaal (M_L) en moment magnitude schaal (MMS, M_w of M). Krachtiger aardbevingen ($> M_w 6$) worden tegenwoordig meestal in de moment magnitude schaal gegeven. De relatief kleine

aardbevingen in Groningen worden meestal op de Richter Local magnitude schaal aangegeven (M_L). Zie ook de toelichting in onderstaand kader.

Intensiteit en Magnitude

De kracht of grootte van een aardbeving kan op verschillende manieren worden gemeten: met behulp van **Intensiteit**, en **Magnitude**. Voordat meetinstrumenten beschikbaar waren, werden ruwe schattingen gemaakt op basis van kwalitatieve interpretaties van getuigen en op basis van schade beschrijvingen. Hoewel er nu betrouwbare meetapparatuur gebruikt wordt worden deze kwalitatieve beschouwingen nog altijd gehanteerd. Voorbeelden zijn de Rossi-Forrel schaal die sinds 1880 wordt gebruikt, [ref. 4.], de aangepaste (gemodificeerde) Mercalli intensiteit (MMI) [ref. 5.] of de Europese macroseismische schaal (EMS) [ref. 6.]. De EMS schaal is als voorbeeld hieronder afgebeeld:

Intensity	F	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Effects	Felt	Not felt	Scarcely felt	Weak	Largely observed	Strong	Slightly damaging	Damaging	Heavily damaging

Sinds meetinstrumenten beschikbaar zijn worden kwantitatieve, objectieve en betrouwbare metingen gedaan van de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de seismische bron. Er zijn veel verschillende definities die verschillende criteria gebruiken voor het trillen van de grond, de meest voorkomende zijn onderstaand kort samengevat [ref. 4.].

M_L : Richter local magnitude. Veel gebruikte schaal, geschikt voor ondiepe, lokale bewegingen (afstand tot episch centrum < 600 km, [ref. 4.]). Niet geschikt voor matig tot sterke bevingen;

M_w : moment magnitude. Gebaseerd op seismische moment (factoren die scheuren veroorzaken langs de breuk), deze parameter geeft de meest betrouwbare schatting van de omvang van de aardbeving, met name geschikt voor sterkere bevingen.

Voor zwakke tot matige bevingen wordt verondersteld dat de schalen M_L en M_w vrijwel gelijkwaardig zijn. Ongeacht welke schaal wordt gebruikt om de seismische bewegingen te beschrijven, zowel de magnitude als de maximale intensiteit, zijn direct gerelateerd aan het totale **oppervlak van de breuk** dat in beweging komt: een groter gebied resulteert in grotere seismische beweging [ref. 7.]

2.2. Deelvraag 1: Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving

Geef aan wat de maximale kracht is van een geïnduceerde aardbeving in Nederland

Tot nu toe is M_L **3,5** de hoogst gemeten (Richter Local) magnitude van een geïnduceerde aardbeving in Nederland (Huizinge, 16 augustus 2012 [ref. 8.], [ref. 13.]). Dit komt overeen met een moment magnitude (M_w) van 3,6. Ter vergelijking: de hoogst gemeten tektonische aardbeving was magnitude M_L 5,8 en deed zich voor tijdens de Roermond aardbeving van 13 april 1992.

Schattingen voor de maximaal te verwachten magnitude voor geïnduceerde aardbevingen in Nederland lopen uiteen van M_L **3,8 tot 5,0** (zie tabel 2.1). Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) [ref. 9.] heeft in haar analyse een maximale magnitude van 5,0 aangenomen, maar deze grens was een theoretische aanname om een kansberekening uit te kunnen voeren. Uit de statistiek was geen maximum magnitude af te leiden en SodM is thans van mening dat de maximale magnitude niet te bepalen is.

Ter vergelijking: de maximaal te verwachten tektonische aardbeving in Nederland heeft een magnitude M_L 6,1 tot 6,5 (zie tabel 2.1).

Tabel 2.1. Maximaal te verwachten magnitude van aardbevingen in Nederland

$M_{L,max}$ geïnduceerd	bron	$M_{L,max}$ tektonisch	bron
3,8	[ref. 10.]	6.3 ± 0.2	[ref. 14.]; [ref. 15.]
3,9	[ref. 3.] [ref. 11.] [ref. 12.]		
onbepaald	[ref. 9.]		
<5,0	[ref. 13.]		

2.3. Deelvraag 2: Frac-activiteiten als oorzaak

Geef aan of frac-activiteiten een dergelijke (geïnduceerde) aardbeving kan veroorzaken.

Door de injectie van vloeistoffen kunnen frac-activiteiten leiden tot beweging langs bestaande breuken in het gesteente. Dit kan (geïnduceerde) aardbevingen opleveren. Op basis van ervaringen uit het buitenland zullen deze geïnduceerde aardbevingen kleiner zijn dan de geïnduceerde aardbevingen die tot nu toe in Nederland zijn geregistreerd. Dit wordt hieronder verder uitgelegd.

Achtergrond van geïnduceerde seismiciteit

Geïnduceerde seismiciteit is het resultaat van beweging langs een bestaande breuk in gesteente die door ingrijpen van de mens is veroorzaakt [ref. 16.] [ref. 17.] [ref. 18.] [ref. 19.]. Afhankelijk van de eigenschappen van deze breuk en de spanningstoestand in het gesteente, kan een verandering in poriedruk of spanning in het gesteente leiden tot een (plotselinge) beweging langs het breukvlak [ref. 7.]. Dit levert dan de (geïnduceerde) aardbeving op.

In vrijwel alle gevallen is de geïnduceerde seismiciteit het gevolg van onttrekking of injectie van vloeistoffen of gas. De National Academy of Sciences uit de VS (NAS) [ref. 7.] geeft een opsomming van de criteria die kunnen worden gehanteerd om te bepalen of geïnduceerde seismiciteit kan optreden. Deze criteria zijn:

1. grootte en richting van de hoofdspansingen in de aardkorst nabij het punt waar de vloeistof injectie of -onttrekking plaats vindt;
2. locatie, oriëntatie, en fysische eigenschappen van de nabijgelegen breuken;
3. druk van de aanwezige vloeistoffen in de poriën van het gesteente op diepte (poriedruk);
4. verandering in poriedruk;
5. volume en snelheid van de vloeistoffen die worden geïnjecteerd of onttrokken;
6. gesteentemechanische eigenschappen.

Geïnduceerde seismiciteit kan optreden bij conventionele en onconventionele olie en gaswinning maar ook bij geothermische projecten.

Seismiciteit door schaliegas winning

Schaliegaswinning kan in twee gevallen leiden tot geïnduceerde seismische activiteit [ref. 7.]:

1. door injectie van vloeistoffen voor het hydraulisch fracken (breken) van het schaliegesteente. Dit wordt in deze notitie besproken. De relatie tussen frack-jobs die in Nederland al zijn uitgevoerd (voor winning van 'tight' gas en de conventionele olie- en gaswinning) en mogelijke seismiciteit wordt specifiek behandeld in onderzoeksnotitie B.4.6;
2. door (her-)injectie van proces- en afvalwater (dit geval wordt specifiek behandeld in onderzoeksnotitie B.4.11).

Het hydraulisch fracken (breken) van het schaliegesteente zelf creëert een aantal (micro-) aardbevingen. Hiervan is de magnitude over het algemeen te klein om aan het oppervlak te kunnen meten of te voelen. Deze magnitudes zijn in de regel kleiner dan $M_L 1,0$.¹ [ref. 20.] [ref. 21.].

Ervaring uit het buitenland leert echter dat er wel een aantal grotere aardbevingen gemeten zijn als het gevolg van het hydraulisch fracken. Deze waren allen het gevolg van het beweging langs bestaande breukvlakken ten gevolge door de waterinjecties.

De maximale te verwachten magnitude die zou kunnen voortvloeien uit het hydraulische fracken wordt geschat op $M_L 3,0$ [ref. 22.], [ref. 23.]. De grootst gerapporteerde magnitude voor een aardbeving gerelateerd aan het hydraulische fracken voor de productie van schaliegas is echter $M_L 3,8$ [ref. 20.], [ref. 7.]. Dit was in Horn River Basin in Canada. Deze gebeurtenis was niet specifiek gerelateerd aan breukbewegingen door het fracken zelf, maar kwam waarschijnlijk door de (her-)injectie van proces- en afvalwater vlakbij een actieve breukzone [ref. 25.]. Dit onderwerp wordt verder specifiek besproken in het antwoord op onderzoeksvraag B.4.11. Een overzicht van alle gepubliceerde aardbevingen is gegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2. Geïnduceerde seismiciteit door hydraulisch fraccen

M_L	jaar, locatie, details	bron
≤ 3	Niet gespecificeerd	[ref. 16.]
1,9	eind jaren '70, Oklahoma (fracking voor conventionele olie- and gas winning)	[ref. 7.]
1,0-2,5	2011, Eola Field, Oklahoma (3,5 km van de put)	[ref. 20.] [ref. 7.]
1,5,-2,3	2011, Blackpool, Engeland (ongeveer 2 km van de put)	[ref. 24.]
2,2-3,8	2009-2011 (31x), Horn River Basin, Canada (mechanisme: vlakbij actieve breukzone)	[ref. 25.]

Uitsluitend op basis van gemelde gevallen uit het buitenland, is de verwachten seismische activiteit kleiner dan geïnduceerde seismische activiteit die tot nog toe in Nederland is geregistreerd (zoals beschreven in sectie 2.1 en deelvraag 1). De te verwachten magnitude is evenwel zeer sterk afhankelijk van verschillende locatiespecifieke condities. Ook is het mechanisme dat leidt tot seismiciteit door schaliegaswinning fundamenteel anders dan het mechanisme dat leidt tot seismiciteit door gaswinning (in Groningen).

2.4. Deelvraag 3: Welke schade kan worden verwacht

Ga na welke mogelijke, door geïnduceerde aardbevingen veroorzaakte schade aan het oppervlakte kan worden verwacht.

Een concreet antwoord op deze vraag is niet te geven, omdat de mogelijke schade door seismische activiteit afhankelijk is van:

- locatie: grondgesteldheid en afstand tot mogelijke aardbevingszones (zie ook onderzoeksvraag B.4.10);
- type bebouwing of infrastructuur (zie ook onderzoeksvraag B.4.8).

Tot nog toe zijn er geen gevallen bekend van structurele schade veroorzaakt door geïnduceerde seismische activiteit door fraccen. Verwacht wordt dat de magnitudes van aan fraccen gerelateerde aardbevingen in Nederland geen structurele schade aan het oppervlak zullen veroorzaken. Een dergelijke mate van trillen kan gevoeld worden, maar fysieke

¹ Omdat Richter's magnitude een logaritmische schaal is, is het zelfs mogelijk om magnitudes kleiner dan 0 te hebben, dus negatieve magnitudes.

schade zal beperkt blijven tot maximaal lichte schade zoals scheuren in metselwerk, vergelijkbaar met aardbevingen door conventionele gaswinning [ref. 3.].

Injectie van productiewater heeft in het buitenland wel geleid tot structurele schade. Dit wordt verder besproken in achtergrondnotitie B.4.11.

Achtergrond van optreden van schade ten gevolge van aardbevingen

Ervaringen met eerdere aardbevingen hebben herhaaldelijk aangetoond dat de intensiteit van het trillen van de grond, en de mate van de schade die het produceert, sterk beïnvloed wordt door lokale omstandigheden [ref. 26.]. De invloed van de relatief ondiepe grondlagen op de voortplanting van seismische golven tijdens een aardbeving heet 'ground respons' [ref. 27.]. Met de analyse van de ground respons kan een verwachting worden gemaakt van de beweging van het grondoppervlak, eventuele vervormingen en mogelijke schade aan gebouwen. In onderzoeksnotitie B.4.10 wordt verder ingegaan op het bepalen van deze ground respons. In onderzoeksnotitie B.4.8 wordt verder ingegaan op de effecten op (trillingsgevoelige) bebouwing en objecten.

2.5. Deelvraag 4: Impact

Ga na wat de impact is van deze seismische activiteit op de bebuizing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

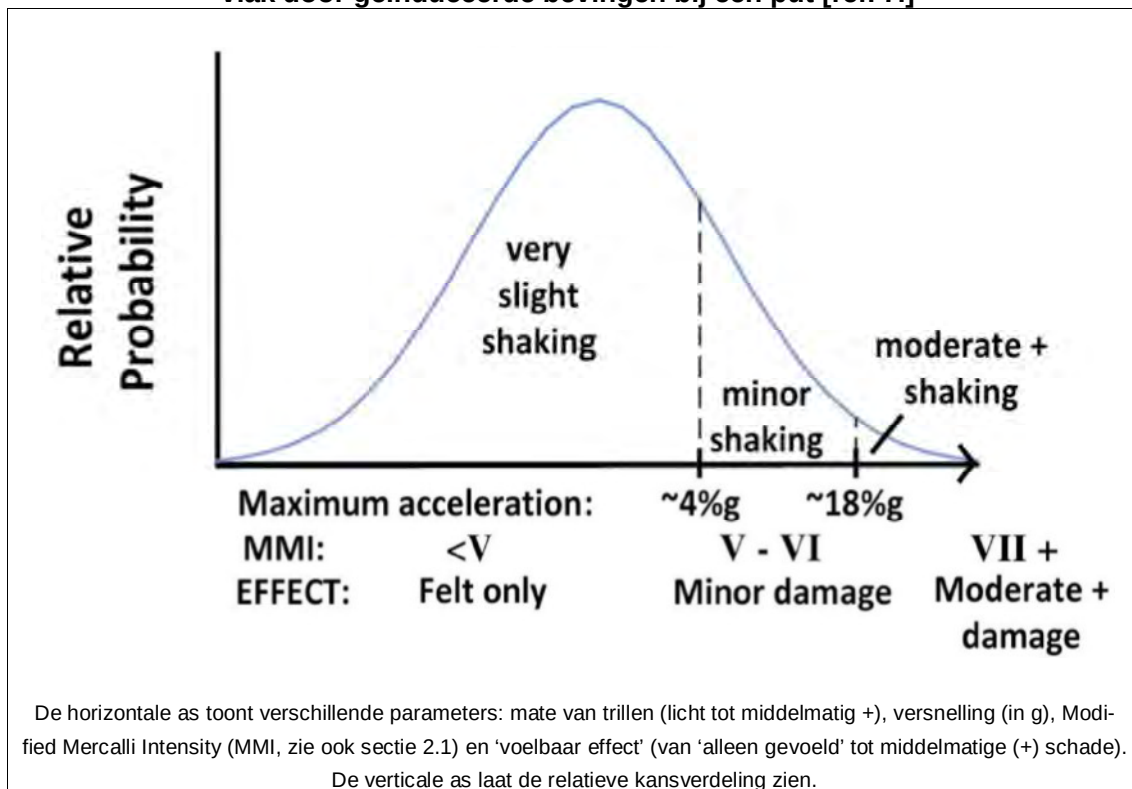
Kans op schade

Het risico op schade door geïnduceerde seismische activiteit op constructies is alleen aanwezig als sprake is van: licht ('minor') of gemiddeld ('moderate') trillen (zie afbeelding 2.3). In [ref. 7.] wordt aanbevolen de volgende factoren in relatie tot risicovolle constructies te onderzoeken:

- locatie van de breuk;
- locatie van infrastructuur dat beschadigd kan worden;
- netto verandering van poriedruk onder het aardoppervlak, veroorzaakt door de schalliegaswinning (volume en druk van geïnjecteerde of onttrokken vloeistof, tijdsduur van injectie en het aantal putten).

Een kansverdeling van het effect van maximaal trillen aan het aardoppervlak door geïnduceerde bevingen veroorzaakt door één put wordt geïllustreerd in afbeelding 2.3. De kans op zeer licht trillen (geen schade) is vele malen groter dan de kans op licht trillen (lichte schade) en matig trillen (middelmatige schade).

Afbeelding 2.3. Relatieve kansverdeling van het maximaal trillen aan het aardoppervlak door geïnduceerde bevingen bij één put [ref. 7.]

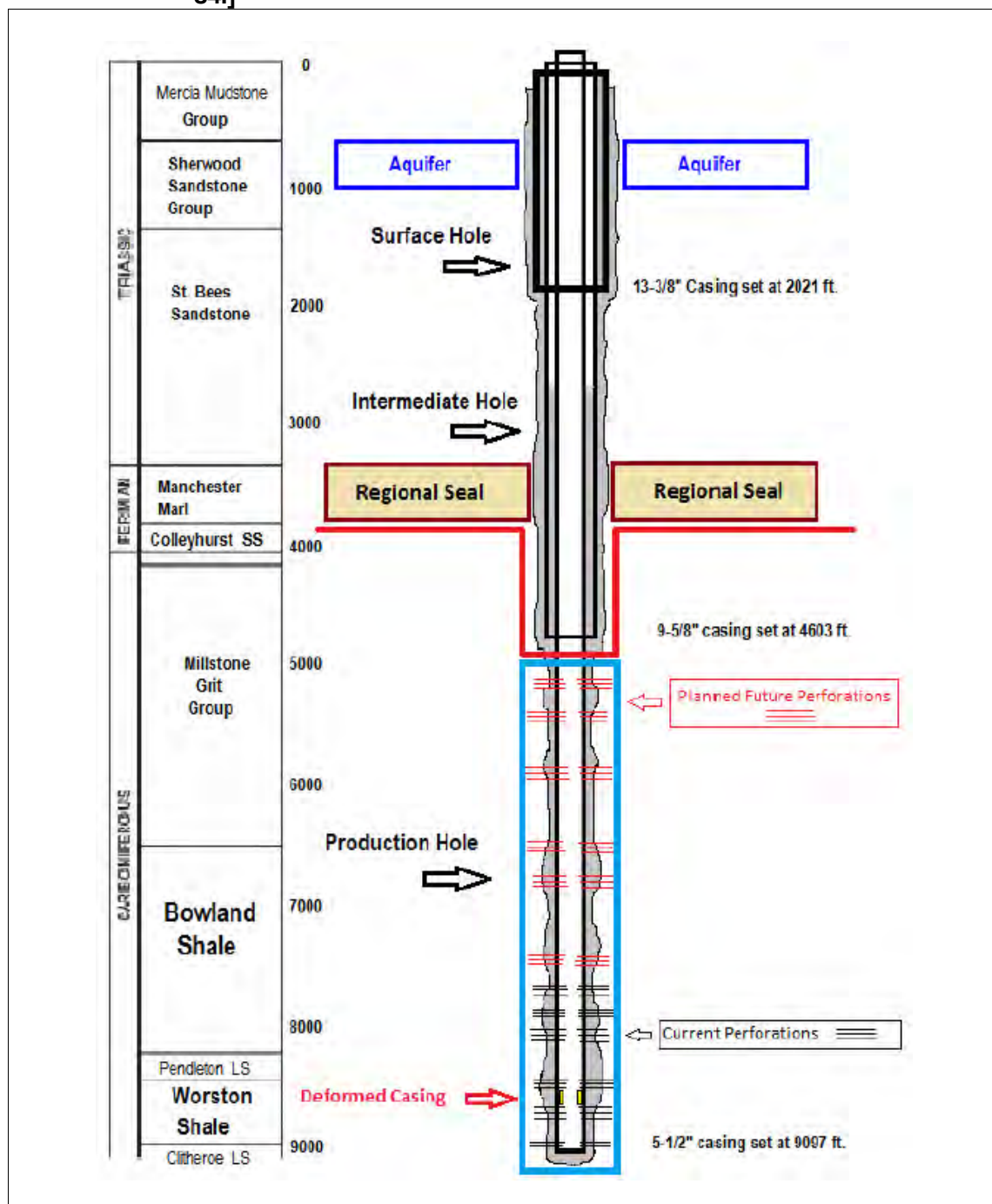


Het mogelijke effect van geïnduceerde seismische activiteit als gevolg van fracking op constructies varieert naar verwachting en is afhankelijk van de 'ground response' (zie ook Sectie 2.4 en onderzoeksnotitie B.4.10) en de karakteristieken van de seismische beweging. De reactie van de constructie is ook sterk afhankelijk van de frequentie van het trillen [ref. 4.]. Andere constructies met een helling (bijvoorbeeld dijken en damwanden) kunnen co-seismische instabiliteit ontwikkelen, wederom afhankelijk van de ground response op de locatie. Er zijn geen algemene regels voor het seismische gedrag van constructies, dijklichamen of voor seismische ground response. Elke locatie is uniek en moet apart beoordeeld worden om het gevaar op co-seismische vervorming te kwalificeren en om het risico in te schatten van het effect van geïnduceerde grond bewegingen [ref. 7.].

Schade aan beuizing

Met betrekking tot de beuizing van boorgaten zijn er diverse normen en richtlijnen beschikbaar (API: [ref. 1.] tot [ref. 32.] en Oil and Gas UK [ref. 33.]) Een goed voorbeeld dat vervorming aan de boorgat beuizing beschrijft als het gevolg van een geïnduceerde aardbeving door schaliegaswinning is het Preese Hall boorgat (nabij Blackpool) van Cuadrilla. Tijdens de aardbevingen in Blackpool, Engeland in 2011, zijn volgens [ref. 34.] en [ref. 23.] door Cuadrilla geen problemen gevonden in de integriteit van het bovenste deel van het boorgat, maar er was wel vervorming geconstateerd in het onderste deel van de productie zone (zie afbeelding 2.4). Testen die vervolgens zijn uitgevoerd gaven echter geen aanleiding om aan te nemen dat er lekkage was opgetreden [ref. 23.]. In dit geval gebruikte Cuadrilla een tijdelijk beuizing om mogelijke verdere problemen te voorkomen. In [ref. 23.] wordt aangegeven dat deformatie in productiebeuizing vaker voorkomt, maar dat door goede monitoring en het volgen van de normen en richtlijnen schade kan worden voorkomen.

Afbeelding 2.4. Boorgatdeformatie in relatie tot de algehele boorgatstabiliteit [ref. 34.]



De verticale schaal is in voet (ft). Het vervormde interval is weergegeven in geel nabij de bodem van het boorgat.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving

Geef aan wat de maximale kracht is van een geïnduceerde aardbeving in Nederland.

De hoogst gemeten magnitude door geïnduceerde seismische activiteit in Nederland is M_L 3,5 of M_w 3,6. De maximale mogelijke magnitude gerelateerd aan conventionele gaswinning in Nederland wordt geschat op M_{Lmax} 5,0. Opgemerkt wordt dat deze schatting sterk verschilt per bron en per gebruikte methodiek.

Het moet worden benadrukt dat deze geïnduceerde aardbevingen komen door de conventionele gaswinning en dat de geïnduceerde aardbevingen door fraccen of waterinjectie een ander mechanisme hebben.

3.2. Deelvraag 2: Frac-activiteiten als oorzaak

Geef aan of frac-activiteiten een dergelijke (geïnduceerde) aardbeving kan veroorzaken.

De door fracken veroorzaakte aardbevingen overschrijden normaliter magnitude M_L 1,0 niet. Desalniettemin zijn er enkele gevallen bekend van bevingen met een maximale magnitude van M_L 2,3 in Blackpool (Engeland) en M_L 2,5 in Oklahoma. De meest waarschijnlijke maximum magnitude wordt geschat op M_L 3,0.

Uitsluitend gebaseerd op voorbeelden uit de literatuur, kan worden geconcludeerd dat de seismische bewegingen veroorzaakt door fracken kleiner zullen zijn dan de geïnduceerde bevingen die tot nog toe in Nederland zijn gemeten (M_L 3,5). Niettemin wordt opgemerkt dat de verwachte magnitude afhankelijk is van verschillende locatiespecifieke omstandigheden (zoals (actieve) breuken, poriedruk, spanning, verhouding en volume van vloeistoffen) en daarmee lastig te voorspellen is. Bovendien is het mechanisme dat leidt tot aardbevingen bij fraccen anders dan het mechanisme dat leidt tot aardbevingen door de gaswinning in Groningen. Hiermee zijn beiden niet goed te vergelijken.

Het fraccen nabij actieve (tektonische) breuken en de injectie van productiewater verdient extra aandacht.

3.3. Deelvraag 3: Welke schade kan worden verwacht

Ga na welke mogelijke, door geïnduceerde aardbevingen veroorzaakte schade aan het oppervlak kan worden verwacht.

De schade aan het oppervlak is een functie van locatiespecifiek seismisch gevaar en risico, waardoor geen algemeen antwoord mogelijk is. Er is hiervoor onderzoek noodzakelijk op het schaalniveau van de mogelijke winlocatie. Gebaseerd op de antwoorden van de andere deelvragen, wordt verwacht dat de schade op zijn hoogst vergelijkbaar, maar niet groter, zal zijn dan tot nog toe bekende schade veroorzaakt door geïnduceerde seismische activiteiten veroorzaakt door conventionele gaswinning

3.4. Deelvraag 4: Impact

Ga na wat de impact is van deze seismische activiteit op de bebuizing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

Verwacht wordt dat de door fracken geïnduceerde bevingen geen structurele schade aan constructies zullen veroorzaken. Bebuizing van een boorgang kan onder speciale condities mogelijk licht vervormd worden, maar bij opvolging van internationale richtlijnen en codes en door monitoring van de voortgang en effecten tijdens de gebruiksfase, zal de boorgatstabiliteit niet bedreigd worden.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] KNMI, 2013b. Aardbevingen in Nederland 1904-2004. Website: <http://www.knmi.nl/seismologie/kaart.html>.
- [ref. 2.] Dahm, T., Hainzl, S., Becker, D., Bisschoff, M., Cesca, S., Dost, B., Fritschen, R., Kuhn, D., Lasocki, S., Klose, C. D., Meier, T., Ohrnberger, M., Rivalta, E., Shapiro, S., Wegler, U. (2010): How to discriminate induced, triggered and natural seismicity, Proceedings of the Workshop Induced seismicity : November 15 - 17, 2010, Hotel Hilton, Luxembourg, Grand-Duchy of Luxembourg, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ,30), Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 69-76.
- [ref. 3.] Van Eck, T., Goutbeek, F., Haak, H., Dost, B. 2006. Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in The Netherlands. Engineering Geology 87: 105-121.
- [ref. 4.] Kramer, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 653 pp.
- [ref. 5.] Richter, C.F., 1958. Elementary Seismology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 135-149; 650-653.
- [ref. 6.] Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, website: <http://www.gfz-potsdam.de>.
- [ref. 7.] NAS 2012. Induced seismicity potential in Energy Technologies. Washington, D.C., The National Academy of Sciences, Prepublication version, 225 pp.
- [ref. 8.] KNMI, 2013a. Lijst met geïnduceerde aardbevingen in Nederland. Public database from Website: <http://knmi.nl/seismologie/aardbevingen-nederland.html>.
- [ref. 9.] SoDM, 2013. Reassessment of the probability of higher magnitude earthquakes in the Groningen gas field. Including a position statement by KNMI. Confidential Final Report, dd. 16-01-2013; 35 pp.
- [ref. 10.] De Crook, Th., Haak, H.W., Dost, B. 1998. Seismisch risico in Noord-Nederland. KNMI Technisch Rapport, TR-205, 24 pp.
- [ref. 11.] TNO, 2008. Bergermeer seismicity study. TNO report 2008-U-R1071/B, A.G. Muntendam-Bos, B.B.T. Wassing, C.R. Geel, M.Louh, K. van Thienen-Visser, 95 pp.
- [ref. 12.] MIT, 2009. Technical review of Bergermeer seismicity study TNO Reprot 2008/U/R1071/B 6 November 2008. Technical Review Report, by B.H. Hager and N. Toksöz, 34 pp.
- [ref. 13.] Dost, B., Kraaijpoel, D. 2013. The August 16, 2012 earthquake near Huizinge (Groningen). de Bilt, KNMI Report, 26 pp.
- [ref. 14.] Dost, B., Haak, H.W. 2007. Natural and induced seismicity. In: Geology of the Netherlands, Th.E. Wong, D.A.J. Batjes, J. de Jager (Eds.), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 223-239.
- [ref. 15.] De Vos, D. 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for the southern part of The Netherlands. M.Sc. Research Thesis, Utrecht University, 58 pp.
- [ref. 16.] Grasso, J.-R. 1992. Mechanics of seismic instabilities induced by the recovery of hydrocarbons. Pure and Applied Geophysics, 139(3/4): 507-534.
- [ref. 17.] Segal, P., Grasso, J.-R., Mossop, A. 1994. Poroelastic stressing and induced seismicity near the Lacq gas field, Southwestern France. Journal of Geophysical Research, B, Solid Earthq Panets, 99(8): 15423-15438.
- [ref. 18.] Segal, P., Fitzgerald, S.D. 1998. A note on induced stress changes in hydrocarbon and geothermal reservoirs. Tectonophysics 289: 117-128.
- [ref. 19.] Van Eijs, R.M.H.E., Mulders, F.M.M., Nepveu, M., Kenter, C.J., Scheffers, B.C. 2006. Correlation between hydrocarbon reservoir properties and induced seismicity in The Netherlands. Engineering Geology, 84: 99-111.
- [ref. 20.] Holland, A. 2011. Examination of possibly induced seismicity from hydraulic fracturing in the Eola Field, Garvin County, Oklahoma. Oklahoma Geological Survey

- Open-File Report OF1-2011, 28 pp. Website:
www.ogs.ou.edu/pubsscanned/openfile/OF1_2011.pdf.
- [ref. 21.] Eisner, L., Janská, E., Opršal, I., Matoušek, P. 2011. Seismic analysis of the events in the vicinity of the Preese Hall well. Technical Report for Cuadrilla Resources Ltd., 28 pp.
- [ref. 22.] Baisch, S., Vörös, R. 2011. Geomechanical study of Blackpool seismicity. Technical Report for Cuadrilla Ltd. CUA001, version 8, 58 pp.
- [ref. 23.] Green, C.A., Styles, P., Baptie, B.J. 2012. Preese Hall shale gas fracturing, Review & recommendations for induced seismic mitigation. Technical Report, G-Frac Technologies, Keele University, British Geological Survey, April 2012, 26 pp.
- [ref. 24.] BGS 2011. Blackpool earthquakes. British Geological Survey websites:
<http://www.bgs.ac.uk/research/earthquakes/blackpoolApril2011.html>
<http://www.bgs.ac.uk/research/earthquakes/blackpoolMay2011.html>
- [ref. 25.] BC Oil & Gas Commission, 2012. Investigation of observed seismicity in the Horn River Basin. Technical Report, August 2012, 29 pp. website: <http://www.bcogc.ca/>
- [ref. 26.] Kramer, S.L., Stewart, J.P. 2004. Geotechnical aspects of seismic hazards. In: Earthquake Engineering: from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering, Y. Bozorgnia, V. Bertero (Eds.), CRC Press, Ch. 4, 85 pp.
- [ref. 27.] Tsai, N.C. 1969. Influence of local geology on earthquake ground motion. Pasadena, CA, Ph.D. Thesis in California Institute of Technology, 201 pp.
- [ref. 28.] API 51R - Environmental Protection for Onshore Oil and Gas Production Operation and Leases. July 2005.
- [ref. 29.] API 65 - Isolating Potential Flow Zones During Well Construction (Dec 2010).
- [ref. 30.] API HF1 - Hydraulic Fracturing Operations - Well Construction and Integrity Guidelines (Oct. 2009).
- [ref. 31.] API HF2 - Water Management Associated with Hydraulic Fracturing (June 2010).
- [ref. 32.] API HF3 - Practices for Mitigation Surface Impacts Associated with Hydraulic Fracturing (Jan. 2010).
- [ref. 33.] Oil and Gas UK (UKOAA) Guidelines. Website:
<http://www.oilandgasuk.co.uk/publications/publications.cfm>
- [ref. 34.] De Pater, C.J., Baisch, S. 2011. Geomechanical study of Bowland Shale seismicity. Synthesis Report for Cuadrilla Ltd., 57 pp.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.8
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/221
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Deelvragen	2
1.4. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Deelvraag 1: Implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten	4
2.2. Deelvraag 2: Minimum benodigde afstand	6
2.3. Deelvraag 3: Benodigde wettelijke kaders	8
3. CONCLUSIES	10
3.1. Deelvraag 1: Implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten	10
3.2. Deelvraag 2: Minimum benodigde afstand	10
3.3. Deelvraag 3: benodigde wettelijke kaders	11
4. REFERENTIES	12

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.8 Onderzoeksvraag:

Geef aan wat de mogelijke implicaties zijn voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet. Ga na wat de minimum afstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie zou moeten zijn. Ga tevens na of wettelijke kaders nodig zijn om conflicten te voorkomen tussen dergelijke bebouwing of objecten en mijnbouwactiviteiten. Zo ja, zijn deze voldoende voorhanden?

1.2. Afbakening

In de beantwoording op de vraag wat de mogelijke implicaties zijn voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet, wordt ingegaan op de implicaties als direct gevolg van de optredende trillingen (bodembeweging). Op mogelijke implicaties als gevolg van indirecte effecten waaronder bodemdaling wordt in deze notitie niet ingegaan. Op de gevolgen van bodemdaling wordt in de notities B.4.13 en B.4.14 ingegaan.

Trillingen die optreden in de ondergrond en vervolgens in bebouwing kunnen leiden tot:

- schade aan het gebouw;
- hinder voor personen in het gebouw;
- storing aan aanwezige apparatuur in het gebouw.

De Stichting Bouw Research (SBR) heeft een drietal richtlijnen opgesteld waarin op deze drie aspecten wordt ingegaan [ref. 3, 5.]. In deze notitie wordt niet op hinder voor personen in gebouwen ingegaan vanwege het zeer incidentele en kortdurende karakter van het trillingsignaal bij een optredende aardbeving als gevolg van frac-activiteiten.

Om tot een minimum afstand te komen van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie dient locatiespecifieke informatie bekend te zijn. De optredende trillingen hangen namelijk af van een aantal locatiespecifieke eigenschappen. In deze notitie wordt daarom enkel een indruk gegeven van minimaal benodigde afstand op basis van beschikbare literatuur.

1.3. Deelvragen

De onderzoeksvraag is onderverdeeld in een drietal deelvragen.

Implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten

Geef aan wat de mogelijke implicaties zijn voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet.

Minimum benodigde afstand

Ga na wat de minimum afstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie zou moeten zijn.

Wettelijke kaders

Ga na of wettelijke kaders nodig zijn om conflicten te voorkomen tussen dergelijke bebouwing of objecten en mijnbouwactiviteiten. Zo ja, zijn deze voldoende voorhanden?

1.4. Aanpak

De onderzoeksvraag is beantwoord op basis van beschikbaar onderzoek naar schade nabij mijnbouwlocaties als gevolg van trillingen door geïnduceerde aardbevingen. Daarnaast zijn verschillende kennissites op het gebied van aardgaswinning geraadpleegd waaronder de website van het Staatstoezicht op de Mijnen [ref. 8].

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten

Als gevolg van een aardbeving ontstaan trillingen die zich voortplanten in de ondergrond. De grootte van deze trillingen (amplitude) neemt af met afstand tot het hypocentrum¹. Er is een verschil tussen trillingen als gevolg van natuurlijke aardbevingen en trillingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen. Geïnduceerde aardbevingen hebben een epicentrum die veel ondieper ligt dan natuurlijke aardbevingen. Dit heeft gevolgen voor de aard van de beving en de aard van de optredende trillingen. Kenmerkend voor geïnduceerde aardbevingen zijn de korte duur en relatief hoge maximale versnelling of snelheid van de grondbeweging [ref. 2.]. In notitie B.4.7 wordt nader ingegaan op de te verwachten maximale kracht en aard van een geïnduceerde aardebeving als gevolg van frac-activiteiten. Hoe de verschillende bodemtypen reageren op trillingen wordt in notitie B.4.10 beschreven.

Afhankelijk van hoe de bodem reageert op een aardbeving als gevolg van frac-activiteiten en hoe sterk deze beving is, ontstaat een trillingssignaal op het aardoppervlak waaraan bebouwing op het aardoppervlak wordt blootgesteld. De mogelijke implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing wanneer deze aan trillingsbelasting als gevolg van een geïnduceerde aardbeving wordt blootgesteld, hangen van een aantal aspecten af waaronder:

- de aard van de trilling (duur, maximale sterkte en dominante frequenties);
- gebouweigenschappen (bouw materiaal, funderingstype en staat van het gebouw).

Mogelijke implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing als gevolg van een aardbeving zijn onder te verdelen in:

- schade aan bebouwing;
- storing aan apparatuur;
- hinder voor personen.

Op het aspect hinder wordt in deze notitie niet ingegaan gezien het zeer incidentele en kortdurende karakter van de trilling (zie sectie 1.2). De aspecten schade aan bebouwing en storing aan apparatuur worden in het vervolg verder beschreven.

Schade aan bebouwing

Mogelijke schade aan trillingsgevoelige bebouwing of objecten kan worden opgedeeld in de volgende categorieën:

- niet constructieve gebouwschade;
- constructieve gebouwschade.

Men spreekt van gebouwschade indien er sprake is van

1. blijvende en onomkeerbare verandering in positie van onderdelen van een gebouw ten op zichte van elkaar of van het hele gebouw;
2. blijvende en onomkeerbare vervorming van onderdelen van een gebouw;
3. blijvend verlies van een functie van een onderdeel van het gebouw.

Van constructieve schade wordt gesproken wanneer er sprake is van verminderde integriteit van het gebouw of delen daarvan. Hierdoor kan de constructieve veiligheid in gevaar komen en daarmee de veiligheid van personen in het gebouw. Bij constructieve schade

¹ Het hypocentrum is de werkelijke positie van de bron van de aardbeving, dus ook in de diepte. Normaal wordt gesproken over het 'epicentrum'; dit is de geprojecteerde locatie van de bron van de aardbeving op het aardoppervlak.

kan gedacht worden aan verlies van sterkte door scheurvorming in dragende constructieonderdelen of bezwijken van constructieonderdelen, bijvoorbeeld kolommen of liggers.

Niet constructieve schade is schade waarbij vermindering van gebruikswaarde of verlies in functie optreedt zonder dat de veiligheid van personen in het gebouw in het geding is. Onder niet-constructieve schade valt scheurvorming van pleisterwerk, het loslaten van voegafdichtingen en schade aan afwerking van vloeren en wanden. Niet constructieve schade kan resulteren in esthetische consequenties, afname in gebruikswaarde en/of afname in levensduur.

Om tot een indicatie van schade als gevolg van een aardbeving te komen is de 'European Macroseismic Scale' (EMS) opgesteld [ref. 6.]. Er wordt onderscheid gemaakt in een zestal type gebouwen:

- A: Los-gestapeld of klei;
- B: Metselwerk en natuursteen;
- C: Gewapend beton en degelijke houten constructies;
- D-F: Gebouwen ontwerpen met een zekere graad van aardbevingsbestendigheid.

Veel woningen in Nederland zijn in te delen in type B omdat deze zijn geconstrueerd uit metselwerk. Grotere appartementen complexen en flatgebouwen vallen overwegend onder categorie C. De gradaties in schade volgens de EMS worden gegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1. Gradaties schade volgens European Macroseismic Scale [ref. 6.]

gradatie	klasse	omschrijving
1		verwaarloosbare tot lichte schade (niet constructief)
	A-C	- haarscheurtjes in een enkele muur; - neervallen van slechts kleine stukjes pleisterwerk; - in een enkel geval vallen van loszittende steen van hogere delen van gebouwen.
	D-F	- kleine scheurtjes in pleisterwerk op regels en in scheidingswanden.
2		matige schade (licht constructief, matig niet-constructief)
	A-C	- scheuren in veel muren; - vallen grotere stukken pleisterwerk; - delen van schoorstenen komen omlaag.
	D-F	- haarscheurtjes in penanten, kolommen en balken; - metselwerk valt uit voegen van wanden; - scheuren in scheidingsmuren; - vallen van stukken brosse afdekplaten en pleisterwerk.
3		aanzienlijk tot zware schade (matig constructief, zwaar niet constructief)
	A-C	- in de meeste muren grote en diepe scheuren; - dakpannen of leien glijden weg; schoorstenen breken op de daklijn; - breuk van enkele niet-constructieve onderdelen.
	D-F	- scheuren in penanten en losraken van stukken beton, scheuren in balken
4		zeer zware schade (zwaar constructief, zeer zwaar niet-constructief)
	A-C	- ernstige breuken in muren; - gedeeltelijk bezwijken van constructieve onderdelen.
	D-F	- ernstige schade door ontwrichting van het bouwskelet; - verwoesting van beton waarbij wapeningsstaal zichtbaar kan worden; - gedeeltelijk instorting; penanten en kolommen komen scheef te staan.
5		verwoesting (zeer zware constructieve schade)
	A-F	- algehele of vrijwel totale verwoesting.

Onder trillingsgevoelige bebouwing wordt verstaan dat dergelijke bebouwing weinig capaciteit bezit om trillingen zonder schade te doorstaan. Bij trillingsgevoelige bebouwing is daarom sprake van gebouwtype A en in sommige gevallen gebouwtype B. Uit de tabel volgt dat de lichtste gradatie van schade aan deze gebouwen (in het geval er een zeer lichte aardbeving optreedt) lichte niet-constructieve schade betreft. Dit houdt in dat er kleine haarscheurtjes in een enkele muur kunnen optreden en wellicht kleine stukjes pleisterwerk naar beneden vallen. Naarmate er een krachtigere aardbeving optreedt, zal de schade toenemen en zal er steeds meer schade aan trillingsgevoelige gebouwen ontstaan wat in classificatie 2 of 3 kan worden ingedeeld.

In eerder onderzoek naar schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in Noord-Nederland [ref. 2.] wordt aangegeven dat schade ontstaan na bevingen in 2001 met een kracht van $M=3,5$ (lokale trillingssnelheid bij bebouwing 43 mm/s) en $M=3,2$ in de meeste gevallen is in te delen in categorie 1: lichte schade. In een enkel geval ontstond matige schade. Om tot een indruk te komen welke schade te verwachten is bij aardbevingen als gevolg van frac-activiteiten is het van belang de te verwachten kracht van de aardbeving te weten en ook hoe de lokale bodemopbouw er uitziet.

Storing aan apparatuur

Naast schade aan bebouwing als gevolg van trillingsbelasting vanuit de ondergrond door toedoen van frac-activiteiten kan ook mogelijk storing aan trillingsgevoelige apparatuur optreden. Het in trilling gebrachte gebouw kan het functioneren van de aanwezige gevoelige apparatuur nadelig beïnvloeden en ook leiden tot schade. De SBR-richtlijn deel C: storing aan apparatuur [ref. 5.] beschrijft als mogelijk trillingsgevoelige apparatuur:

- optische apparatuur;
- apparatuur waarin met zeer kleine ruimtelijke precisie wordt gewerkt;
- apparatuur waarmee wegingen worden uitgevoerd;
- diverse apparatuur waar specifieke gevoelige componenten voorkomen;
- apparatuur waar positionering met zeer kleine resolutie plaatsvinden.

Bij optische apparatuur valt te denken aan elektronenmicroscopen die als gevolg van trillingen storing op kunnen leveren. Andere trillingsgevoelige apparatuur is bijvoorbeeld master-apparatuur voor CD-fabricage of componenten van computerapparatuur. In het geval dat storing van dergelijke apparatuur optreedt als gevolg van een aardbeving kan dit tot veel kostenschade leiden.

De mate waarin apparatuur trillingsgevoelig is hangt sterk af van de apparatuur zelf en ook van de aard van de optredende trillingen. Per locatie waar mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is, dient daarom te worden geïnventariseerd om wat voor apparatuur het gaat en welke grenswaarden er aan de trillingsbelasting gesteld dienen te worden [ref. 5.]. Ter voorkoming van storing aan apparatuur als gevolg van frac-activiteiten is een inventarisatie van mogelijke trillingsgevoelige apparatuur in de nabije omgeving van de boorlocatie daarom gewenst. Bij de bepaling van toelaatbare grenswaarden kan rekening worden gehouden met mogelijk aanwezige achtergrondtrillingen als gevolg van andere trillingsbronnen (hierbij valt te denken aan treinverkeer, wegverkeer en bijvoorbeeld aanwezige machines).

2.2. Deelvraag 2: Minimum benodigde afstand

Met het oog op een minimaal benodigde afstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie kan dezelfde tweedeling worden gemaakt als in de vorige paragraaf: minimaal benodigde afstand ten behoeve van voorkoming van schade aan gebouwen en minimaal benodigde afstand benodigd ten behoeve van voorkoming van storing aan apparatuur.

Minimum benodigde afstand ter voorkoming van schade bebouwing

Om tot een indruk te komen van de schade te verwachten bij aardbevingen als gevolg van frac-activiteiten is het van belang de te verwachten kracht van de aardbeving te weten en ook de mate van trillingsgevoeligheid van specifieke bebouwing. Dit is locatiespecifiek en dient daarom per boorlocatie te worden bepaald. De internationaal geaccepteerde methode voor het voorspellen van gebouwschade door een aardbeving is de 'Probabilistic Seismic Hazard Analysis' [ref. 7.]. Met deze methode wordt op basis van een berekende kans dat een aardbeving met een bepaalde magnitude optreedt en inzicht in het gebied waar de aardbeving optreedt, een voorspelling gegeven van het verwachte trillingsniveau. Om tot een inschatting van schade te komen wordt vervolgens de voorspelling van het verwachte trillingsniveau gekoppeld aan de trillingsgevoeligheid van de verschillende nabijgelegen gebouwtypen. Zodoende kunnen contourafstanden worden bepaald waarbinnen een bepaalde kans op schade te verwachten is.

In [ref. 1.] en [ref. 2.] worden de resultaten van een studie naar de kans op gebouwschade door toedoen van geïnduceerde aardbevingen als gevolg van aardgaswinning nabij Loppersum gegeven. Hierbij zijn contourafstanden bepaald voor verschillende kansen op schade voor verschillende gebouwtypen. Bij een aardbeving met een kracht van 3,5 op de schaal van Richter bestaat er op 10,5 km afstand van het epicentrum een kans van 1 % dat er schade optreedt aan het meest gevoelige gebouwtype [ref. 1.]. Bij een kracht van 3,9 op de schaal van Richter ligt deze buitengrens op meer dan 15 km. Bij een kracht van 3,0 op de schaal van Richter volgt uit de studie een contourafstand van circa 5 km. Echter, op basis van ervaringen met schaderapporten wordt in [ref. 2.] aangegeven dat de bepaalde afstanden een te pessimistische benadering lijkt te geven.

In notitie B.4.7 wordt ingegaan op de maximaal te verwachten kracht van een geïnduceerde aardbeving in Nederland als gevolg van frac-activiteiten. Geconcludeerd wordt dat enkel op basis van gerapporteerde aardbevingen als gevolg van schaliegaswinning in literatuur de maximaal te verwachten aardbeving als gevolg van schaliegaswinning in Nederland kleiner is ($M \leq 3,0$) dan reeds geregistreerde geïnduceerde aardbevingen in Nederland als gevolg van reguliere aardgaswinning ($M_L=3,5$). Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit slechts een indicatie is en de verwachte maximale magnitude afhangt van een aantal locatiespecifieke eigenschappen.

Indien wordt uitgegaan van een verwachte magnitude van de aardbeving niet groter dan 3 op de schaal van Richter, zou de contourafstand waar buiten de kans op schade aan het meest gevoelige gebouwtype (boerderij) volgens [ref. 1.] minder dan 1 % is circa 5 km bedragen. Deze contourafstand is echter locatiespecifiek en is niet bepaald voor aardbevingen als gevolg van frac-activiteiten ten behoeve van schaliegaswinning. Om tot een minimum benodigde afstand te komen is nader toegesneden onderzoek naar de verwachte kans op schade als gevolg van frac-activiteiten benodigd.

Minimum benodigde afstand ter voorkoming van storing aan apparatuur

De te hanteren grenswaarde voor de trillingsbelasting ter voorkoming van storing en/of schade aan apparatuur hangt af van de mate van trillingsgevoeligheid van de apparatuur. Dit blijkt sterk te variëren per type apparatuur. Ook de aard van de trilling (met name welke trillingsfrequenties in het aardbevingssignaal domineren) bepaalt mede de gevoeligheid van de apparatuur.

Een minimum benodigde afstand hangt samen met de toelaatbare trillingsbelasting en kan daarom per boorlocatie sterk variëren afhankelijk van in de nabije omgeving aanwezige trillingsgevoelige apparatuur.

Per boorlocatie is het aan te bevelen binnen een bepaalde zone rondom de boorlocatie te inventariseren welke mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is. Het definiëren van een minimum benodigde afstand dient vervolgens per specifieke apparatuur te worden bepaald. Hoe groot de inventarisatiezone dient te zijn, hangt af van de maximale te verwachten magnitude van een geïnduceerde aardbeving.

2.3. Deelvraag 3: Benodigde wettelijke kaders

In Nederland bestaat tot op heden geen wetgeving voor het voorkomen van hinder of schade door trillingen, zoals die wel bestaat voor geluidhinder (Wet geluidhinder). Ook in het Besluit algemene regels milieu mijnbouw worden geen kaders omtrent toelaatbare trillingen gegeven.

De mijnbouwwet vraagt (zie artikel 24 van het mijnbouwbesluit) echter om in het winningplan een risicoanalyse omtrent aardbevingen op te nemen. Hierin moet worden aangegeven wat de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging is en welke maatregelen worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken. Om tot een dergelijke risicoanalyse te komen dient de impact van verwachte trillingsniveaus als gevolg van frac-activiteiten op de bebouwing te worden bepaald.

De Stichting Bouw Research (SBR) heeft een drietal richtlijnen opgesteld om de impact van trillingen te bepalen. De richtlijnen zijn bedoeld om te kunnen beoordelen of mogelijk schade aan gebouwen, hinder voor personen of storing aan apparatuur kan optreden. Om te kunnen beoordelen of mogelijk schade aan gebouwen optreedt geeft de SBR-richtlijn deel A: Schade aan gebouwen [ref. 3.] grenswaarden waarbij bij overschrijding een kleine kans op schade bestaat. Welk soort schade en de ernst van de schade worden niet besproken. In [ref. 2.] wordt aangegeven dat uitgevoerd onderzoek naar verwachte schade van trillingen door geïnduceerde trillingen op basis van seismic hazard kaarten en de SBR-grenswaarden geen goed inzicht gaf in de te verwachten schade.

Wordt er gekeken naar mogelijke storing of schade aan trillingsgevoelige apparatuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen dan kan de SBR-richtlijn deel C: Storing aan apparatuur gehanteerd worden. De richtlijn geeft echter in het geheel geen grenswaarden of beoordelingscriteria. Aangezien de mate van trillingsgevoeligheid sterk afhangt van het type instrument of apparaat en ook van de aard van de trilling, dienen per specifiek geval toelaatbare grenswaarden te worden gedefinieerd. In geval van trillingsgevoelige apparatuur verwijst de richtlijn voor toelaatbare grenswaarde naar de leverancier van de apparatuur.

Uit het voorgaande blijkt dat een goede predictie van te verwachten schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen (frac-activiteiten) lastig is. Dit komt enerzijds doordat er nog onzekerheid is over de verwachte kans op een aardbevingsbelasting in de Nederlandse situatie als gevolg van frac-activiteiten en anderzijds omdat er in de bepaling van de schadegevoeligheid van trillingsgevoelige gebouwen onzekerheid zit. Om een goed oordeel te kunnen geven of het wettelijke kader van de voorgeschreven risicoanalyse in de mijnbouwwet nadere invulling verdient ten behoeve van aardbevingen als gevolg van schaliegas- en of steenkoolgaswinning dient nader onderzoek naar de kans op schade als gevolg van de bevingen te worden uitgevoerd. Vooralsnog lijkt de kans op schade als gevolg van frac-activiteiten zeer beperkt gezien de mogelijk maximaal te verwachten aardbevingsbelasting volgens notitie B.4.7.

Met het oog op mogelijke storing en/of schade aan trillingsgevoelige apparatuur in de nabije omgeving van een boorlocatie is het aan te bevelen een inventarisatie van mogelijk tril-

lingsgevoelige apparatuur in de voorgeschreven risicoanalyse op te nemen. Per locatie dient de trillingsgevoeligheid van de aanwezige apparatuur te worden geïnventariseerd.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten

Mogelijke implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet.

Mogelijke implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet kunnen worden samengevat als:

- optreden van schade aan bebouwing;
- optreden van schade aan trillingsgevoelige apparatuur in bebouwing.

Schade aan bebouwing kan worden onderverdeeld in constructieve en niet-constructieve gebouwschade. Bij constructieve schade is mogelijk de veiligheid van het gebouw in gevaar. Bij niet-constructieve schade is er geen sprake van verminderde veiligheid voor personen in het gebouw.

Indien er trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is in een gebouw die blootstaat aan trillingsbelasting door toedoen van een aardbeving als gevolg van frac-activiteiten, kan mogelijk storing of schade aan apparatuur ontstaan. Dit kan directe maar ook indirecte kostenschade veroorzaken.

3.2. Deelvraag 2: Minimum benodigde afstand

Minimum benodigde afstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie.

Een minimum benodigde afstand kan worden bepaald ten behoeve van:

- voorkoming van schade aan bebouwing;
- voorkoming van storing en/of schade aan apparatuur.

In het verleden is ten behoeve van schadebepaling als gevolg van mijnbouwactiviteiten in Nederland (aardgaswinning) door onder andere TNO, Deltares en KNMI onderzoek gedaan [ref. 1.], [ref. 2.]. In deze onderzoeken is op basis van te verwachten aardbevingsmagnitudes en schadegevoeligheid van verschillende typen panden een aantal contourafstanden afgeleid waarvoor een verwachte kans op schade is gedefinieerd. Op basis van ervaring met gemelde schades lijken de onderzoeksresultaten echter mogelijk een te pessimistisch beeld te geven.

Voor het geval van aardbevingen als gevolg van frac-activiteiten in Nederland is de maximaal verwachte magnitude enkel op basis van onderzoek naar mijnbouwlocaties wereldwijd bepaald in notitie B.4.7. Hieruit volgt dat de maximale magnitude op basis van geregistreerde aardbeving als gevolg van frac-activiteiten niet meer dan 3 op de schaal van Richter bedraagt. Deze magnitude is kleiner dan de magnitudes die reeds zijn gemeten als gevolg van reguliere gaswinning in Noord Nederland. Uit [ref. 1.] volgt voor een magnitude van $M=3.0$ een minimale afstand van circa 5 km voor schadegevoelige bebouwing waarbuiten de kans op schade kleiner is dan 1 %. De afstand is echter locatiespecifiek en dient daarom enkel ter indicatie. Om tot een minimum benodigde afstand te komen is nader toegesneden onderzoek naar de verwachte kans op schade als gevolg van frac-activiteiten nodig.

Een minimum benodigde afstand ter voorkoming van storing of schade aan trillingsgevoelige apparatuur hangt samen met de toelaatbare trillingsbelasting en kan daarom per boorlocatie sterk variëren afhankelijk van in de nabije omgeving aanwezige trillingsgevoelige

apparatuur. Per boorlocatie is het aan te bevelen binnen een bepaalde zone rondom de boorlocatie te inventariseren welke mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is. Het definiëren van een minimum benodigde afstand dient vervolgens per specifieke apparatuur te worden bepaald. Hoe groot de inventarisatiezone is hangt af van de maximale te verwachten magnitude van een geïnduceerde aardbeving. Dit dient tevens nader onderzocht te worden.

3.3. Deelvraag 3: benodigde wettelijke kaders

Benodigde wettelijke kaders om conflicten te voorkomen tussen dergelijke bebouwing of objecten en mijnbouwactiviteiten.

De mijnbouwwet vereist in artikel 24 van het mijnbouwbesluit om in het winningplan een risicoanalyse omtrent aardbevingen op te nemen. Hierin moet worden aangegeven wat de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging is en welke maatregelen worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken. Om tot een dergelijke risicoanalyse te komen dient de impact van verwachte trillingsniveaus op de bebouwing te worden bepaald.

Een predictie van te verwachten schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen (frac-activiteiten) blijkt echter lastig. Dit komt enerzijds doordat er nog weinig bekend is over de verwachte kans op een bepaalde aardbevingsbelasting in de Nederlandse situatie als gevolg van frac-activiteiten en anderzijds omdat er in de bepaling van de schadekans van trillingsgevoelige gebouwen onzekerheid zit. Om een oordeel te kunnen geven of het wettelijke kader van de voorgeschreven risico analyse in de mijnbouwwet nadere invulling verdient ten behoeve van aardbevingen als het gevolg van schaliegas- en of steenkoolgaswinning, dient nader onderzoek te worden uitgevoerd. Vooralsnog lijkt de kans op schade als gevolg van frac-activiteiten beperkt gezien de mogelijk maximaal te verwachten aardbevingsbelasting volgens notitie B.4.7.

Met het oog op mogelijke schade aan apparatuur in de nabije omgeving van een boorlocatie lijkt het verstandig vooraf in de omgevingsvergunning een inventarisatie voor te schrijven van bebouwing met daarin trillingsgevoelige apparatuur. Per locatie dient de trillingsgevoeligheid van de aanwezige apparatuur te worden geïnventariseerd. De inventarisatie betreft een onderdeel van de beschrijving van de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging (artikel 24.q mijnbouwbesluit).

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] G. de Lange, N. G. C. van Oostrom, S. Dortland, H. Borstje (TNO), and S. Z. J. de Richemont (TNO), 'Gebouwschade Loppersum,' 2011. Deltares, Delft.
- [ref. 2.] W. van Kanten-Roos (TNO), B.Dost (KNMI), A.C.W.M. Vrouwenvelder (TNO), T. van Eck (KNMI), 'Maximale schade door geïnduceerde aardbevingen: inventarisatie van studies met toepassingen op Bergermeer', 2011.
- [ref. 3.] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn Trillingen deel A: Schade aan gebouwen (2002). Stichting Bouw Research, Delft.
- [ref. 4.] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn Trillingen deel B: Hinder voor personen in gebouwen (2002). Stichting Bouw Research, Delft.
- [ref. 5.] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn Trillingen deel C: Storing aan apparatuur (2002). Stichting Bouw Research, Delft.
- [ref. 6.] Grunthal G., 'European Macroseismic Scale 1998', 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburg.
- [ref. 7.] Sen T.K., 'Fundamentals of seismic loading on structures', 2009.
- [ref. 8.] Staatstoezicht op de Mijnen, 2013. [Online]. Available: <http://www.sodm.nl/>.



Witteveen+Bos
 Hoogoorddreef 56 F
 Postbus 12205
 1100 AE Amsterdam
 telefoon 020 312 55 55
 fax 020 697 47 95
 www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.9
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/222
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	3

INHOUDSOPGAVE		blz.
1. VRAAGSTELLING		2
1.1. Hoofdvraag		2
1.2. Afbakening		2
1.3. Aanpak		3
2. ANALYSE		4
2.1. Subvraag 1: Risico van aardbevingen op gaswinning		4
2.2. Subvraag 2: Voorkomen van risico's van aardbevingen op gaswinning		6
2.3. Subvraag 3: Risico van het aanboren van een natuurlijke breuk		7
2.4. Subvraag 4: Maatregelen om risico's van boren in een breuk te reduceren		9
3. CONCLUSIES		16
3.1. Subvraag 1: Risico van aardbevingen op gaswinning		16
3.2. Subvraag 2: Voorkomen van risico's van aardbevingen op gaswinning		16
3.3. Subvraag 3: Risico van het aanboren van een natuurlijke breuk		16
3.4. Subvraag 4: Maatregelen om risico's van boren in een breuk te reduceren		16
4. REFERENTIES		18
BIJLAGEN	aantal blz.	
I Protocol voor bepalen van geïnduceerde seismiciteit in EGS [ref. 14.]	2	
II Gevaar en risico analyse stappen voor een nieuwe site [ref. 14.]	1	
III Checklist voor een Kwalitatieve risico analyse [ref. 16.]	2	

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.9. Onderzoeksvraag

Geef inzicht in het risico op van nature optredende aardbevingen op gaswinning en welke veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden om mogelijke negatieve gevolgen te voorkomen.

Ga na wat het risico is van het aanboren van een natuurlijke breuk, of het anderszins in verbinding brengen van boorgaten met natuurlijke breuken (zoals door frac-activiteiten) en welke maatregelen mogelijk zijn om deze risico's te reduceren (bv welke afstand tot breuklijn moet in acht worden genomen).

1.2. Afbakening

De onderzoeksvraag kan worden onderverdeeld in vier subvragen:

1. geef inzicht in het risico van nature optredende aardbevingen op gaswinning;
2. welke maatregelen moeten worden genomen om mogelijke negatieve gevolgen te voorkomen?
3. ga na wat het risico is van het aanboren van een natuurlijke breuk, of anderszins in verbinding brengen van boorgaten met natuurlijk breuken? Bijvoorbeeld door frac-activiteiten;
4. welke maatregelen zijn mogelijk om deze risico's te reduceren (bijvoorbeeld welke afstand tot een breuklijn moet in acht worden genomen).

Subvraag 1: Risico van aardbevingen op gaswinning

Geef inzicht in het risico op van nature optredende aardbevingen op gaswinning.

Deze vraag is gezien de context van dit onderzoek als volgt opnieuw en specifieker geformuleerd:

Wat is het risico van aardbevingen op de integriteit van een boorgat met betrekking tot de bebuizing en de boorgat cementatie?

Het risico van schade aan de bebuizing door geïnduceerde aardbevingen is besproken in B.4.7. Deze beschouwing wordt verder uitgebreid voor natuurlijke aardbevingen en het risico voor beschadiging van het cementafsluiting in de annulaire ruimte tussen bebuizing en boorgatwand.

Subvraag 2: Voorkomen van risico's van aardbeving op gaswinning

Welke maatregelen moeten worden genomen om mogelijke negatieve gevolgen te voorkomen?

De maatregelen die hier aan de orde komen zijn specifiek voor het mitigeren van de gevolgen van aardbevingen op de boorgatintegriteit

Subvraag 3: Risico van aanboren van natuurlijke breuk

Ga na wat het risico is van het aanboren van een natuurlijke breuk, of anderszins in verbinding brengen van boorgaten met natuurlijk breuken? Bijvoorbeeld door frac-activiteiten.

Subvraag 4: Reduceren van risico's van aanboren van natuurlijke breuk

Welke maatregelen zijn mogelijk om de risico's van boren in een natuurlijke breuk te reduceren? Bijvoorbeeld welke afstand tot de breuklijn moet in acht worden genomen?

1.3. Aanpak

Om de gestelde onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn verschillende bronnen geraadpleegd, te weten:

- wetenschappelijke (peer-reviewed) publicaties;
- wetenschappelijke conferenties en workshops;
- proefschriften (bijvoorbeeld De Vos, 2010);
- naslagwerken;
- rapportages door kennisinstituten (bijvoorbeeld KNMI, TNO);
- rapportages door industrie (speciale projecten, bijvoorbeeld Bowland, Engeland);
- standaarden en richtlijnen (bijvoorbeeld Eurocode 8, NEHRP);
- websites en webportalen voor disseminatie van informatie (bijvoorbeeld USGS, BGS, 'www.shale-gas-information-platform.org').

2. ANALYSE

2.1. Subvraag 1: Risico van aardbevingen op gaswinning

Wat is het risico van aardbevingen op de integriteit van een boorgat met betrekking tot de bebuizing en de boorgat cementatie?

Het verlies van integriteit van een bebuist en gecementeerd boorgat kan leiden tot lekkages tot in het omringende gesteente. De integriteit van een boorgat kan door het optreden van aardbevingen op twee manieren aangetast worden:

1. door relatief grote vervorming langs een breuklijn of breukzone. Als het boorgat een (actieve) breuklijn of -zone doorsnijdt, dan kan het optreden van een natuurlijke of geïnduceerde aardbeving leiden tot verplaatsingen langs dit breukvlak (in de orde van mm's of cm's) afhankelijk van de grootte van de aardbeving. De kans van optreden is klein: het boorgat moet een breukvlak doorsnijden en er moet een relatief krachtige aardbeving optreden die voor significante verplaatsing langs het breukvlak zorgt;
2. door relatief kleine vervorming door de aardbevingsgolf. Vooral op het grensvlak tussen gesteentelagen met sterk afwijkende golfsnelheden kunnen vervorming optreden door de langskomende aardbevingsgolf. De kans van het optreden van dit type vervorming is groter dan de kans op vervorming door verschuiven langs een breuklijn.

Het verminderen van de integriteit van een boorgat kan zich op twee manieren manifesteren:

1. vervorming van de stalen bebuizing. Vervorming in de bebuizing kan in bepaalde gevallen leiden tot lekkage. In combinatie met mogelijke schade aan de cementafsluiting (zie punt 2 hieronder) zou dit kunnen leiden tot lekkage tot in het omliggende gesteente;
2. schade aan de cementafsluiting in de annulaire ruimte tussen bebuizing en boorgat. Door de vervorming van de bebuizing en seismische belasting kan de cementafsluiting worden aangetast. [ref. 1.].

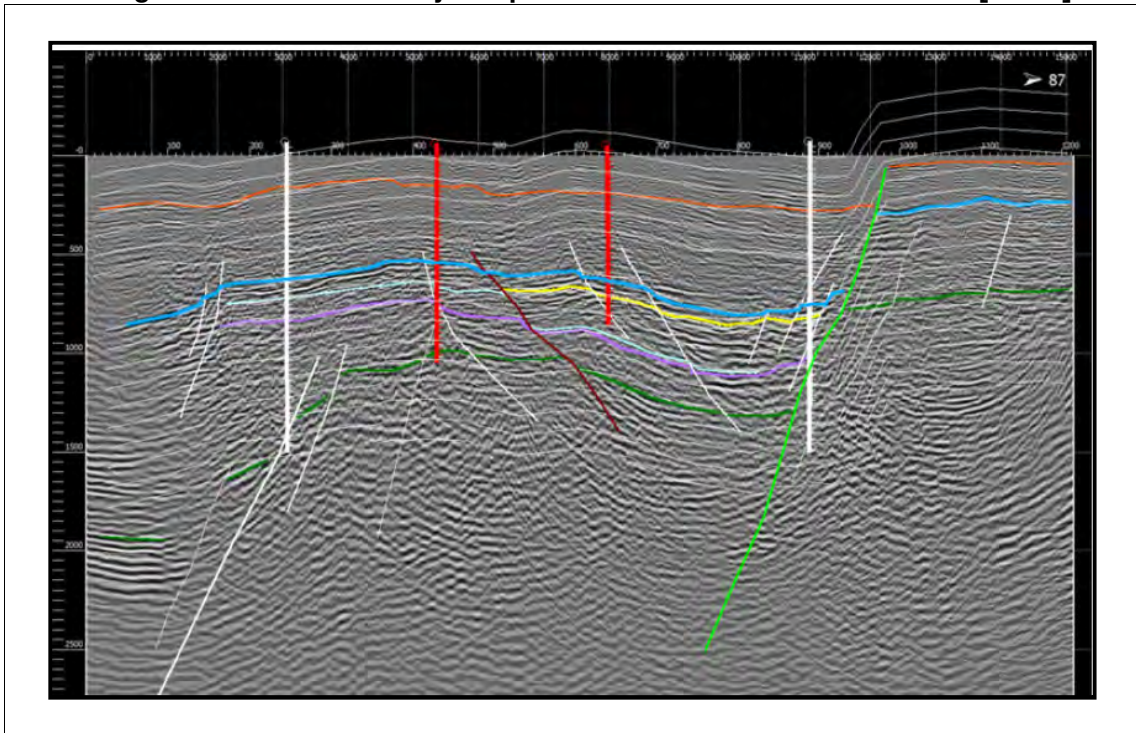
Risico voor schade aan bebuizing

Het risico van schade aan de bebuizing door (geïnduceerde) aardbevingen is besproken in B.4.7. Hierin wordt als voorbeeld genomen de schade die was opgetreden in het Preese Hall boorgat (nabij Blackpool) van Cuadrilla. Tijdens de aardbevingen in Blackpool, Engeland in 2011, zijn volgens [ref. 2.] en [ref. 3.] door Cuadrilla geen problemen gevonden in de integriteit van het bovenste deel van het boorgat, maar was er wel vervorming geconstateerd in het onderste deel van de productiezone. Natuurlijke aardbevingen kunnen net als geïnduceerde aardbevingen theoretisch ook leiden tot schade aan bebuizing. Er zijn echter geen voorbeelden (bronnen) gevonden die beschrijven dat natuurlijke aardbevingen hebben geleid tot ernstige boorgatintegriteit- of stabiliteitsproblemen.

Risico voor schade aan cementafsluiting

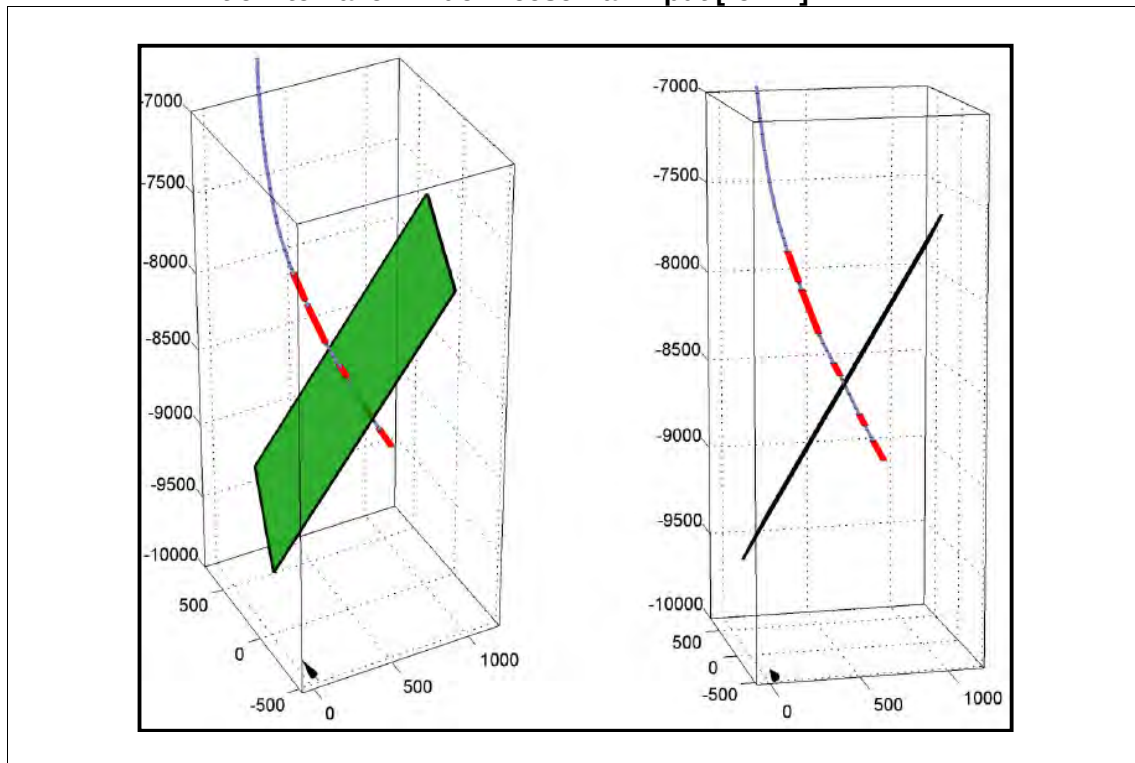
De afsluitende eigenschappen van het cement kunnen worden aangetast door vervormingen van de bebuizing en de boorgatwand. Volgens [ref. 1.] is er echter vrijwel geen kennis of gegevens beschikbaar wat het effect is van seismische belasting op de permeabiliteit (doorlatendheid) van het cement in de annulaire ruimte tussen bebuizing en boorgatwand. Sinds [ref. 1.] zijn er ook geen recentere bronnen gevonden met aanvullende kennis of gegevens over dit onderwerp.

Afbeelding 2.1. 2D seismische lijn en put locaties in het Bowland Bassin [ref. 1.]



Deze seismische lijn laat de Woodfold breukzone in het Oosten (rechterkant) zien (in groen). Deze breukzone heeft een oriëntatie van ongeveer 60 graden naar het Westen en doorsnijdt de Preese Hall 1 put.

Afbeelding 2.2. Illustratie van de aangenomen breuklijn en de locatie van de perforatie intervallen in de Preese Hall 1 put [ref. 1.]



2.2. Subvraag 2: Voorkomen van risico's van aardbevingen op gaswinning

Welke maatregelen moeten worden genomen om mogelijke negatieve gevolgen te voorkomen?

De maatregelen die hier aan de orde komen, zijn gericht op het mitigeren van de gevolgen van aardbevingen op de integriteit van een boorgat zoals besproken in de beantwoording van subvraag 1 (paragraaf 2.1).

Omdat er tot nu toe weinig bekend is over de effecten van aardbevingen op de boorgatin-tegriteit is het ook niet goed mogelijk maatregelen voor te schrijven om het risico op schade te voorkomen. Er zijn wel drie manieren waarop de risico's op lekkage geminimaliseerd kunnen worden:

1. door het correct volgen van de richtlijnen voor het uitvoeren van de verbuizing en cementatie en het controleren van de kwaliteit van de installatie (zoals gespecificeerd in [ref. 5.] tot [ref. 9.], [ref. 10.] en [ref. 11.]) kan in ieder geval schade door slecht uitgevoerde installatie en controle worden geminimaliseerd;
2. door het monitoren van boorgatgegevens kunnen afwijkingen na het optreden van een aardbeving geconstateerd worden. Dit kan vervolgens aanleiding geven tot aanvullende controle, zie volgend onderdeel;
3. door het achteraf doormeten van het boorgat ('well logging') kan op mogelijke lekkages en vervormingen gecontroleerd worden. Mochten er lekkages geconstateerd worden kunnen herstelmaatregelen worden voorgesteld.

De technieken voor boren, monitoren en doormeten van boorputten zijn inmiddels zo ver ontwikkeld dat het mogelijk is stabiele boorputten te maken door actieve breukzones zoals de San Andreas breukzone in de VS. [ref. 12.]. Deze boorput was overigens niet voor olie-

of gaswinning, maar voor het bestuderen van de seismische activiteit van de San Andreas breukzone.

2.3. Subvraag 3: Risico van het aanboren van een natuurlijke breuk

Ga na wat het risico is van het aanboren van een natuurlijke breuk, of anderszins in verbinding brengen van boorgaten met natuurlijk breuken? Bijvoorbeeld door frac-activiteiten.

Het aanboren van een natuurlijke breuk¹ of het in verbinding brengen van boorgaten met een natuurlijke breuk levert niet direct gevaar op. Natuurlijke breuken zitten in vrijwel elk type gesteente en zijn meestal zeer frequent. Alleen de zogenaamde 'actieve breuken'² hebben in een recent geologisch verleden verschuiving ondergaan en zijn daarom ook het meest gevoelig voor toekomstige verschuivingen. In afbeelding 2.3 en afbeelding 2.4 zijn de twee belangrijke actieve breuken (de Peelbreuk en de Feldbissbreuk) uit het Nederlandse deel van het Rijn Graben systeem geschematiseerd. Het aanboren van actieve breuken levert echter ook niet direct gevaar op tenzij er in of nabij deze actieve breuken onder hoge druk vloeistoffen worden geïnjecteerd, bijvoorbeeld door fraccen of injectie van productiewater. De gevaren hierbij zijn tweeledig:

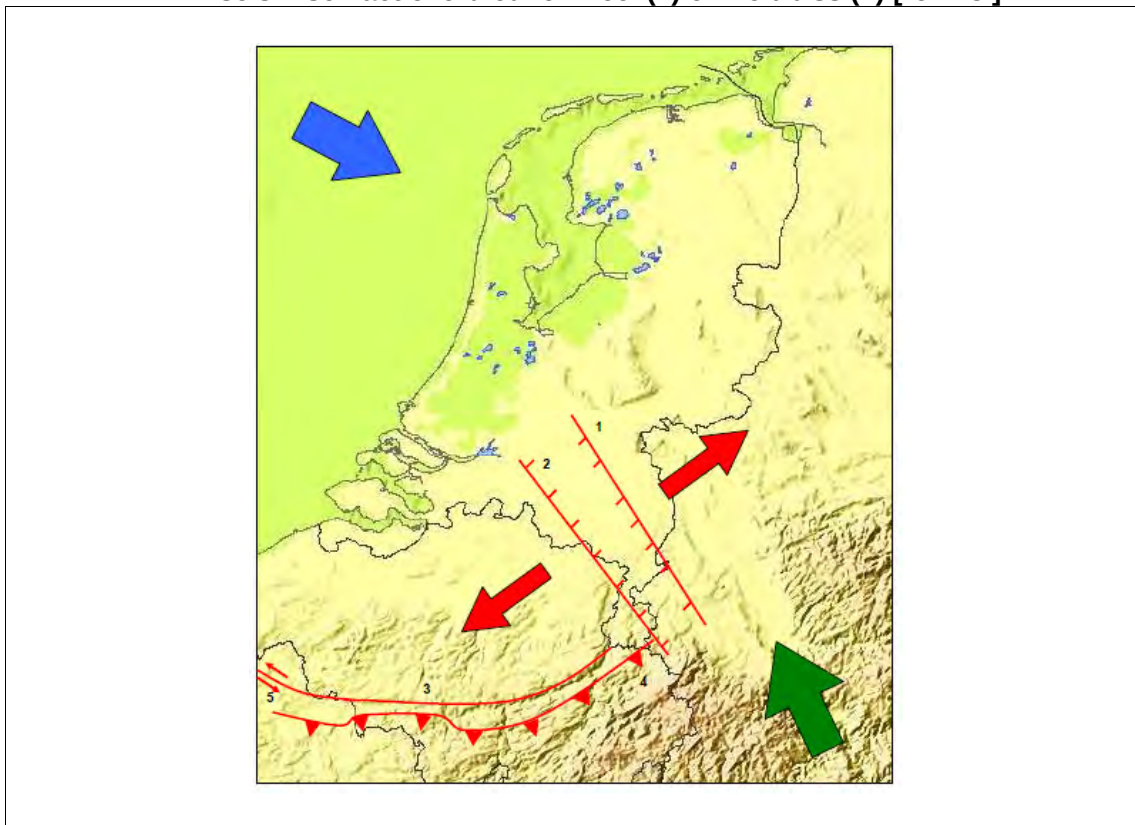
1. beweging langs de breuk kan geïnduceerd worden. Dit hoeft niet direct te leiden tot een voelbare aardbeving, maar door de beweging kan de boorgat stabiliteit en -integriteit verminderen en mogelijk leiden tot lekkage. Dit is al besproken in subvraag 1, paragraaf 2.1;
2. een aardbeving kan geïnduceerd worden. Of dit gebeurt hangt af van veel verschillende factoren. Op basis van de grote hoeveelheid fracjobs en het relatief kleine aantal gerelateerde aardbevingen is de kans van optreden klein. Dit is besproken in vraag B.4.7.

In de maatschappelijke discussie in Nederland en daarbuiten is het induceren van aardbevingen duidelijk aangemerkt als een gevaar. In de volgende paragraaf 2.4 wordt verder ingegaan op de maatregelen die de risico's van geïnduceerde aardbevingen kunnen reduceren.

¹ Een breuk is een discontinuïteitsvlak of -zone in gesteente waarlangs beweging heeft plaatsgevonden.

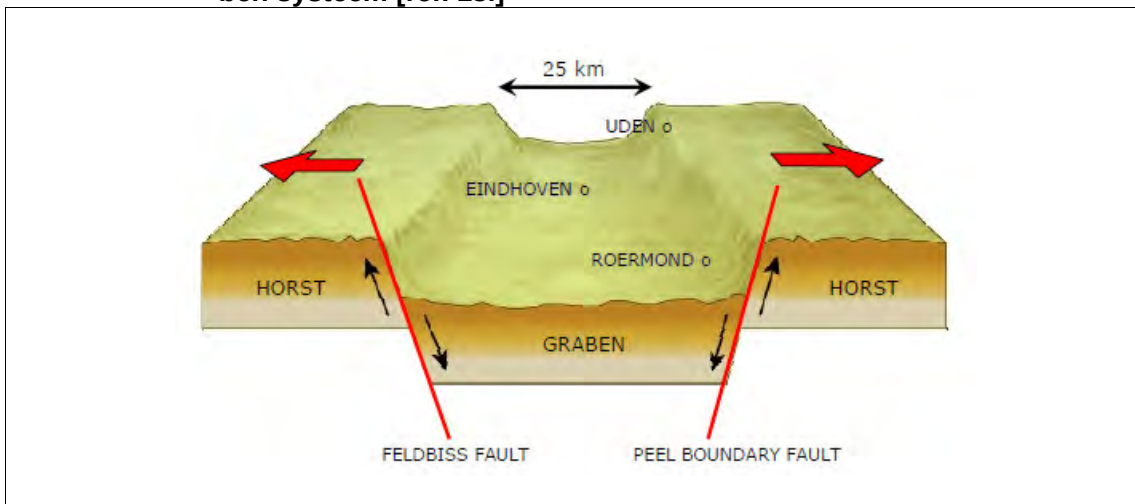
² Een actieve breuk is een breuk waarlangs in recent geologische verleden beweging heeft plaatsgevonden. Wat 'recent' in dit geval betekent hangt af van het tektonische regime en de gehanteerde definitie. Hierin zit veel variatie en is niet eenduidig vast te leggen. Veelal wordt met 'recent' verschuiving binnen het Holocene of Kwartair bedoeld. Dit blijkt in de praktijk vaak vrij lastig om aan te tonen. Als echter aangetoond kan worden dat de beweging van de breuk tot in de recentere (Holocene of Kwartaire) sedimenten is doorgezet, dan kan men er vrij zeker zijn dat het een actieve breuk is.

Afbeelding 2.3. Schematische representatie van het Rijn Graben systeem met de seismisch actieve breuken Peel (1) en Feldbiss (2) [ref. 13.]



De belangrijkste spanningscomponenten zijn met pijlen aangegeven: in blauw en groen: compressie en in rood: extensie. Deze afbeelding is sterk geschematiseerd en laat niet alle overige (actieve) breuklijnen zien.

Afbeelding 2.4. Doorsnede door de Roer vallei, onderdeel van het grotere Rijn graben systeem [ref. 13.]



2.4. Subvraag 4: Maatregelen om risico's van boren in een breuk te reduceren

Welke maatregelen zijn mogelijk om de risico's van boren in een natuurlijke breuk te reduceren? Bijvoorbeeld welke afstand tot breuklijn moet in acht worden genomen?

De kans op reactivatie van een (actieve) breuk en mogelijke seismische activiteit is over het algemeen klein en de potentiële schade dus ook. Echter, de wetenschap dat er een kans bestaat op geïnduceerde aardbevingen, hoe klein die kans ook is, is genoeg om te zorgen voor bezorgdheid. Volgens [ref. 14.] is het dan ook aan te bevelen om in een seismisch gevoelig gebied waarbij vloeistofinjecties in de diepe ondergrond plaats gaan vinden het volgende te doen:

- voorafgaand aan een project locatie-specifiek onderzoek uit te voeren;
- tijdens de uitvoering aandacht te besteden aan monitoring en mitigatie van de effecten van mogelijke seismische activiteit.

Voor het inschatten en mitigeren van de risico's van geïnduceerde aardbevingen zijn verschillende zaken van belang. In de Verenigde Staten zijn stappen voorgesteld [ref. 14.] om een 'best practices protocol' te ontwikkelen voor het omgaan met geïnduceerde seismiciteit. In paragraaf 2.4.1 tot 2.4.6 staan de belangrijkste aandachtspunten in relatie tot preventie en mitigatie van geïnduceerde seismiciteit in seismisch gevoelig gebied.

2.4.1. Bepalen van het seismisch gevaar vooraf

In [ref. 14.] wordt aanbevolen om het gevaar op optreden van geïnduceerde seismiciteit voorafgaand aan de uitvoering te beschouwen. Deze beschouwing bestaat volgens [ref. 15.] en [ref. 2.] uit de volgende onderdelen:

1. bepaling van de **tektonische spanningen**: een schatting hiervan op basis van regionale of oppervlakte metingen kunnen fungeren als een 'early warning' voor potentiële aardbevingen en onvoorziene lage 'breakdown pressure'¹;
2. karteren van **(actieve) breuken**: De aanwezigheid van breuken binnen de invloedsfeer van een injectiebron bepaalt voor een belangrijk deel de potentie van geïnduceerde aardbevingen. Het vermijden van deze breuken verlaagt dit gevaar. Geofysisch onderzoek (zie ook afbeelding 2.1) helpt bij het identificeren van (actieve) breuken;
3. **regionale seismiciteit**: de bepaling hiervan wordt gedaan door middel van seismische monitoring voor het vaststellen van achtergrond (micro)seismiciteit in het desbetreffende gebied. Dit geeft zicht op het tektonische spanningsregime in combinatie met de aanwezigheid van actieve breuken (zie ook paragraaf 2.4.6);
4. gebruik van geschikte **aardbevings attenuatie modellen** voor het beperken van de potentiële impact van geïnduceerde seismiciteit;
5. identificeren van **kwetsbare objecten** (woonkernen, trillingsgevoelige bebouwing, apparatuur en infrastructuur) in het gebied, die mogelijk kunnen worden beschadigd.

Verder zijn door [ref. 16.] twee checklisten opgesteld voor het (kwalitatief) beoordelen van de kans of een aardbevingen geïnduceerd zouden kunnen worden (zie bijlage III). Als op basis van de verschillende analyses geconcludeerd kan worden dat de kans op geïnduceerde aardbevingen hoog is, kan een mitigerende maatregel zijn om de geïdentificeerde actieve breuken te vermijden. Dit is verder uitgelegd in de volgende paragraaf 2.4.2.

¹ De druk waarbij de gesteentematrix en het gesteente kan worden geïnjecteerd.

2.4.2. Mitigeren van het gevaar vooraf: vermijden van breuken

Bij de evaluatie van de kans op een getriggerde of geïnduceerde seismiciteit zoals voorgesteld door [ref. 16.] wordt seismiciteit op twee schalen bekeken:

1. op grote regionale schaal ($M \geq 5,5$, binnen enkele honderden km's): hierbij worden alleen de bekende actieve breuken beschouwd;
2. In de directe omgeving van het veld (< 20 km): hierbij worden alle breuken beschouwd, zowel actief als niet-actief.

De gerapporteerde geïnduceerde aardbevingen door schaliegaswinning worden allemaal waargenomen op afstanden kleiner dan 6 km van de boring (zie B.4.7 en afbeelding 2.5). Op basis van de ervaring van deze projecten zou daarom als conservatieve waarde een minimum afstand van 6 km kunnen worden gehanteerd van bekende (actieve) breuken of breukzones om geïnduceerde seismiciteit te vermijden. Het blijft echter belangrijk om ook de locatie-specifieke omstandigheden te beschouwen en op basis van bijvoorbeeld seismische lijnen (zoals in afbeelding 2.1) of andere lokale geologische informatie (bijvoorbeeld bestaande boringen) te bepalen of er mogelijk nog andere lokale (actieve) breuken te identificeren zijn. Daarnaast is het nog aan te bevelen om via micro seismische monitoring mogelijke breukbewegingen te herkennen en daarmee ook breuken te identificeren (zie ook paragraaf 2.4.6).

Er zijn geen betrouwbare methoden om te bepalen welke breuken zullen bewegen onder welke omstandigheden, op basis van bijvoorbeeld injectiedruk of volume [ref. 17.]. Wanneer gewerkt wordt in de nabijheid van breuken in seismisch actieve gebieden, identificeren operators normaal gesproken zoveel mogelijk de bestaande breuken. Vervolgens wordt het programma voor het hydraulisch fraccen aangepast om monitoring van seismiciteit te kunnen uitvoeren [ref. 17.].

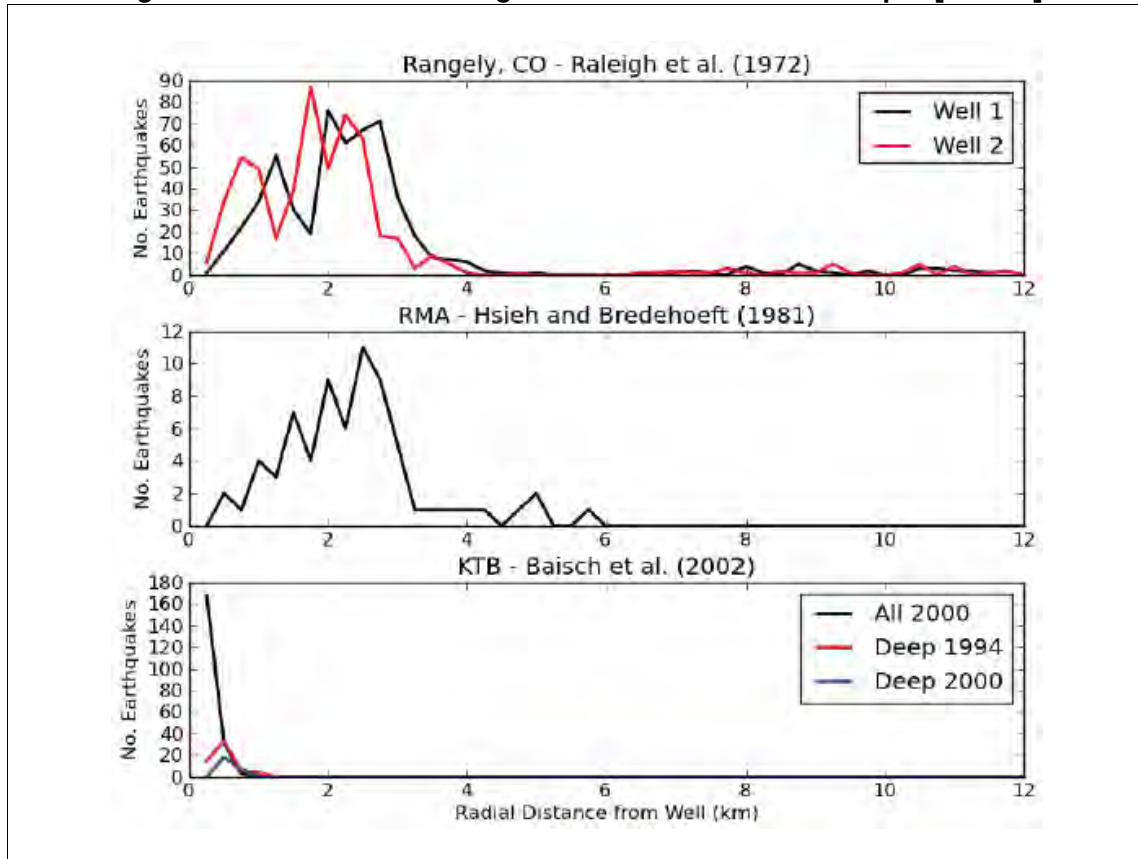
Er zijn verder op dit gebied ook geen technische specificaties voor tektonische seismiciteit gegeven. [ref. 18.] geeft een richtlijn voor het vermijden van actieve breuken, maar zonder een afstand te specificeren. De letterlijke tekst is gegeven in de tekstbox hieronder.

'4.1.2 Proximity to seismically active faults

(1)P Buildings of importance classes II, III, IV defined in EN 1998-1:2004, 4.2.5, shall not be erected in the immediate vicinity of tectonic faults recognised as being seismically active in official documents issued by competent national authorities.

(3)P Special geological investigations shall be carried out for urban planning purposes and for important structures to be erected near potentially active faults in areas of high seismicity, in order to determine the ensuing hazard in terms of ground rupture and the severity of ground shaking.'

Afbeelding 2.5. Het aantal aardbevingen versus de afstand tot de put [ref. 19.]



2.4.3. Bepalen en mitigeren van het seismische gevaar tijdens uitvoering

Voor het bepalen van seismische gevaar tijdens de uitvoering van een fracjob zijn verschillende methoden voorgesteld, die allen uitgaan van het 'stoplicht systeem'. Het 'stoplicht systeem' komt op het volgende neer: wanneer de gemeten seismiciteit een (vooraf) bepaalde grenswaarde overschrijdt wordt voortijdig de uitvoering gestopt en/of wordt de reservoirdruk verlaagd door afsluiting of ontluchting van de bron [ref. 1.]. Deze grenswaarde moet worden afgeleid op basis van recente ervaringen, maar voor de implementatie van de grenswaarde is het belangrijk dat grondig onderzoek wordt gedaan naar de lokale seismische gevoeligheid.

Omdat exacte informatie over de ondergrondse spanningsvelden en mechanische eigenschappen van aanwezige gesteenten meestal beperkt is, is risicoreductie van geïnduceerde seismiciteit een complexe en uitdagende opgave [ref. 20.]. De door [ref. 14.] voorgestelde benadering om tot een 'best practices' protocol te komen en de hieraan gerelateerde monitoring tijdens uitvoering zijn hieronder beschreven in paragraaf 2.4.4 en 2.4.6.

2.4.4. Stoplicht systeem

Dit systeem staat een laag niveau van seismiciteit toe, maar vereist aanvullende monitoring en mitigerende maatregelen als de seismische activiteit leidt tot negatieve effecten op gezondheid en veiligheid van mensen [ref. 14.]. Voor de hydraulische activiteiten in de Bowland Shale in Engeland is een stoplicht systeem (afbeelding 2.6) voorgesteld [ref. 1.] op basis van ervaringen met geothermische projecten. Voorgesteld wordt om de uitvoering te

stoppen bij een seismische activiteit hoger dan M_L 1,7. Hierbij wordt uitgegaan van het voorkomen van een maximale acceptabele magnitude (M_{Lmax}) van 2,6¹ (tabel 2.1).

In [ref. 1.] wordt beschreven hoe de afsluit- en flowback² scenario's gemodelleerd en geoptimaliseerd zijn met als doel om minder geïnduceerde bevingen met kleinere maximale magnitudes te krijgen. Uit ervaring met andere projecten is gebleken dat flowback moet worden gestart bij M_L 1,7, omdat na injectie de aardbevingsmagnitude tijdens het afsluiten toeneemt. Een ander voorstel in Engeland voor een grenswaarde voor het stoppen van de uitvoering is voorgesteld door [ref. 2.], namelijk een waarde van M_L 0,5 uitgaande van een minimale kans op een 'voelbare' aardbeving³ (tabel 2.1).

Een belangrijke kanttekening bij deze benadering is dat bij real-time monitoring mogelijk vertraging optreedt tussen injectie, monitoring en uitvoering van een maatregel. Dit rechtvaardigt volgens [ref. 2.] om een lagere grenswaarde te hanteren voor het stoppen van de uitvoering (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Voorgestelde grenswaarden voor Magnitudes

land/case	M_L stoppen van uitvoering	M_{Lmax}	bron
Engeland, Bowland Shale	1,7	2,6	[ref. 1.]
	0,5	-	[ref. 2.]
Basel, Switzerland (EGS)	2,9 PGV>5 mm/s	n.b.	[ref. 21.]

Voor injecties bij geothermische velden wordt in een referentie [ref. 21.] een stoplicht systeem voorgesteld, zoals weergegeven in afbeelding 2.7. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een combinatie van magnitude (M_L) en maximale grondsnelheden (Peak Ground Velocities: PGV). Volgens [ref. 22.] is de overschrijding van een enkele grenswaarde waarschijnlijk onvoldoende om te bepalen of geïnduceerde grondbewegingen ('ground motions') acceptabel zijn. In overeenstemming hiermee is een ander voorstel voor een stoplicht systeem voor geothermische energieprojecten gedaan [ref. 14.]. Dit stoplicht systeem is samengevat in Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Stoplicht systeem voor hydraulisch fraccen [ref. 14.]

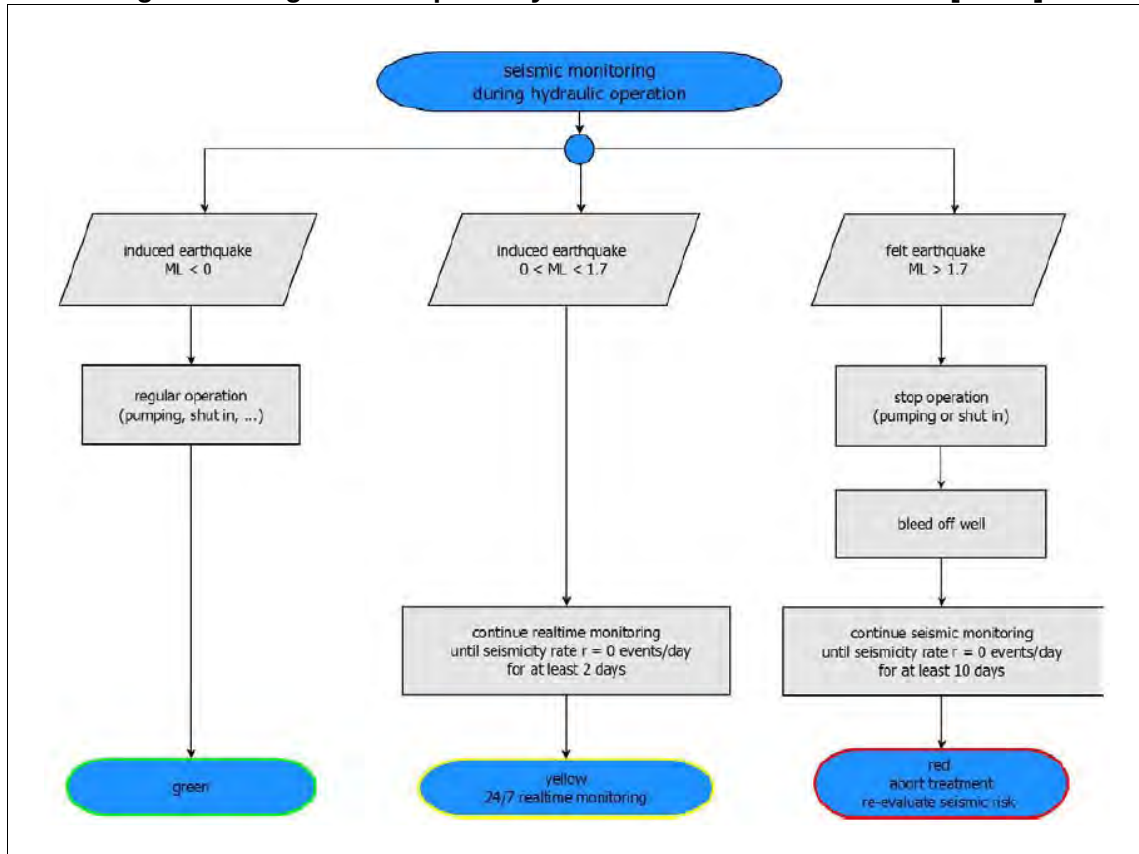
risico niveau	intensiteit (Mercalli)	piek versnelling (g)
groen	≤ IV ('laag')	< 3,9% g
oranje	V ('gemiddeld')	3,9% g to 9,2% g, herhaaldelijk gedurende 1 week
rood	≥ VI ('hoog')	> 9,2% g, uitvoering stoppen

¹ De definitie voor het maximaal acceptabele of kritische magnitude is beschreven in subvraag 3 van vraag B.4.7. Er zijn geen algemene normen voor deze waarde, alleen de Duitse richtlijn DIN 4150-3 specificeert M_{Lmax} 2,6; maar deze definitie en norm moet eerst worden geëvalueerd en bevestigd door het KNMI.

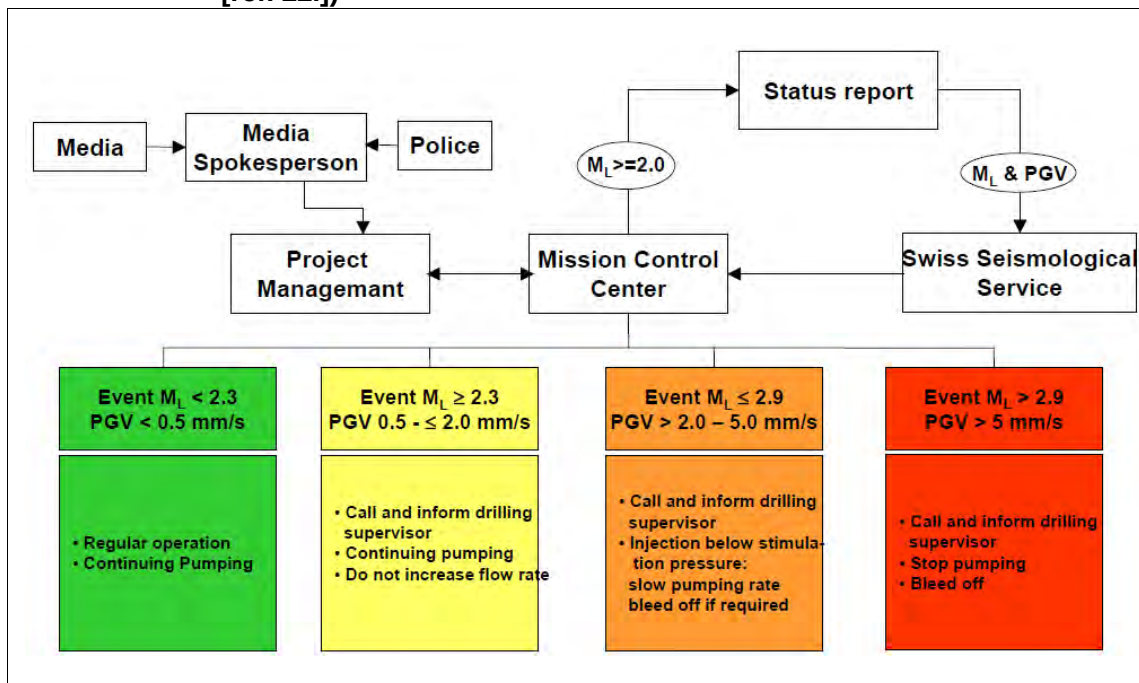
² Flowback treedt op nadat the hydraulisch fracking is afgerond. De bron is geopend en de geïnjecteerde hydraulische fracking water stroomt terug vanuit het reservoir in de bron [ref. 14.].

³ In Engeland worden te 'voelen' aardbevingen gespecificeerd als M_L 1,5 (subvraag 3 van vraag B.4.7).

Afbeelding 2.6. Voorgesteld stoplicht systeem voor de Bowland Shale [ref. 1.]



Afbeelding 2.7. Stoplicht systeem voor het geothermische veld Basel ([ref. 21.] en [ref. 22.]



2.4.5. Probabilistische methoden

De variatie in waargenomen seismiciteit kan ook worden gebruikt om een verwachting te maken van toekomstige seismiciteit met een probabilistische benadering zoals gebruikelijk is voor natuurlijk optredende aardbevingen [ref. 1.]. Deze methode gaat echter niet uit van een onderliggend fysisch model en gaf daarom geen juiste verwachting voor sommige van de aardbevingen die in Bazel waren gemeten [ref. 1.]. Volgens deze referentie is een dergelijke methode niet conservatief genoeg voor post-injectie seismiciteit, maar tegelijkertijd te conservatief voor het bepalen van de bovengrens van geïnduceerde seismiciteit tijdens injecties.

2.4.6. Monitoren

Het hiervoor genoemde stoplicht systeem is op basis van monitoring van seismische data. De gegevens die door de booroperator worden bijgehouden, zijn ook bruikbaar om tijdens het boor- en fraccen afwijkingen te detecteren. Afwijkingen zijn namelijk vaak een indicatie van (op handen zijnde) problemen. Vooral het vergelijken van de boorgegevens met de (micro) seismische gegeven zal inzicht geven in de mate waarin het fraccen resulteert in seismische activiteit.

Monitoren van boorgegevens

Volgens [ref. 15.] leveren in-situ spanningsmetingen, poriedrukken en de gebruikte injectiedrukken en -volumes bruikbare data om het om de frac-proces in relatie tot mogelijk geïnduceerde aardbevingen te controleren.

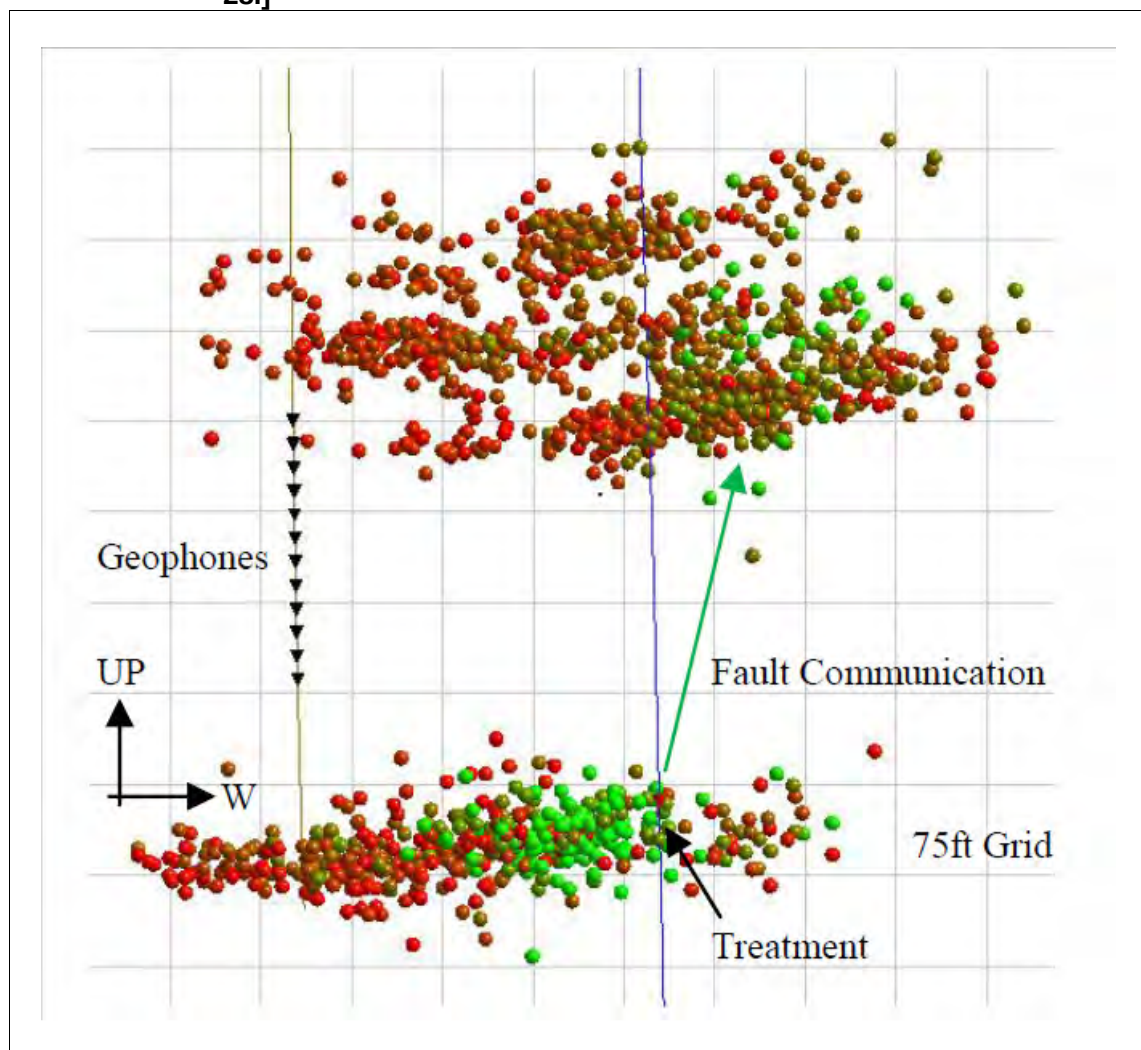
Microseismische monitoring

De apparatuur hiervoor bestaat uit gevoelige sensoren die meestal in boorgaten nabij de frac put zijn geïnstalleerd. Hiermee kunnen zeer kleine trillingen worden gedetecteerd die aan het oppervlakte niet zijn te meten. Deze techniek wordt normaal gesproken gebruikt om het gefrac-te gesteentevolume te controleren [ref. 23.]. Het kan ook worden gebruikt om beweging langs breukvlakken te monitoren (zie afbeelding 2.8) en breukvlakken te detecteren die niet te zien zijn in geofysische secties [ref. 24.]. Overigens zijn in de VS in 2009 slechts 3 % van de bijna 75.000 hydraulic fracturing stages seismologisch gemonitord [ref. 25.].

Continue seismische monitoring

Continue (real-time) metingen aan het oppervlak of in boorgaten in de omgeving van een frac put zijn belangrijk om het effect van mogelijke seismiciteit over een groter gebied te monitoren ([ref. 3.], [ref. 17.] en [ref. 29.]). De detectiegrens is hierbij van belang: magnitudes moeten gemeten kunnen worden tot M_L 0,0. Op basis van ervaring uit de geothermische industrie [ref. 2.] wordt een netwerk met vijf tot acht stations aanbevolen op rustige locaties aan het oppervlak of in boorgaten. Overige aanbevelingen voor seismische monitoring (bijvoorbeeld meetnauwkeurigheid, netwerk, data integratie, transparantie) kunnen worden gevonden in [ref. 26.] en [ref. 27.].

Afbeelding 2.8. Microseismische data van een frac job in tight-gas zandsteen [ref. 28.]



Dit is een 3D beeld van de microseismische monitoring data die door de apparatuur ('Geophones') zijn opgemeten. In totaal 1.408 micro-aardbevingen waren gemeten gedurende vijf uur. Alle aardbevingen zijn gekleurd naar tijd: in groen de eerste en in rood de laatste gemeten trillingen. Het is te zien dat de gemeten trillingen door de fracs ('Treatment') plotseling naar boven springen ('Fault communication'), waarschijnlijk naar een breuk die aan het bewegen is gegaan (naar: [ref. 28.]).

3. CONCLUSIES

3.1. Subvraag 1: Risico van aardbevingen op gaswinning

Geef inzicht in het risico op van nature optredende aardbevingen op gaswinning.

Deze vraag is gezien de context van dit onderzoek als volgt opnieuw en specifieker geformuleerd:

Wat is het risico van aardbevingen op de integriteit van een boorgat met betrekking tot de bebuizing en de boorgat cementatie?

Aardbevingen, zowel natuurlijke als geïnduceerde, kunnen resulteren in vervormingen in de ondergrond. Deze vervormingen kunnen leiden tot schade aan bebuizing en aan cementatie in de annulaire ruimte van een gasput. Dit zou vervolgens kunnen resulteren in lekkage naar het omringende gesteente. De grootste vervormingen zijn te verwachten door het verschuiven van breukvlakken. Minder grote vervorming zijn te verwachten door de langskommende aardbevingsgolf. Het risico op schade en lekkage wordt klein geacht.

3.2. Subvraag 2: Voorkomen van risico's van aardbevingen op gaswinning

Welke maatregelen moeten worden genomen om mogelijke negatieve gevolgen te voorkomen?

Omdat er weinig bekend is over de effecten van aardbevingen op de boorgatstabiliteit is het niet mogelijk om maatregelen voor te schrijven om risico's te voorkomen. De volgende maatregelen kunnen wel genomen worden om het risico op lekkage te minimaliseren:

1. door het correct volgen van de richtlijnen voor het maken en afwerken van een boorgat;
2. door het monitoren van boorgatgegevens;
3. door het achteraf doormeten van een boorgat.

3.3. Subvraag 3: Risico van het aanboren van een natuurlijke breuk

Ga na wat het risico is van het aanboren van een natuurlijke breuk, of anderszins in verbinding brengen van boorgaten met natuurlijk breuken? Bijvoorbeeld door fractiviteiten.

Het aanboren van een natuurlijke breuk zelf levert niet direct een risico op. Alleen het injecteren van vloeistoffen onder hoge druk in de buurt van de breuk kan leiden tot het verschuiven van de breuk en daarmee kan het een aardbeving induceren. Hierbij zijn actieve breuken gevoeliger omdat deze in een recent geologisch verleden al eerder verschoven zijn.

3.4. Subvraag 4: Maatregelen om risico's van boren in een breuk te reduceren

Welke maatregelen zijn mogelijk om de risico's van boren in een natuurlijke breuk te reduceren? Bijvoorbeeld welke afstand tot de breuklijn moet in acht worden genomen?

Hoewel de kans op geïnduceerde aardbevingen klein is, kan de wetenschap dat aardbevingen kunnen optreden leiden tot bezorgdheid. Het is daarom aan te bevelen om voorafgaand aan het fraccen een locatie-specifiek onderzoek uit te voeren en tijdens het fraccen een monitoringsprogramma uit te voeren. Het locatie-specifieke onderzoek kan bestaan uit het karteren van de breuken in het gebied. Breuken waarvan men vermoedt dat deze actief zijn of mogelijk gevoelig voor beweging, kunnen vermeden worden tijdens de boring of men

kan voldoende afstand houden tot deze breuken. Tijdens het boren en fraccen is het aan te bevelen om de seismiciteit te monitoren en zodra de seismiciteit een bepaalde waarde overschrijdt het frac-programma stop te zetten of aan te passen. Dit wordt het stoplicht systeem genoemd.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Adisoma, G. S. Dynamic Loading Impact on Cement Borehole Seals. In Sealing of Boreholes and Underground Excavations in Rock; Fuenkajorn, K.; Daelen, J. J. K., Eds.; Springer Netherlands, 1996; pp. 40-64.
- [ref. 2.] Green, C.A., Styles, P., Baptie, B.J. 2012. Preese Hall shale gas fracturing, Review & recommendations for induced seismic mitigation. Technical Report, G-Frac Technologies, Keele University, British Geological Survey, April 2012, 26 pp.
- [ref. 3.] De Pater, C.J., Baisch, S. 2011. Geomechanical study of Bowland Shale seismicity. Synthesis Report for Cuadrilla Ltd., 57 pp.
- [ref. 4.] Baisch, S., Vörös, R. 2011. Geomechanical study of Blackpool seismicity. Technical Report for Cuadrilla Ltd. CUA001, version 8, 58 pp.
- [ref. 5.] API 51R - Environmental Protection for Onshore Oil and Gas Production Operation and Leases. July 2005.
- [ref. 6.] API 65 - Isolating Potential Flow Zones During Well Construction (Dec 2010).
- [ref. 7.] API HF1 - Hydraulic Fracturing Operations - Well Construction and Integrity Guidelines (Oct. 2009).
- [ref. 8.] API HF2 - Water Management Associated with Hydraulic Fracturing (June 2010).
- [ref. 9.] API HF3 - Practices for Mitigation Surface Impacts Associated with Hydraulic Fracturing (Jan. 2010).
- [ref. 10.] Oil and Gas UK (UKOAA) Guidelines. Website: <http://www.oilandgasuk.co.uk/>.
- [ref. 11.] NOGPA, 2011. Industry Guideline 41. Well Construction Process Checklist. Drilling Best Practices.
- [ref. 12.] Paul, P.; Zoback, M. 2006. Wellbore Stability Study for the SAFOD Borehole Through the San Andreas Fault. In Proceedings of SPE Annual Technical Conference and Exhibition; Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [ref. 13.] De Vos, D. 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for the southern part of The Netherlands. M.Sc. Research Thesis, Utrecht University, 58 pp.
- [ref. 14.] NAS 2012. Induced seismicity potential in Energy Technologies. Washington, D.C., The National Academy of Sciences, Prepublication version, 225 pp.
- [ref. 15.] Nicholson, C., Wesson, R.L. 1990. Earthquake hazard associated with deep well injection - A report to the U.S. Environmental Protection Agency. Denver-Cororado, U.S. Geological Survey Bulletin 1951, 74 pp.
- [ref. 16.] Davis, S.D., Frohlich, C. 1993. Did (or will) fluid injection cause earthquakes? - Criteria for a rational assessment. Seismological Research Letters, 64(3-4): 207-224.
- [ref. 17.] BC Oil & Gas Commission, 2012. Investigation of observed seismicity in the Horn River Basin. Technical Report, August 2012, 29 pp. website: <http://www.bcogc.ca/>.
- [ref. 18.] Eurocode 8 2005. Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- [ref. 19.] Holland, A. 2011. Examination of possibly induced seismicity from hudraulic fracturing in the Eola Field, Garvin County, Oklahoma. Oklahoma Geological Survey Open-File Report OF1-2011, 28 pp. Website: www.ogs.ou.edu/pubsscanned/openfile/OF1_2011.pdf.
- [ref. 20.] SHIP, 2013. Shale gas information platfrom. GFZ, Helmholtz Centre Potsdam, website: <http://www.shale-gas-information-platform.org/>.
- [ref. 21.] Deichmann, N., Evans, K. 2010. Injection-induced seismicity: lessons learned and open questions. Luxemburg, ECGS-FKPE Workshop 'Induced Seismicity', <http://www.ecgs.lu/ecgs-fkpe-workshop-induced-seismicity/>.

- [ref. 22.] Bommer, J.J., Oates, S., Cepeda, J.M., Lindholm, C., Bird, J., Torres, R., Marroquín, G., Rivas, J. 2006. Control of hazard due to seismicity induced by a hot fractured rock geothermal project. *Engineering Geology*, 83: 287-306.
- [ref. 23.] Rutledge, J.T., Phillips, W.S., Mayerhofer, M.J. 2004. Faulting induced by forced fluid injection and fluid flow forced by faulting: An interpretation of hydraulic-fracture microseismicity, Carthage Cotton Valley gas field, Texas. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(5): 1817-1830.
- [ref. 24.] Wessels, S.A., De la Pena, A., Kratz, M., Williams-Stroud, S., Jbeili, T. 2011. Identifying faults and fractures in unconventional reservoirs through microseismic monitoring. *First Break*, 29(7): 99-104.
- [ref. 25.] Zoback, M., Kitasei, S., Copithorne, B. 2010. Addressing the environmental risks from shale gas development. Briefing Paper 1, Worldwatch Insitutute, 18 pp.
- [ref. 26.] Ritter, J. 2012. FKPE Recommendaitons on seismic monitoring of induced seismicity. Karlsruhe, Germany, AGIS Workshop 2012 Induced seismicity with special focus on Geothermal and Shale Gas reservoirs, <http://www.geophys.uni-stuttgart.de/agis/agis-workshop>.
- [ref. 27.] Kraft, T. 2012. Optimizing seismic monitoring networks for EGS and conventional geothermal system. Karlsruhe, Germany, AGIS Workshop 2012 Induced seismicity with special focus on Geothermal and Shale Gas reservoirs, <http://www.geophys.uni-stuttgart.de/agis/agis-workshop>.
- [ref. 28.] Pettitt W., J. Reyes-Montes, B. Hemmings, E. Hughes and R. P. Young. 2009. Using continuous microseismic records for hydrofracture diagnostics and mechanics: SEG, Expanded Abstracts, 28, 1542-1546.
- [ref. 29.] Mena, B., Wiermer, S., Bachmann, C. 2013. Building robust models to forecast the induced seismicity related to geothermal reservoir enhancement. *Bulletin of the Seismological Society of Americ*, 103(1): 383-393.

**BIJLAGE I PROTOCOL VOOR BEPALEN VAN GEÏNDUCEERDE SEISMICITEIT IN
EGS [REF. 14.]**

Table 6.3 Primary Elements of a Protocol for Addressing Induced Seismicity in EGS technologies Adapted as a Series of Parallel Activities Extending over the Lifetime of the Operation.

Initial Screening to determine the feasibility of the EGS project	Assess the local hazard potential from natural seismicity, the local, state and federal regulations, the nearness of the project to population centers, the probable magnitude of induced events and the probable risks of potential damage from both natural and induced events. If the proposed EGS project appears to be feasible based on this initial screening assessment, then the Essential Activities of the EGS project as listed below are recommended to proceed in the manner described within each of the five sequential stages of project development as identified herein.				
Category of Essential Activities	PREPARATION STAGE	DRILLING STAGE	STIMULATION STAGE	OPERATIONS STAGE	COMPLETION STAGE
Public & Regulatory Communications	Identify the local people and organizations to be met with. Hold an initial public meeting, explain the planned project, identify their concerns	Meet with and inform the public, regulators and media as to the drilling schedule. Upon completion meet and explain the drilling results	Meet with and inform the public, regulators and media as to the stimulation schedule & results	Meet with and inform the public, regulators and media as to the operations schedule & results	Meet with and inform the public, regulators and media as to the project completion
Criteria for Ground Vibration and Noise	Install ground motion and noise monitoring instrumentations	Report to the public, regulators and media the monitoring results	Report to the public, regulators and media the monitoring results	Report to the public, regulators and media the monitoring results	Report to the public, regulators and media the monitoring results
Seismic Monitoring	Determine areal size and sensitivity needed for local array. Install and operate the seismic	Continue to monitor the seismicity recorded and publically report	Add and/or reposition array's seismometers as needed to follow and characterize	Add and/or reposition array's seismometers as needed to follow and characterize	Continue to record and report on the induced seismicity as long as needed to describe the

	recording array and allow timely public access to results	the results	the induced events	the induced events	local conditions
Hazard Assessment	Evaluate the potential additional hazard to be expected from the locally induced seismicity	Review and reassess the potential for damage based on local observations	Review and reassess the potential for damage based on local observations	Review and reassess the potential for damage based on local observations	Report to the public, regulators and media on any actual hazards observed
Risk Assessment	Develop a probabilistic risk analysis to estimate the probability of risk (monetary loss) to be expected	Revise the Risk Assessment as appropriate, based on any physical damage, nuisance and/or economic losses attributed to the project operations			Report to the public, regulators and media on the actual results experienced
Direct Mitigation Plans	Develop a plan to control the level and impact of locally induced seismicity	If needed, implement the control system to cause the drilling, stimulation or continuing operations to be temporarily reduced or suspended until the level of the locally induced seismicity has been returned to an acceptable level, as determined by the regulatory agencies			Report to the public, regulators and media on the actual results experienced
Indirect Mitigation Plans	Provide local jobs, support local community facilities, provide compensation if appropriate. Continue indirect mitigation activities as long as needed.				

**BIJLAGE II GEVAAR EN RISICO ANALYSE STAPPEN VOOR EEN NIEUWE SITE
[REF. 14.]**

Step (see corresponding Box in Figure 5.1)	A. Probability needed	B. Method	C. Technology Dependent?	D. Region Dependent?	E. Depth Dependent?
1	1A. P[generate $M \geq 2$ EQs]	1B. Statistical	1C. Yes, depends on factors such as volume, pressure, rate, and depth	1D. Yes, tectonically active versus stable region	1E. Yes, large earthquakes usually not induced near surface
2	2A. P[shaking felt at surface]	2B. Analytical/ Statistical	2C. Yes, depends on magnitude distribution and maximum magnitude	2D. Yes, depends on earthquake properties	2E. Yes, deeper induced earthquakes may not be felt
3	3A. P[strength of shaking]	3B. Analytical	3C. Yes, depends on maximum magnitude	3D. Yes, depends on earthquake properties	3E. Yes, shallow earthquakes will generate stronger shaking
4	4A. P[structures and people affected]	4B. Analytical	4C. No	4D. Yes, depends on structural strength and tolerance for shaking	4E. Yes, deeper earthquakes, if felt at the surface, may affect a larger area

NOTE: Gray shaded cells indicate methods that have to be developed to estimate probabilities ("P") for various aspects of an induced seismic event shown in the green-shaded cells. These four aspects include the probability of generating an earthquake of $M > 2.0$, the probability of shaking being felt at the surface, the probability of different strengths of shaking from an earthquake, and the probability that the earthquake shaking will affect structures and people.

BIJLAGE III CHECKLIST VOOR EEN KWALITATIEVE RISICO ANALYSE [REF. 16.]

Question		NO APPARENT RISK	CLEAR RISK	Texas City, Texas	Tracy, Quebec	Denver RMA, Colorado
	<i>Background Seismicity</i>					
1a	Are large earthquakes ($M \geq 5.5$) known in the region (within several hundred km)?	NO	YES	NO	YES	YES
1b	Are earthquakes known near the injection site (within 20 km)	NO	YES	NO	YES	NO?
1c	Is rate of activity near the injection site (within 20 km) high?	NO	YES	NO	NO	NO
	<i>Local Geology</i>					
2a	Are faults mapped within 20 km of the site?	NO	YES	YES	YES	NO?
2b	If so, are these faults known to be active?	NO	YES	NO	NO	NO
2c	Is the site near (within several hundred km of) tectonically active features?	NO	YES	NO?	YES	YES
	<i>State of Stress</i>					
3	Do stress measurements in the region suggest rock is close to failure?	NO	YES	NO	NO?	YES ^a
	<i>Injection Practices</i>					
4a	Are (proposed) injection practices sufficient for failure?	NO	YES	NO?	YES	YES ^a
4b	If injection has been ongoing at the site, is injection correlated with the occurrence of earthquakes?	NO	YES	NO	N.A.	N.A.
4c	Are nearby injection wells associated with earthquakes?	NO	YES	NO	N.A.	N.A.
	TOTAL "YES" ANSWERS	0	10	1	5	4

^a Assumes stress measurements completed prior to survey

NOTE: RMA = Rocky Mountain Arsenal

Question		Earthquakes Clearly NOT Induced	Earthquakes Clearly Induced	I Denver, Colorado	II Painesville, Ohio
	<i>Background Seismicity</i>				
1	Are these events the first known earthquakes of this character in the region?	NO	YES	YES	NO
	<i>Temporal Correlation</i>				
2	Is there a clear correlation between injection and seismicity?	NO	YES	YES	NO
	<i>Spatial Correlation</i>				
3a	Are epicenters near wells (within 5 km)?	NO	YES	YES	YES?
3b	Do some earthquakes occur at or near injection depths?	NO	YES	YES	YES?
3c	If not, are there known geologic structures that may channel flow to sites of earthquakes?	NO	YES	NO?	NO?
	<i>Injection Practices</i>				
4a	Are changes in fluid pressure at well bottoms sufficient to encourage seismicity?	NO	YES	YES	YES
4b	Are changes in fluid pressure at hypocentral locations sufficient to encourage seismicity?	NO	YES	YES?	NO?
	TOTAL "YES" ANSWERS	0	7	6	3



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.10
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/223
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Inleiding	3
2.2. Factoren die van invloed zijn op de site response	3
2.3. Site-response bodemtypen in Nederland	5
3. CONCLUSIES	9
4. REFERENTIES	10

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Deze notitie geeft antwoord op Onderzoeksvraag B.4.10:

Geef aan hoe verschillende bodemtypen reageren op trillingen.

Deze hoofdvraag is niet verder onderverdeeld in subvragen.

1.2. Afbakening

Bij de beantwoording van deze vraag wordt uitgegaan van de volgende afbakening:

1. gezien de context van de vraag wordt met trillingen hier verstaan: trillingen als het gevolg van geïnduceerde aardbevingen. De trillingsbron (hypocentrum) bevindt zich daarmee (in het geval van geïnduceerde aardbevingen als gevolg van fracking-activiteiten) op 3 tot 4 km onder het maaiveld (zie ook onderzoeksnotitie B.4.7). Geïnduceerde aardbevingen hebben een specifiek karakter, dat verschilt van natuurlijke aardbevingen. Het verschil zit vooral in de korte duur van de trilling gecombineerd met een hoge maximale versnelling of snelheid van de grondbeweging [ref. 3.];
2. trillingen kunnen ook veroorzaakt worden door trillingsbronnen aan het aardoppervlak. Te denken valt hierbij aan treinpassages, wegverkeer of heiwerkzaamheden. Deze trillingen worden over het algemeen langs het maaiveld doorgegeven en verschillen in mechanisme en effect van trillingen door aardbevingen. Dit type trillingen is in de beantwoording van deze vraag niet meegenomen;
3. met bodemtypen wordt hier verstaan: de bodemopbouw in de bovenste 20 tot 30 m van de ondergrond.

1.3. Aanpak

Om tot beantwoording van de onderzoeksvraag te komen is gebruik gemaakt van bestaande literatuur en verschillende kennisites. Een belangrijke bron is een onderzoek van TNO-NITG over de seismische 'hazard' (gevaar) van geïnduceerde aardbevingen [ref. 1.].

2. ANALYSE

2.1. Inleiding

Door toedoen van frac-activiteiten ten behoeve van schaliegas- en steenkoolgaswinning is er een kans op aardbevingen. In notitie B.4.7 wordt nader ingegaan op de mogelijk te verwachten kracht van een geïnduceerde aardbeving als gevolg van frac-activiteiten. De geïnduceerde aardbevingen in Nederland, voornamelijk als het gevolg van de gaswinning in Groningen, ontstaan op een diepte van circa drie tot vier kilometer. De trillingen als gevolg een dergelijke aardbeving planten zich voort door de ondergrond naar het aardoppervlak. De uiteindelijke grootte (amplitude) en aard van de trillingen op het aardoppervlak hangen af van verscheidene factoren. Eén van de factoren betreft de opbouw van de bodem. Afhankelijk van de lokale samenstelling van de bodem kan amplificatie (versterking) van de beweging van de grond optreden, een verschuiving van de trillingsfrequenties van de beving en/of demping van bepaalde frequenties van het trillingssignaal.

De responsie van de ondiepe ondergrond op aardbevingen, wordt ook wel 'site response' genoemd. Er is een aantal factoren dat van invloed is op de 'site response'. Hieronder worden de factoren benoemd en worden de belangrijkste factoren nader toegelicht.

2.2. Factoren die van invloed zijn op de site response

Door afwisseling van afzettingen in de ondiepe ondergrond in Nederland bestaat er een grote variatie in grondopbouw. Door variatie in grondopbouw bestaat er ook een variatie in site response. Deze site response is afhankelijk van een aantal factoren:

- schuifgolfsnelheden of schuifmoduli in het bovenste grondlagenpakket;
- eigenfrequentie van het grondlagenpakket, waardoor resonantie en amplificatie van het aardbevingssignaal kan optreden (eigenfrequentie is weer een functie van de schuifgolfsnelheden en diktes van de bovenste grondlagen);
- type aardbevingssignaal (sterkte, frequentie, tijdsduur, aantal cycli);
- demping die optreedt in het grondlagenpakket;
- diepte tot het harde gesteente (bedrock) of de diepteligging naar een significant stijvere grondlaag;
- topografische effecten;
- variatie in de opbouw van de ondergrond.

De belangrijkste factoren zijn de schuifgolfsnelheid (of schuifmodulus), eigenfrequentie en type aardbevingssignaal [ref. 1.]. Deze worden in onderstaande paragrafen nader toegelicht. Schuifgolfsnelheid en schuifmodulus zijn via de dichtheid van het materiaal aan elkaar gerelateerd.

Invloed van de schuifgolfsnelheid

Aardbevingen leveren verschillende typen trillingen of golven in de ondergrond op, waarbij drukgolven (P-waves¹) en schuifgolven (S-waves²) de belangrijkste zijn. Schuifgolven van aardbevingen leveren over het algemeen aan gebouwen de meeste schade op; vandaar dat in de site response de belangrijkste karakteristiek van de grond die hier van belang is - de schuifgolfsnelheid - beschouwd wordt.

¹ De P staat voor Primary of Pressure wave: Primary omdat deze golf het snelste door de ondergrond gaat en dus als eerste wordt gemeten, Pressure omdat het een drukgolf betreft.

² De S staat voor Secondary of Shear wave: Secondary omdat deze golf minder snel door de ondergrond gaat als de P-wave en de aankomst dus als tweede wordt gemeten, Shear wave omdat het een schuifgolf betreft.

Over het algemeen geldt hoe hoger de schuifgolfsnelheid in de grondlagen, hoe minder de grond reageert op een beving. De schuifgolfsnelheid is de snelheid waarmee schuifgolven zich door de ondergrond bewegen. Weinig geconsolideerde afzettingen (slappe pakketten, zoals klei en veen) hebben een lagere schuifgolfsnelheid dan stijf vastgepakte zand- en grindafzettingen en gesteente. De amplitude van deze golfbeweging blijkt in veen of klei dan ook bij een gelijke dynamische belasting en demping, groter te zijn dan in zand of grindhoudende afzettingen en gesteente.

De schuifgolfsnelheid is afhankelijk van een groot aantal factoren, waarvan zowel voor niet-cohesieve sedimenten (zand, grind) als voor cohesieve sedimenten (klei) het poriëngetal en de grondspanning belangrijke parameters zijn. De schuifgolfsnelheid neemt toe met een afnemend poriëngetal en met toenemende grondspanning. De grondspanning hangt af van de diepteligging. Diepere afzettingen met een hogere grondspanning hebben een hogere schuifgolfsnelheid dan vergelijkbare afzettingen op kleinere diepte. Voor cohesieve afzettingen is daarnaast de verzadigingsgraad van belang. De schuifgolfsnelheid neemt af bij een toenemende verzadigingsgraad.

Invloed van de eigenfrequentie van het grondlagenpakket

Elk grondlagenpakket kent eigenfrequenties. Eigenfrequenties zijn frequenties waarbij het grondlagenpakket (de bodem) in verhouding tot andere frequenties gemakkelijk meebeweegt in geval het wordt aangestoten door een onderliggende laag met een groot impedantiecontrast ten op zichte van het bovenliggende grondlagenpakket. Een groot impedantiecontrast betekent hierbij dat de onderliggende grondlaag relatief stijf is (een hoge schuifgolfsnelheid heeft) ten opzichte van het grondlagenpakket. De eigenfrequentie van een grondlagenpakket is afhankelijk van de schuifgolfsnelheden van de verschillende lagen en de dikte van deze lagen. De eigenfrequentie van de grondlagenpakket kan als volgt benaderd worden (zie vergelijking 1):

Vergelijking 1 [ref. 8.]

$$f = \frac{V_s}{4 \cdot D}$$

Waarbij:

- f : eigenfrequentie (in Hz of s⁻¹)
- V_s : (gemiddelde) schuifgolfsnelheid in het grondlagenpakket (in m/s)
- D : dikte van het grondlagenpakket tot aan de overgang naar significant hogere schuifgolfsnelheid (m) (in Nederland is dit veelal de bovenkant van het Pleistoceen)

Wanneer een geïnduceerde aardbeving een dominante frequentie in het aardbevingssignaal kent die gelijk is of dicht in de buurt ligt van een eigenfrequentie van het grondlagenpakket, vindt amplificatie (versterking) plaats. Dit houdt in dat de beweging van de stijve onderliggende laag als gevolg van de geïnduceerde aardbeving op diepte wordt versterkt door het grondlagenpakket (de bodem). De beweging op het aardoppervlak (de site response) is dan groter dan de beweging van de onderliggende stijve grondlaag.

Afhankelijk van de sterkte van de aardbeving kan er sprake zijn van niet-lineair gedrag van de grond. Bij toenemende schuifvervormingen (door hogere versnellingen) neemt de schuifgolfsnelheid af, waardoor de eigenfrequentie van het grondlagenpakket verschuift naar een lagere frequentie. Ook heeft het niet-lineaire gedrag invloed op de demping: bij toenemende schuifvervorming neemt de demping toe.

Invloed van de aard van het aardbevingssignaal

De reactie van de ondiepe ondergrond is sterk afhankelijk van de aard van de aardbeving die optreedt. Zoals in de vorige paragraaf is genoemd is onder andere de frequentie-inhoud van het aardbevingssignaal van belang. Andere factoren met een rechtstreekse invloed zijn de tijdsduur en het aantal cycli van de beving. Hoe langer de beving duurt en hoe meer cycli, hoe groter de effecten die optreden.

Een andere karakteristiek van het aardbevingssignaal die van invloed is op de site respons, betreft de sterkte van de beving omdat deze mogelijk invloed heeft op de schuifgolfsnelheid maar ook op de hoeveelheid demping die in de bodem optreedt.

Overige factoren

Door materiaaldemping in de ondergrond neemt het aardbevingssignaal af. Een hogere materiaaldemping leidt tot een snellere afname van de amplitude van de beving. De dempingratio wordt veroorzaakt door een aantal factoren, waaronder schuifdeformatie, aantal cycli, grondspanning en poriëngetal.

Topografische effecten (zoals reliëf aan maaiveld of aanwezigheid van met zand opgevulde geulen in de ondergrond) en de 3D-variatie in opbouw van de ondergrond hebben invloed op de site response, maar zijn in het algemeen moeilijk te voorspellen.

2.3. Site-response bodemtypen in Nederland

De reactie van de bodem op trillingen als gevolg van een geïnduceerde aardbeving op diepte hangt van een aantal factoren af, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Om tot een indruk te komen welke site response voor de verschillende bodemtypen in Nederland te verwachten is, wordt eerst hier kort ingegaan. Vervolgens wordt de verwachte responsie besproken. Hierbij beperken we ons ook tot de eerste 20 tot 30 m.

Verschillende bodemtypen in Nederland

Op basis van de geologische geschiedenis en de verschillende typen afzettingen in Nederland kan een indeling gemaakt worden in de te verwachten site response. In [ref. 1.] is hier toe een zevental regio's onderkend die elk hun eigen bodemopbouw kennen. In deze indeling wordt per bodemtype onderscheid gemaakt in Holocene en Pleistocene formaties. De onderverdeling richt zich op gebieden ten behoeve van de conventionele olie- en gaswinning. In de CUR publicatie 166 'Damwandconstructies' [ref. 3.] wordt een indeling gemaakt met het oog op de reactie van het bovenste grondlagenpakket op trillingen als gevolg van heiwerkzaamheden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in een aantal bodemprofielen dat karakteriserend is voor veel voorkomende bodemtypen in Nederland.

Uit beide indelingen volgt een vergelijkbaar beeld. Het meest kenmerkend voor de bodemopbouw in Nederland is op welke diepte de Pleistocene grondlagen aanwezig zijn. Dit kan variëren van bijna of geheel aan het oppervlak tot circa 20 m onder het aardoppervlak. Vooral in het oosten en zuiden van Nederland komen Pleistocene grondlagen dicht aan de oppervlakte voor [ref. 2.]. In het westen van Nederland ligt de bovenkant van het pleistoceen 20 à 30 m beneden het huidige maaiveld. Aanwezige grondlagen boven de Pleistocene grondlagen betreffen Holocene grondlagen. Ruim de helft van het oppervlak van Nederland wordt ingenomen door deze Holocene afzettingen boven de Pleistocene grondlagen. Holocene grondlagen zijn over het algemeen slapper (lagere schuifgolfsnelheid) dan Pleistocene (zand)lagen.

Er is binnen de aanwezige bodemtypen in het zuiden en oosten van Nederland weer een verscheidenheid aan onderverdelingen te maken door bijvoorbeeld aanwezige rivierafzet-

tingen die in een wat slappere bovenlaag resulteren of bijvoorbeeld stuifzand afzettingen die een stijve bovenlaag tot gevolg hebben.

De bodemopbouw in Nederland kent een grote variatie. Op een specifieke locatie kan de bodemopbouw sterk afwijken van de opbouw enkele honderden meters verder op. Dit kan dan ook een sterke afwijking geven in de site response. Om een nauwkeurige bepaling van de bodemopbouw te krijgen dient daarom altijd locatiespecifiek onderzoek te worden uitgevoerd.

Verskil in site response per bodemtype

Verschillende normen, zoals de Eurocode 8 [ref. 4.] en de American Building Codes gebruiken een classificering van de ondergrond op basis van de schuifgolfsnelheid om de gemiddelde site respons te karakteriseren. De responsie waarop de classificering in de Eurocode 8 is gebaseerd betreft de responsie op natuurlijke aardbevingen welke afwijkt van de response op ondiepe geïnduceerde aardbevingen en de classificering sluit daarom niet goed aan op de mogelijke site response op aardbevingen als gevolg mijnbouwactiviteiten.

De klasse-indeling van Borchardt [ref. 5.], die ten grondslag ligt aan de American Build Codes, is beter toepasbaar [ref. 1.]. Borchardt onderscheidt zes klassen bodems waarvoor op basis van in situ-metingen tijdens een opgetreden aardbeving de site responses zijn bepaald. De site response wordt hierbij met een amplificatiefactor gedefinieerd. Deze amplificatiefactoren geven een gemiddelde response voor 'vergelijkbare sites'. Van de zes klassen zijn de volgende relevant voor de Nederlandse situatie:

1. klasse Sc-II wordt omschreven als 'Gravelly soils and soft to firm rock' met schuifgolfsnelheden tussen de 375 en 700 m/s en een dikte van de grondlaag van meer dan 10 m;
2. klasse Sc-III wordt omschreven als 'Stiff clays and sandy soils' met schuifgolfsnelheden tussen de 200 en 375 m/s en een grondlaagdikte van meer dan 5 m en;
3. klasse Sc-IV wordt omschreven als 'Non-special study soft soils' dikker dan 3 m met schuifgolfsnelheden tussen de 100 en 200 m/s.

Borchardt geeft amplificatiefactoren ten opzichte van bedrock maar ook ten opzichte van een 'reference soil'. Deze reference soil valt in klasse ScII+III en kan worden vergeleken met Pleistocene zandlagen in Nederland [ref. 1.]. In tabel 3.1 worden de amplificatiefactoren voor klasse Sc-IV gegeven ten opzichte van de klasse Sc II+III.

Uit de tabel volgt voor een slappere toplaag (klasse Sc-IV) dat afhankelijk van de amplitude en de aard van de beving een mogelijke opslingering kan worden verwacht van 1,5 tot 2,0 (amplificatiefactor). Deze slappere toplaag is te vergelijken met Holocene afzettingen bovenop de Pleistoceen afzettingen in Nederland.

Door TNO en KNMI [ref. 1.] is voor een aantal locaties in Nederland de locatiespecifieke grondopbouw in kaart gebracht middels oppervlakte golfmetingen en seismische sonderingen. De metingen geven een eerste indicatieve waarde van de schuifgolfsnelheid voor de diverse afzettingen per locatie aan de hand waarvan de site response per locatie in kaart kon worden gebracht. Met modelberekeningen (met gebruik van een 1D seismische response analyse [ref. 7.]) zijn amplificatiefactoren bepaald en is onderzocht hoe deze overeenkomen met de factoren volgens de classificatie van Borchardt. Hieruit blijkt dat de orde van grootte van gevonden amplificatiefactoren redelijk overeenkomen, maar dat de respons op alle vier de individuele locaties sterk verschilt. Dit benadrukt dat locatiespecifiek onderzoek erg belangrijk is.

Tabel 2.1. Amplificatiefactoren [ref. 1., ref. 5.]

grondklasse versnelling (g)	amplificatie voor short period F_a (0,3 sec)		amplificatie voor mid-period F_v (1,0 sec.)	
	Sc(II+III) (Pleistoceen zand aan of nabij het maaiveld)	Sc-IV (Holocene klei of veen aan maaiveld)	Sc(II+III) (Pleistoceen zand aan of nabij het maaiveld)	Sc-IV (Holocene klei of veen aan maaiveld)
0,1	1	1,5	1	2,0
0,2	1	1,3	1	1,9
0,3	1	1,1	1	1,8
0,4	1	0,9	1	1,6

Op basis van [ref. 1.] en [ref. 5.] wordt een indruk verkregen hoe de verschillende bodemtypen in Nederland op trillingen als gevolg van een geïnduceerde aardbeving vanuit de diepe ondergrond reageren.

De aanwezigheid van slappere grondlagen met een lage schuifgolfsnelheid in de bodem resulteren tot mogelijke amplificatie van het aardbevingssignaal wanneer de slappere grondlaag grenst aan een stijve (zand)laag.

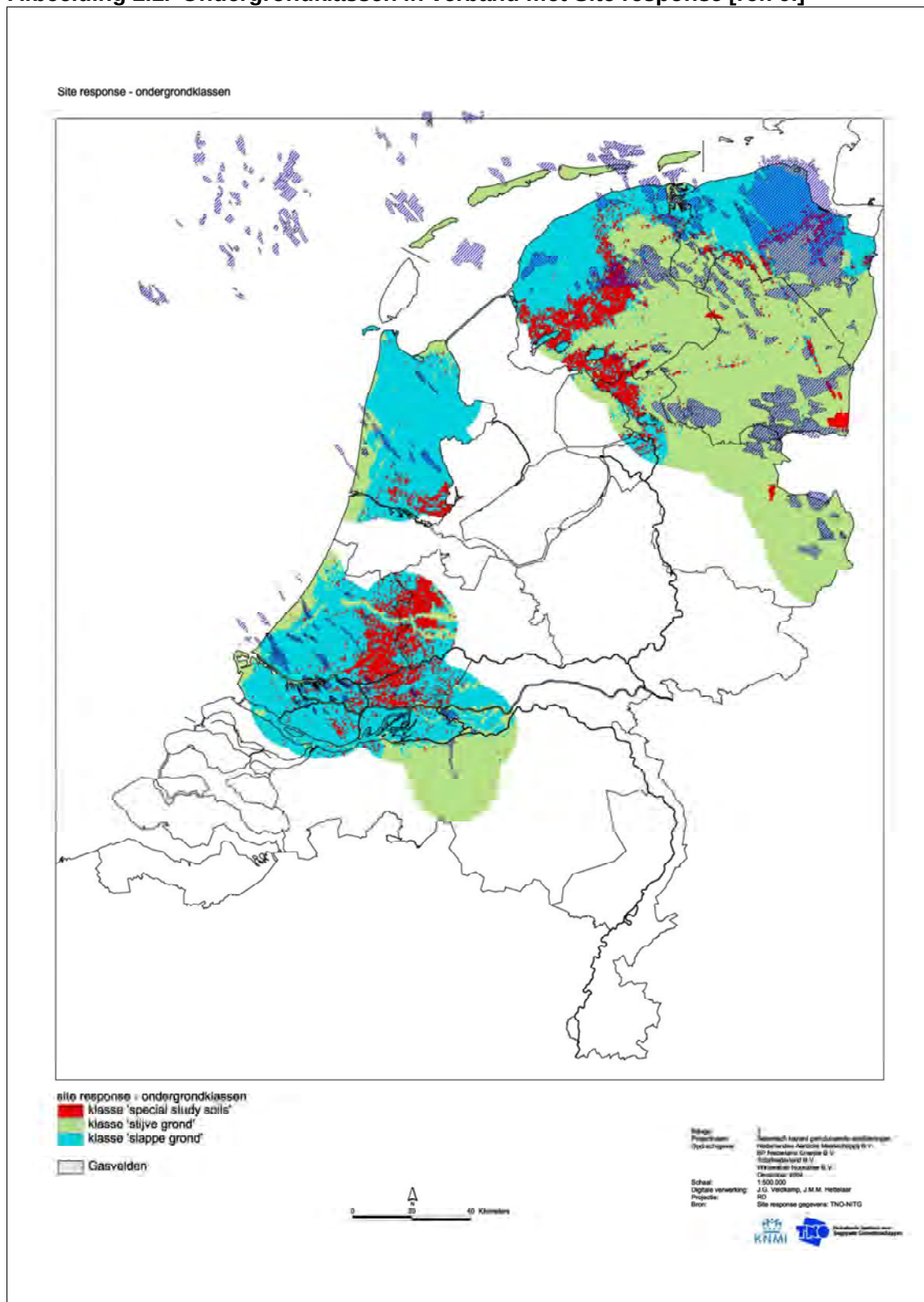
De bodemopbouw in met name het Westen van Nederland kent relatief slappe Holocene afzettingen bovenop Pleistocene zandlagen. Voor deze bodemopbouw zijn mogelijke amplificatiefactoren te verwachten die kunnen oplopen tot een factor twee (of wellicht meer) afhankelijk van de aard van de beving. Voor andere bodemprofielen waar een slappe grondlaag aanwezig is, bijvoorbeeld bij rivierkleiafzettingen, geldt ook dat mogelijke amplificatie te verwachten is.

Voor bodemprofielen, die hoofdzakelijk in het zuiden en oosten van het land voorkomen, waar de Pleistocene zandlagen veel dichtter aan het oppervlak liggen en de toplagen ook stijve (zand)lagen betreffen is nauwelijks tot geen amplificatie te verwachten. Deze bodemtypen zijn over het algemeen minder gevoelig voor trillingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen.

In [ref. 9.] wordt nog een iets andere onderverdeling gemaakt op basis waarvan vervolgens een classificatiekaart is gemaakt voor Nederland (zie afbeelding 2.1). Het is op de kaart te zien dat de onderverdeling in beperkt tot de (conventionele) olie- en gasvelden van onshore Nederland. De onderverdeling is als volgt:

1. slappe grond: (gemiddelde schuifgolfsnelheid over 30 m: $V_{s,30} \leq 200$ m/s);
2. stijve grond: (gemiddelde schuifgolfsnelheid over 30 m: $V_{s,30} > 200$ m/s);
3. special study soils: Deze klasse omvat grondsoorten die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3 m. en slappe veenlagen met een dikte van 1-3 m. gelegen op een stijve ondergrond.

Afbeelding 2.1. Ondergrondklassen in verband met Site response [ref. 9.]



Zoals hier te zien is, is deze kaart specifiek gemaakt voor de delen van Nederland waar er (conventionele) gasvelden zijn.

3. CONCLUSIES

Geef aan hoe verschillende bodemtypen reageren op trillingen.

Verschillende factoren hebben invloed op hoe de bodem (hieronder wordt verstaan het bovenste grondlagenpakket van circa 20 tot 30 m) reageert op geïnduceerde aardbevingen op 3-4 km diepte. De belangrijkste parameters zijn:

- de schuifgolfsnelheden van de verschillende grondlagen;
- de eigenfrequenties van het pakket (dit zijn trillingsfrequenties waarbij het grondlagenpakket opslinging/amplificatie van de grondbeweging vertoont);
- de sterkte en aard van het aardbevingssignaal.

Slappe grondlagen (klei en veen) hebben over het algemeen een lage schuifgolfsnelheid en vertonen mogelijk amplificatie (versterking) van trillingen die vanuit de diepere stijve grondlagen zich voortplanten in de ondiepe bodem. Stijve grondlagen (grind en zand) hebben een relatief hoge schuifgolfsnelheid. Voor deze grondlagen is geen of nauwelijks amplificatie te verwachten.

De bodemopbouw in met name het Westen van Nederland kent relatief slappe Holocene afzettingen bovenop Pleistocene zandlagen. Voor deze bodemopbouw zijn mogelijke amplificatiefactoren te verwachten die kunnen oplopen tot 2,0.

Voor bodemprofielen, die hoofdzakelijk in het zuiden en oosten van het land voorkomen, waar de Pleistocene zandlagen veel dichters aan het oppervlak liggen en de toplagen ook stijve (zand)lagen betreffen, is nauwelijks tot geen amplificatie te verwachten. Deze bodemtypen zijn over het algemeen minder gevoelig voor trillingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen op diepte.

Vanwege de grote variatie aan bodemopbouw in Nederland is het van belang per locatie specifiek onderzoek te doen naar de te verwachten reactie van de bodem op trillingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen. Dit locatiespecifiek onderzoek kan worden uitgevoerd met boringen en sonderingen

De sterkte en aard van de signalen van de mogelijk geïnduceerde aardbevingen als het gevolg van schaliegaswinning zijn niet noodzakelijkerwijs hetzelfde als de aardbevingen door gaswinning. De site response kan daarmee ook afwijken bij een gelijkwaardige grondopbouw. Dit betekent dat de locatiespecifieke site response analyse ook gebruik moet maken van een aardbevingssignaal dat qua sterkte en aard gelijk is aan te verwachten aardbeving.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] B.B.T. Wassing, D. Maljers, R.S Westerhof, J.H.A. Bosch en H.J.T. Weerts, Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 1, TNO-rapport, NITG 03-185-C, november 2003.
- [ref. 2.] Cur publicatie 166, 'Damwandconstructies' 4e druk deel 2, 2005.
- [ref. 3.] G. de Lange, N.G.C. van Oostrom, S. Dortland, H. Borstje (TNO), and S.Z.J. de Richemont (TNO), 'Gebouwschade Loppersum,' 2011. Deltares, Delft.
- [ref. 4.] Eurocode 8. Ontwerpbepalingen voor de bestandheid van constructies tegen aardbevingen. Deel 1-1: Algemene regels. Aardbevingsbelastingen en algemene eisen aan constructies, 1995.
- [ref. 5.] R.D. Borcherdt, 'Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). Earthquake Spectra, Vol. 10, No. 4, pp. 617-653.
- [ref. 6.] Rodriguez-Marek A., Bray J.D., Abrahamson N.A., A geotechnical seismic site response Evaluation procedure, 2000.
- [ref. 7.] I.M. Idriss and J.I. Sun, 'User's Manual for SHAKE91 - A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits.' Center for Geotechnical Modeling. Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Davis, California, p. 65, 1992.
- [ref. 8.] R. Dobry, R.D. Borcherdt, C.B. Crouse, I.M. Idriss, W.B. Joyner, G.R. Martin, M.S. Power, E.E. Rinne, and R.B. Seed, 'New Site Coefficients and Site Classification System Used in Recent Building Seismic Code Provisions,' Earthquake Spectra, vol. 16, no. 1, pp. 41–67, Feb. 2000.
- [ref. 9.] B.B.T. Wassing en B. Dost, 'Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Integratie van deelstudies.,' TNO/KNMI-rapport TNO 2012 R11139, december 2012.

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.11
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/klb2/224
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	2

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Definities	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Introductie	3
2.2. Het gevaar	3
2.3. Mitigeren van het gevaar	3
2.4. Gevarenanalyse	3
2.5. De Nederlandse situatie	4
3. CONCLUSIES	5
4. REFERENTIES	6
BIJLAGEN	aantal blz.
I Terminologie	1
II Gerapporteerde gevallen van geïnduceerde seismiciteit	1

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

B.4.11 Onderzoeksvraag:

Geef aan wat het risico is bij eventuele herinjectie van productiewater.

1.2. Afbakening

Gezien de context waarin de vraag gesteld is, beperkt de beantwoording van deze onderzoeksvraag zich tot de mogelijke effecten met betrekking tot geïnduceerde seismiciteit. Dit betekent dat er geen evaluatie van de milieurisico's wordt gedaan. Dit wordt behandeld in de achtergrondnotitie B.3.6. Ook wordt in deze notitie niet ingegaan op de wet- en regelgeving aspecten met betrekking tot herinjectie van productiewater. Er wordt voornamelijk geput uit ervaringen uit de Verenigde Staten.

1.3. Definities

De definitie van productiewater is conform [ref. 1.] als volgt (zie ook tabel I.1):

Water dat tijdens productie van olie en gas afgescheiden wordt in de olie- en gasproductie- en behandelingsinstallaties. Het bestaat onder andere uit formatiewater, waswater en niet af te scheiden mijnbouwhulpstoffen.

1.4. Aanpak

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag zijn verschillende informatiebronnen geraadpleegd, te weten: wetenschappelijke (peer-reviewed) artikelen; congresverslagen van wetenschappelijke conferenties en workshops; technische rapporten van onderzoeksinstituten (w.o.: National Academy of Sciences uit de VS en de USGS) of industrie, internet portalen; richtlijnen (NOGEPA, OGP) en overige websites.

2. ANALYSE

2.1. Introductie

Herinjectie van productiewater in de diepe ondergrond kan onder bepaalde condities leiden tot geïnduceerde seismiteit (aardbevingen). Dit kan vervolgens resulteren in schade aan gebouwen en infrastructuur en, in het ergste geval, in persoonlijk letsel. Het risico op het optreden van schade en letsel hangt af van twee zaken [ref. 2.]:

1. de waarschijnlijkheid dat een geïnduceerde aardbeving met een bepaalde magnitude optreedt (het gevaar of 'hazard'). Dit wordt hieronder verder uitgewerkt;
2. het effect dat deze aardbeving zal hebben op bebouwing en infrastructuur (kwetsbaarheid of 'vulnerability'). Dit wordt verder uitgewerkt in achtergrondnotitie B.4.9.

2.2. Het gevaar

Volgens [ref. 3.], [ref. 2.] en [ref. 4.] neemt het gevaar van geïnduceerde seismiteit toe als productiewater wordt geïnjecteerd nabij een breuksysteem die zich in een kritische spanningstoestand bevindt en een 'gunstige' oriëntatie heeft ten opzichte van de hoofdspanningsrichtingen. Op basis van ervaringen uit de VS kan men echter concluderen dat van de enkele tienduizenden waterinjectieputten slechts een beperkt aantal aardbevingen hebben gegenereerd die een duidelijk causaal verband hebben met de aanwezigheid van breuksystemen [ref. 2.].

De gedocumenteerde gevallen zijn opgesomd in tabel II.1. Er zijn een aantal belangrijke lessen te leren uit deze gedocumenteerde gevallen [ref. 2.]:

- injectieputten beïnvloeden een gebied in de ondergrond dat enkele vierkante kilometers groot kan zijn;
- geïnduceerde seismiteit kan ettelijke maanden of zelfs jaren na het injecteren van het productiewater doorgaan;
- meerdere breuksystemen kunnen beïnvloed worden door een enkele injectieput (domino-effect).

2.3. Mitigeren van het gevaar

Door het verminderen van de drukken, de geïnjecteerde volumes en de snelheid waarmee geïnjecteerd wordt kan de geïnduceerde seismiteit wel effectief gereduceerd worden [ref. 2.]. Het is echter nog niet mogelijk om exact voor te schrijven met welke waarden de drukken, volumens en snelheden dienen te worden gereduceerd. Het is ook lastig om het gevaar van optreden van geïnduceerde seismiteit te bepalen omdat er nog geen kosteneffectieve manier bestaat om ongekarteerde breuken te identificeren en in-situ spanningstoestanden te meten. Dit betekent dat er op dit moment (in de VS) nog geen richtlijnen kunnen worden opgesteld om dit gevaar te mitigeren. Ook internationaal zijn er hiervoor geen richtlijnen beschikbaar. De OGP¹ heeft in haar richtlijn voor de herinjectie van productiewater [ref. 5.] niets opgenomen met betrekking tot geïnduceerde seismiteit.

2.4. Gevarenanalyse

De NAS [ref. 2.] doet wel een aantal aanbevelingen om tot een goede gevarenanalyse te komen:

- een gedetailleerde methodologie dient ontwikkeld te worden voor het maken van kwantitatieve, probabilistische gevaren analyse van de geïnduceerde seismiteit. Dit moet in

¹ OGP: International Association of Oil and Gas Producers.

ieder geval gedaan worden in gebieden waar (geïnduceerde) seismiciteit aan de orde. Bovendien moet de gevaren analyse geüpdate worden in het geval (geïnduceerde) seismiciteit is opgetreden;

- de gegevens van de injecties van productiewater (locaties, tijden, volumes, drukken, snelheden) dienen volgens een standaard protocol door de autoriteiten verzameld te worden en vervolgens publiek beschikbaar te worden gemaakt;
- in dichtbevolkte gebieden en gebieden met kwetsbare bebouwing zou data verkregen moeten worden om mogelijke (onbekende) breuken en breuksystemen in de diepe ondergrond te detecteren;
- de 'best practices' protocollen voor water injecties dienen te worden aangepast met een zogenaamd 'verkeerslicht' systeem. Dit wordt verder beschreven in achtergrondnotities B.4.9.

2.5. De Nederlandse situatie

In Nederland heeft de NOGEPA een 'best-practice' protocol opgesteld met betrekking tot de injectie van productiewater [ref. 1.]. Deze richtlijn is voornamelijk toegespitst op de milieuaspecten van de (her)injectie van productiewater. Net als de internationale richtlijn van de OGP [ref. 5.] geeft het echter geen aanbevelingen met betrekking tot het mogelijk optreden van geïnduceerde seismiciteit. De NOGEPA richtlijn geeft wel aan de gemeten drukken moeten worden vergeleken met de waarden van de modellen en de met verwachte fracture drukken. Bij overschrijding van de fracture drukken in het reservoir dient in redelijke mate aangetoond te worden dat de fracture ook echt in het reservoir gebleven is [ref. 1.].

3. CONCLUSIES

Er bestaat een gevaar op optreden van geïnduceerde aardbevingen door de herinjectie van productiewater. In de VS is een aantal gevallen gerapporteerd waar herinjectie van productie- en afvalwater heeft geleid tot geïnduceerde seismiciteit. Aangezien er in tienduizenden putten waterinjectie heeft plaatsgevonden, zijn de hoeveelheid (gerapporteerde) gevallen relatief klein. Het gevaar op het optreden van geïnduceerde aardbevingen is dan ook klein.

Van de gerapporteerde gevallen laten verschillende een correlatie zien tussen het volume en druk waarmee het water wordt geïnjecteerd en de optredende seismiciteit. In sommige gevallen is deze correlatie niet erg duidelijk. In de meeste gevallen waarbij geïnduceerde aardbevingen optraden, was er sprake van reactivatie van breuken die nog niet bekend waren voordat het productiewater werd geïnjecteerd.

De aardbevingen die geïnduceerd waren door de injectie van productiewater, zijn groter in magnitude dan de aardbevingen die geïnduceerd waren door het fraccen zelf (zie ook achtergrondnotitie B.4.7 en B.4.9). De hoogste gemeten magnitude was M_w 5,7 in Oklahoma. Deze aardbeving heeft geresulteerd in schade en letsel.

Op basis van de ervaringen uit Noord-Amerika kan geconcludeerd worden dat er een hiaat is in de voorschriften en normeringen op dit gebied. Internationaal, maar ook in Nederland wordt er in de richtlijnen ('best practices') die door de industrie zijn opgesteld geen aandacht geschonken aan het mogelijk induceren van aardbevingen door injectie nabij breukzones.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] NOGEPA. Convenant Werkgroep Injectie Productiewater. NOGEPA Guideline, 18 pp., website: <http://www.nogepa.nl/nl/>.
- [ref. 2.] NAS 2012. Induced seismicity potential in Energy Technologies. Washington, D.C., The National Academy of Sciences, Prepublication version, 225 pp.
- [ref. 3.] Zoback, M., Kitasei, S., Copithorne, B. 2010. Addressing the environmental risks from shale gas development. Briefing Paper 1, Worldwatch Insitutute, 18 pp.
- [ref. 4.] Keranen, K.M., Savage, H.M., Abers, G.A., Cochran, E.S. 2013. Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence. *Geology*, published online on 26 March 2013, Data repository item 2013191, www.gsapubs.org, 4 pp.
- [ref. 5.] OGP, 2000. Guidelines for produced water injection. England, International Association of Oil and Gas Producers, Report No. 2.80/302 January 2000, 28 pp.
- [ref. 6.] Healey, J.H., Rubey, W.W., Griggs, D.T., Raleigh, C.B. 1968. The Denver earthquakes. *Science*, 161(3848): 1301-1310.
- [ref. 7.] Davis, S.D., Frohlich, C. 1993. Did (or will) fluid injection cause earthquakes? – Criteria for a rational assessment. *Seismological Research Letters*, 64(3-4): 207-224.
- [ref. 8.] Horton, S. 2012. Disposal of hydrofracking waste fluid by injection into subsurface aquifers triggers earthquake swarm in Central Arkansas with potential damaging earthquakes. *Seismological Research Letters*, 83(2): 250-267.
- [ref. 9.] Ake, J., Mahrer, K., O'Connell, D., Block, L. 2005. Deep-injection and closely monitored induced seismicity at Paradox Valley, Colorado. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2): 664-683.
- [ref. 10.] Perry, S.A., Smrecak, T.A., Cronin, K. 2011. Making the Earth shake: understanding induced seismicity. *Marcellus Shale*, 3: 1-8.
- [ref. 11.] Frohlich, C., Hayward, C., Stump, B., Potter, E. 2011. The Dallas-Fort Worth earthquake sequence: October 2008 through May 2009. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(1): 327-340.
- [ref. 12.] Frohlich, C. 2012. Two-year survey comparing earthquake activity and injection-well locations in the Barnett Shale, Texas. *PNAS* 109(35): 13934-13938.
- [ref. 13.] Ellsworth, W.L., Hickman, S.H., Lleons, A.L., McGarr, A., Michael, A.J., Rubinstein, J.L. 2012. Are seismicity rate changes in the midcontinent natural or man-made?. San Diego, California, Seismological Society of America (SSA) 2012 Annual Meeting, Session: The M5.8 Central Virginia and the M5.6 Oklahoma Earthquakes of 2011, Abstract #12-137. Session: The M5.8 Central Virginia and the M5.6 Oklahoma Earthquakes of 2011
- [ref. 14.] Llenos, A.L. and A.J. Michael. 2012. Statistical Modeling of Seismicity Rate Changes in Oklahoma, *Seismol. Res. Let.*, 83(2), pp. 420.

BIJLAGE I TERMINOLOGIE

Tabel I.1.

Term	Omschrijving
Bronneringswater	Grondwater dat opgepompt wordt om tijdelijk de grondwaterstand te verlagen ten behoeve van bouwwerkzaamheden.
Formatiewater	Water dat van nature aanwezig is in een geologisch poreus gesteente in de diepe ondergrond (buiten de biosfeer).
Grondwater	Water dat zich bevindt in dat gedeelte van de ondergrond dat onderdeel is van de biosfeer.
Hemelwater	Water dat door neerslag op de locatie terecht komt. Het kan vervuild raken met mijnbouwhulpstoffen en lekvloeistoffen (productiewater, condensaat).
Injectiewater	Water dat in een geologisch poreus gesteente in de diepe ondergrond (buiten de biosfeer) wordt gebracht.
Mijnbouwhulpstoffen	Stoffen die gebruikt worden bij de winning en behandeling van olie en aardgas. Deze hulpstoffen hebben de potentie in de waterstromen terecht te kunnen komen.
Doodpompvloeistoffen	Water wat gebruikt wordt om de put drukvrij te maken. Het bevat in het algemeen natuurlijke zouten zoals kalium-, natrium- en/of calciumchloride.
Spoel- en spuitwater	Water dat vrijkomt bij het reinigen en/of het afpersen/testen van installatie onderdelen en het water dat vrijkomt bij het schoonspuiten/schrobben van de locatie.
Uitgewerkt stimulatiewater	Water dat uit een put teruggeproduceerd wordt na een chemische of mechanische stimulatiebehandeling. Dit water bevat uitgereageerde stimulatie chemicaliën.
Productiewater	Water dat tijdens productie van olie en gas afgescheiden wordt in de olie- en gasproductie- en behandelingsinstallaties. Het bestaat onder andere uit formatiewater, waswater en niet af te scheiden mijnbouwhulpstoffen.
Waswater	Zoet water dat in 'oliewassers' wordt toegevoegd om het zoutgehalte van de olie te verlagen.
Saneringswater	Grondwater dat ten behoeve van saneringsdoeleinden wordt opgepompt.

BIJLAGE II GERAPPORTEERDE GEVALLEN VAN GEÏNDUCEERDE SEISMICITEIT

Tabel II.1. Gerapporteerde gevallen van geïnduceerde seismiciteit door afvalwater injecties (tussen haakjes na het jaartal staat het aantal aardbevingen)

Magnitude ^a	Jaar/Locatie, details	Diepte van de put/gebruik	Snelheid van injectie	Maximale injectiedruk	Bron
4,8 of 5,5 ^{b*}	1962-1967 (~1500), Rocky Mountain Arsenal, Denver-Colorado (<8 km; 3.7-7 km depth)	3670 m; chemical fluid wastes	2 periods: 126; 46 gal/min (12 lit/min);	1044 psi (7.2 MPa)	[ref. 6.] [ref. 7.] [ref. 8.] [ref. 2.]
3,4*	1964, Rangely, Colorado	n.a.	n.a.	n.a.	[ref. 2.]
2,5-3,6	1983, 1987, Ohio (<5 km; 1.8 km depth)	Waste disposal	n.a.	110	[ref. 7.]
0,5-4,3*	1996-present (~4600), Paradox Valley, Colorado (<8 km)	4300-4800 m; brine from natural seep	Initial: 345 gal/min (91 lit/min); Current: 230 gal/min (61 lit/min)	Initial: 4900 psi Current: 5300 psi (34.5 MPa)	[ref. 1.] [ref. 2.]
3,2	2001, Avoca, New York	Space for New Avoca Natural Gas Storage facility	n.a.	n.a.	[ref. 10.]
2,5-4,7 *	North-central Arkansas: 2007 (1); 2008 (2), 2009 (10); 2010 (54); 2011 (157); (<6 km)	647-3344 m (8 wells), test	n.a.	1.8-20.3 MPa	[ref. 8.]
2,5-3,3 *	2008-2009, Dallas Fort Worth, Texas (Barnett Shale) (<2 km; 3.3-4.2 km depth)	Salt water disposal brine (from shale gas)	233-292 gal/min (62-77 lit/min)	920-1968 psi (6.3-13.6 MPa)	[ref. 3.] [ref. 11.] [ref. 2.]
1,5-3,0	2009-2011 (67), Dallas Fort Worth, Texas (Barnett Shale) (<3.2 km; 2-4 km depth)		146 gal/min (39 lit/min)	n.a.	[ref. 12.]
≤4,0	2011 Youngstown, Ohio	Wastewater from fracking	n.a.	n.a.	[ref. 10.]
≥3,0	1970-2011 US mid-continent averages (Oklahoma): 1970-2000 (21); 2001-2008 (29); 2009 (50); 2010 (87); 2011 (134)	Unconventional resources	n.a.	2001: 25-40 psi (0.2 MPa) 2006: 525 psi (3.6 MPa)	[ref. 13.] [ref. 4.]
3,0-5,6	1973-2011 (141); 2009-2011 (121), Oklahoma	Unconventional resources	n.a.	n.a.	[ref. 8.] [ref. 14.]
Mw=5,0-5,7 *	2011 (5), Oklahoma	Unconventional resources	n.a.	(see above)	[ref. 4.]

* Deze gevallen laten een duidelijk verband zien tussen de injecties en de geïnduceerde seismiciteit

^a Deze magnitude slaat op de maximale gerapporteerde magnitude of het gemeten bereik aan magnitude (meestal M_L, tenzij anders aangegeven)

^b Verschillende bronnen rapporteren voor dit geval andere magnitudes.

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.12 en B.4.13
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/klb2/225
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlage	1

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Deelvragen	2
1.4. Aanpak	2
2. ANALYSE	4
2.1. Vervormingsgedrag van gesteente	4
2.2. Berekening van de compactie van reservoir gesteente	5
2.3. Compactie in schaliegesteente	7
2.4. Effect van compactie	8
3. CONCLUSIES	11
3.1. Deelvraag 1: Onderbouwde schatting van de compactie	11
3.2. Deelvraag 2: Benodigde meetgegevens	11
3.3. Deelvraag 3: Compactie in schaliegesteente	11
3.4. Deelvraag 4: Effect van compactie	11
4. REFERENTIES	12
BIJLAGE	aantal blz.
I Schatting van de compactie	2

1. VRAAGSTELLING

In deze notitie worden twee onderzoeksvragen beantwoord met betrekking tot compactie en bodemdaling, namelijk vraag B.4.12 en B.4.13. Deze vragen zijn samengevoegd omdat ze sterk aan elkaar gelieerd zijn. In de vraagstelling wordt niet specifiek gerefereerd aan compactie en bodemdaling door schaliegaswinning. Hier wordt in deze notitie wel op ingegaan, gezien de context van dit onderzoek.

1.1. Hoofdvraag

Onderzoeksvraag B.4.12

Maak een onderbouwde schatting van de compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typische winninglocatie. Geef aan welke meetgegevens daartoe nodig zijn en hoe die zijn te verkrijgen.

Onderzoeksvraag B.4.13

Geef het mogelijke effect daarvan aan het oppervlak aan in termen van bodemdaling en de mogelijkheid tot ongelijkmatige zettingen.

1.2. Afbakening

Voor de beantwoording is in eerste instantie aangenomen dat de vraag compactie van conventioneel reservoir gesteente betreft, van waaruit gas (aardgas) en vloeistof (water en olie) wordt onttrokken ten behoeve van conventionele olie- en gaswinning. Als typische winninglocatie voor Nederland wordt het Groningen gasveld gekozen, omdat hier de compactie van reservoir gesteente de belangrijkste oorzaak is van de bodemdaling.

De regels die gelden voor het schatten van de compactie in een poreus conventioneel (gas)reservoirgesteente (zandsteen of kalksteen) gaan echter niet op voor schaliegesteente. Gezien de context van dit onderzoek wordt wel nader ingegaan op de vraag of compactie in schaliegesteente (en daaraan gekoppeld bodemdaling) kan voorkomen en of het in Nederland een rol kan spelen.

1.3. Deelvragen

Op basis van de hoofdvragen B.4.12 zijn de deelvragen 1 en 2 geformuleerd en de hoofdvraag B.4.13 is als deelvraag 4 gedefinieerd. Gezien de context van dit onderzoek is een extra vraag geformuleerd om mogelijke compactie in schaliegesteente te bespreken. Dit is deelvraag 3. De deelvragen zijn hieronder gegeven:

1. maak een onderbouwde schatting van de compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typische winninglocatie;
2. geef aan welke meetgegevens daartoe nodig zijn en hoe die zijn te verkrijgen;
3. geef aan of compactie een rol speelt bij winning van schaliegas;
4. geef het mogelijke effect (van compactie) aan het oppervlak aan in termen van bodemdaling en de mogelijkheid tot ongelijkmatige zettingen.

1.4. Aanpak

De onderzoeksmethode van dit onderzoek beperkt zich tot een literatuurstudie, waarbij voorrang is gegeven aan academische bronnen. Publicaties en artikelen gevonden op basis van zoekopdrachten in academische en internet zoekmachines zijn op relevantie beoordeeld op basis van inleidingen, abstracts, management samenvattingen en dergelijke.

Bronnen met betrekking tot bodemdaling en compactie komen voornamelijk uit de olie- en gasindustrie. Veel bronnen hebben betrekking op of refereren aan de compactie en bodemdaling problemen in Groningen omdat dit op wereldschaal een belangrijke en goed gedocumenteerde case is. Specifiek op het gebied van bodemdaling en compactie in relatie tot schaliegaswinning, bijvoorbeeld in de Verenigde Staten, zijn geen literatuurbronnen gevonden.

2. ANALYSE

2.1. Vervormingsgedrag van gesteente

In notitie B.4.2 wordt de relatie tussen bodemdaling en reservoir compactie beschreven. In deze notitie is al opgesomd waar de mate van compactie van afhangt, namelijk:

- de drukval in de poriën van het gesteente (verhoging van de effectieve korreldruk);
- de dikte van het reservoirgesteente en;
- de samendrukbaarheid van het gesteente (mede afhankelijk van de porositeit).

De drukval in de poriën van het gesteente treedt op als het gevolg van de gas- of vloeistof onttrekking. In deze notitie zal nader op de berekening van de compactie worden ingegaan.

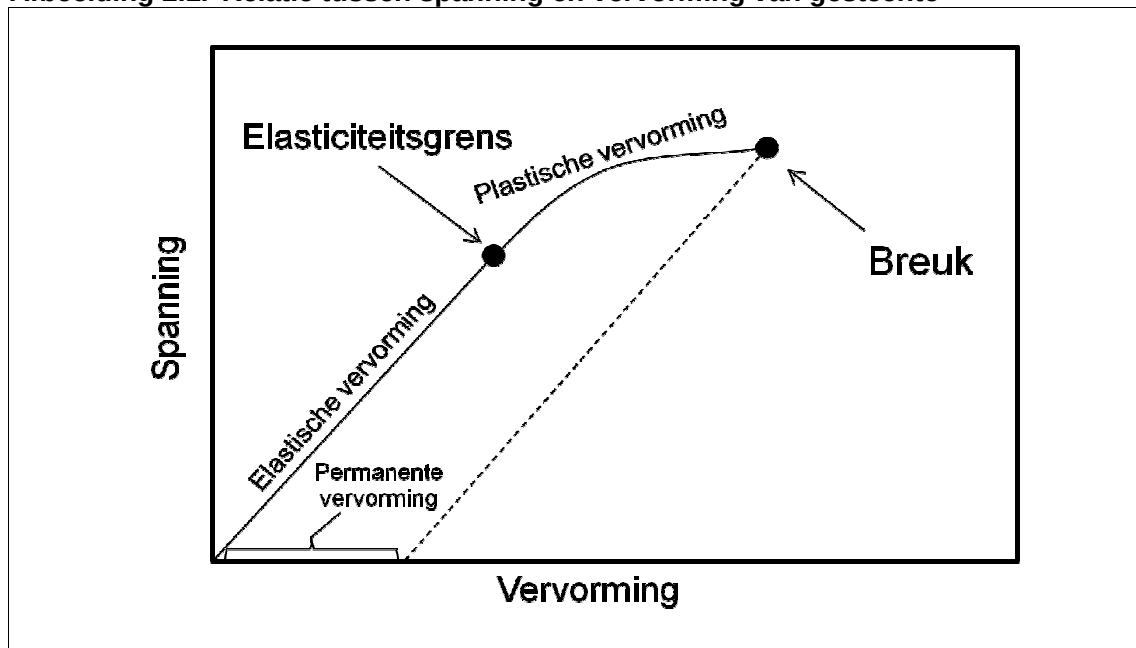
Vervorming van reservoirgesteente bestaat uit verschillende componenten, namelijk ([ref. 1.], [ref. 2.]):

1. elastische (reversibele) vervorming;
2. plastische of in-elastische (irreversibele) vervorming;
3. kruip of tijdsafhankelijk vervorming.

Er zijn verschillende theorieën die de elastische en plastische vervorming en het bezwijkgedrag van gesteente in relatie tot de drukverandering beschrijven. In de gesteentemechanica zijn de Mohr-Coulomb, Griffith en de Hoek-Brown bezwijkcriteria [ref. 3.] de belangrijkste. In deze notitie zal niet verder op deze theorieën worden ingegaan. Het belangrijkste om hier te onderstrepen is dat (reservoir) gesteente complex gedrag kan vertonen, vooral op grotere diepte waar er sprake is van hoge druk en temperatuur. Dit complexe gedrag bestaat uit een combinatie van elastische en plastische vervorming en van kruip.

Afbeelding 2.1 illustreert het vervorming- en bezwijkgedrag van gesteente. Dit gedrag kan in een laboratorium worden getest op monsters die met boringen uit het reservoirgesteente zijn genomen.

Afbeelding 2.1. Relatie tussen spanning en vervorming van gesteente



Elastische vervorming treedt als eerste op in het beginstadium van vloeistof- of gasonttrekking of bij relatief kleine drukveranderingen. Zodra de druk zich weer heeft hersteld tot de oorspronkelijke waarde, zal de vervorming weer terugkeren tot de oorspronkelijke situatie, met andere woorden: het gesteente 'veert' elastisch weer terug naar de oorspronkelijke dikte.

Door de drukval in de poriën neemt de effectieve korrelspanning toe. Zodra de effectieve korrelspanning een bepaalde grenswaarde overschrijdt, de zogenaamde preconsolidatie druk, ondergaat het gesteente irreversibele (plastische) vervorming. Dit komt omdat de sterkte van het korrelskelet van het gesteente wordt overschreden en het gesteente permanent vervormt onder het gewicht van de overliggende grond- en gesteentelagen.

Kruip is een fenomeen waarbij er vervorming in het gesteente optreedt, zelfs nadat de drukverandering is gestopt. Dit fenomeen is tijdsafhankelijk en levert relatief kleine vervormingen op (vergeleken met de plastische vervorming), maar over langere tijd kan dit wel een belangrijke component zijn.

2.2. Berekening van de compactie van reservoir gesteente

Een eenvoudige eendimensionale analytische schatting van de reservoircompactie kan worden verkregen wanneer wordt aangenomen dat het reservoir van de dikte H , uniform (lineair) vervormd, in verticale richting, waarbij de verticale belasting constant blijft. Bij een continue verticale belasting treedt er geen boogwerking van de overliggende lagen op¹. Als de reservoirdruk gelijkmatig verlaagd wordt met ΔP dan kan een relatie gegeven worden voor het bepalen van reservoircompactie. Deze relatie kan vereenvoudigd als volgt worden uitgedrukt ([ref. 1.], [ref. 4.]):

Vergelijking 1

$$\Delta H = C_m \times \Delta P \times H$$

Waarin:

- ΔH : de compactie van het reservoir (m)
- ΔP : de drukval in de poriën van het gesteente (bar; vaak wordt de druk ook in MPa of psi gegeven in plaats van bar)
- H : de dikte van het reservoirgesteente (m)
- C_m : uniaxiale compactiecoëfficiënt (de verticale samendrukbaarheid) (1/bar)

- $C_{m\ pre}$: initiële compactiecoëfficiënt (1/bar) voor $\Delta P \leq (P_{ini} - P_{tran})$
- $C_{m\ post}$: uiteindelijke compactiecoëfficiënt (1/bar) voor $\Delta P > (P_{ini} - P_{tran})$
- P_{tran} : transitiepunt (bar)
- P_{ini} : initiële reservoirdruk (bar)

Opmerking: deze laatste 4 parameters worden hieronder uitgelegd

Uniaxiale compactiecoëfficiënt (C_m)

De (verticale) samendrukbaarheid is een materiaaleigenschap van het reservoirgesteente die wordt uitgedrukt in uniaxiale compactiecoëfficiënt. Dit kan in een laboratorium worden beproefd met een compactie-apparaat ([ref. 5.], [ref.4.]). Deze coëfficiënt is in werkelijkheid niet constant maar druk- en temperatuur afhankelijk, waarbij het complexe elastische, plastische en kruipgedrag van het gesteente op diepte een rol speelt. Ook speelt de samen-

¹ De effectieve compactie op diepte is in werkelijkheid minder door de boogwerking in bovenliggende en onderliggende lagen.

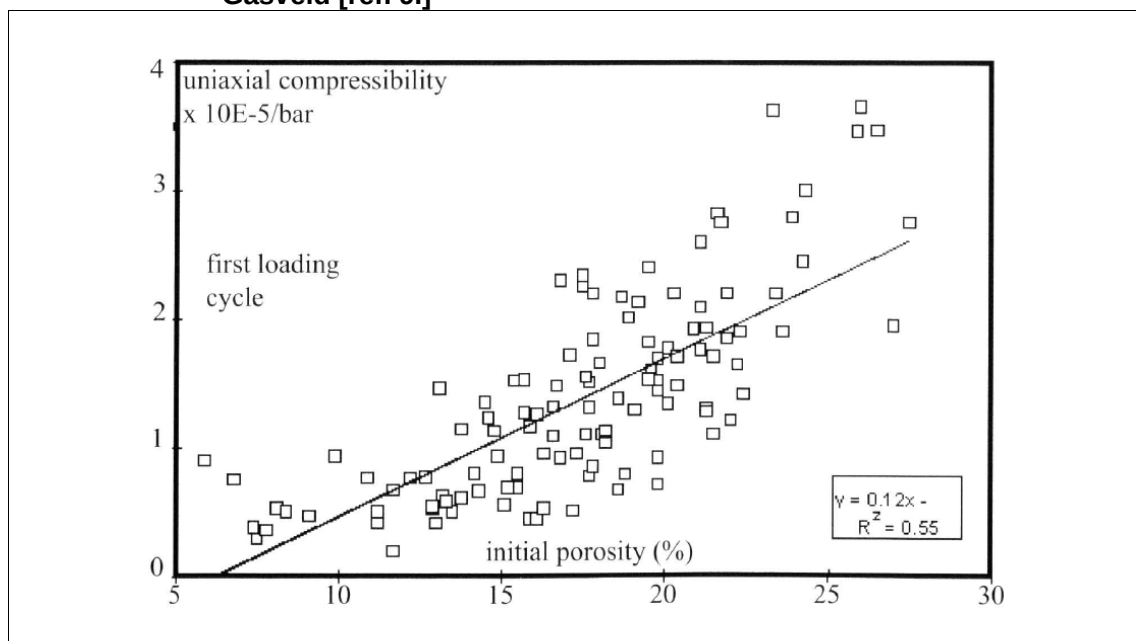
drukbaarheid van de vloeistof of gas in de poriën een rol in het (in-situ) samendrukkinggedrag, maar dit is niet in Vergelijking 1 opgenomen.

Er zit een bepaalde vertraging in het optreden van bodemdaling na het begin van de gas-extractie. Dit is een algemeen geobserveerd fenomeen wat vrij lastig is te modelleren. Om dit de modelleren werden, op basis van ervaringen in het Groningen gasveld die ook in het laboratorium zijn bevestigd [ref. 4.] er twee C_m waarden gehanteerd, vóór en na een bepaalde transitiepunt in de reservoirdruk (P_{tran}); dit zijn de initiële compactiecoëfficiënt ($C_{m \text{ pre}}$) en de uiteindelijke compactiecoëfficiënt ($C_{m \text{ post}}$). Beide waarden zijn lineair. Alleen vindt rond een transitiepunt toename plaats van de compressibiliteit [ref. 4.]. Inmiddels is dit model echter verlaten en wordt het poriedruk-diffusie-model toegepast. Dit modelleert de geobserveerde vertraging beter [ref. 5.].

Naast het bepalen van de samendrukbaarheid in het laboratorium kan dit ook afgeleid worden met behulp van inversie. Inversie is het afleiden van het compactiegedrag uit bodemdalingsgegevens [ref. 4.]. In het Groningen gasveld zijn de reservoirdrukken en de dikte van het reservoir goed bekend. Uit deze gegevens kan vervolgens via de bovenstaande formule C_m worden bepaald.

De belangrijkste relatie van C_m is met de porositeit in het gesteente: hoe hoger de porositeit, hoe groter C_m en hoe groter de compactie en dus de bodemdaling zal zijn. In de literatuur zijn verschillende relaties voorgesteld tussen porositeit en C_m ([ref. 7.] [ref. 8.]). Een voorbeeld van de relatie tussen porositeit en C_m voor zandsteen uit het Groningen gasveld is gegeven in [ref. 9.] en is geïllustreerd in afbeelding 2.2.

Afbeelding 2.2. Relatie tussen C_m en porositeit voor zandsteen uit het Groningen Gasveld [ref. 9.]¹



Schatting van compactie in het Groningen gasveld

In [ref. 4.] wordt in tabel 7.1 een overzicht gegeven van alle gasvelden in Groningen, met alle gegevens benodigd om tot een schatting te komen van de compactie. Deze gegevens

¹ De relatie zoals in de figuur aangegeven is verouderd. Tegenwoordig wordt een polynomische fit aan de data toegekend of een lineaire fit op een logaritmische domein van C_m .

zijn overgenomen in deze notitie in tabel I.1 (bijlage I), waarbij vervolgens met behulp van Vergelijking 1 de huidige en de uiteindelijke compactie kan worden berekend. In de gegevens wordt gebruik gemaakt van C_m gemiddeld. Hier wordt aangenomen dat dit het gemiddelde is van $C_{m\ pre}$ en $C_{m\ post}$. De grootste berekende compactie op dit moment (status 2010) is in het veld Boerakker (0,36 m) en de grootste eindcompactie is te verwachten in het veld Warffum (0,46 m).

2.3. Compactie in schaliegesteente

De (vereenvoudigde) rekenregels die hierboven zijn besproken zijn echter heel specifiek opgesteld voor de meer poreuze en permeabele (conventionele) reservoirgesteenten. Deze kunnen niet zonder meer worden toegepast op onconventionele reservoirgesteente (schalie- of **ticht** zandsteen reservoirs).

De reden is dat de efficiëntie waarmee de afname in interne poriedruk een toename in effectieve korrelspanning oplevert, vele malen kleiner is in schaliegesteente. Deze efficiëntie wordt uitgedrukt in Biot's coëfficiënt ([ref. 10.], [ref. 11.]). Dit kan als volgt vereenvoudigd worden weergegeven (zie vergelijking 2):

Vergelijking 2

$$\sigma'_m = \sigma_m - \alpha P$$

Waarin:

- σ'_m : gemiddelde alzijdige effectieve spanning (op diepte) (kPa, bar, psi)
- σ_m : gemiddelde alzijdige totaalspanning (op diepte) (kPa, bar, psi)
- P : de waterdruk (poriedruk) op diepte (kPa, bar, psi)
- α : Biot's coëfficiënt (variërend tussen 0 en 1)

In de conventionele hoge permeabiliteit/porositeit reservoirs nadert de Biot's coëfficiënt 1. Dit betekent dat een verlaging in poriedruk een vrijwel evenredige grote verhoging in effectieve druk geeft, en dus direct effect heeft op de compactie (zoals in Vergelijking 1 wordt weergegeven).

In (gas) schaliegesteente is Biot's coëfficiënt echter vele malen lager. Voorbeelden voor schalie uit het Devoon uit de VS ([ref. 12.], [ref. 13.], [ref. 14.]) laten zien dat voor dit type gesteente (vergelijkbaar met de Bowland Shale uit Engeland, zie onderzoeksnotitie B.4.4) een Biot's coëfficiënt van 0 kan worden gehanteerd. Dit betekent dat een verlaging in poriedruk vrijwel geen verhoging in effectieve spanning oplevert en dus nagenoeg geen effect heeft op de compactie. Hoewel er nog weinig over bekend is, zal het geomechanisch gedrag van het Geverik laagpakket het meest lijken op de Bowland Shale. De Posidonia formatie gedraagt zich waarschijnlijk plastischer dan de Bowland Shale (zie ook notitie B.4.4). Wat voor effect dit heeft op de Biot's coëfficiënt is niet duidelijk. Het is wel mogelijk dat dit een hogere coëfficiënt oplevert, maar waarschijnlijk nog steeds zo laag dat een verlaging in poriedruk weinig effect heeft op verandering in de effectieve spanning en dus de compactie.

Een andere reden om aan te nemen dat compactie (en dus bodemdaling) geen belangrijke rol speelt bij schaliegaswinning, is dat door het fraccen, netto een volume vergroting optreedt in het gesteente. Door het fraccen ontstaan scheuren in het gesteente. Een gescheurd gesteente neemt per definitie een groter volume in dan hetzelfde intacte gesteente. Bovendien worden de scheuren opzettelijk weer opgevuld met een proppant (korrelmateriaal), zodat de breuken na fraccen open blijven staan. Dit treedt echter zeer lokaal en be-

perkt op, namelijk ter plekke van de fracs. Dit zal aan het oppervlak dan ook geen effect hebben.

De enige manier waarop schaliegaswinning zou kunnen leiden tot bodemdaling is wanneer de drukval die bewerkstelligd wordt om het schaliegas te winnen doorwerkt en een significant effect heeft in een meer permeabel en poreus gesteente onder of boven de schalieformatie. Of dit een realistisch scenario is hangt volledig af van de lokale geologische stratificatie en de grootte van de drukval. De geologische stratificatie voor de Posidonia en Geverik schalies in Nederland zijn hieronder beschreven:

- de Posidonia schalie ligt in Nederland onder de Werkendam Formatie en boven de Aalburg Formatie. Beiden zijn relatief impermeabele en niet-poreus (klei) gesteente; hier zal dit scenario dus niet optreden;
- het Geverik Laagpakket is het onderste deel van de Epen Formatie. Dit is ook een relatief impermeabel en niet-poreus (klei) gesteente. Onder het Geverik Laagpakket ligt het Goeree laagpakket. Dit is een zeer harde grijze tot zwarte kalksteen die naar boven toe kleiiger wordt. Compactie in dit type gesteente is dan ook zeer onwaarschijnlijk.

Tenslotte zijn er ook geen literatuurbronnen gevonden die bodemdaling ('subsidence') in verband brengen met winning van schaliegas. Dit kan betekenen dat:

1. bodemdaling niet optreedt of nog niet is opgetreden bij schaliegaswinning;
2. bodemdaling geen belangrijke rol speelt bij schaliegaswinning projecten.

2.4. Effect van compactie

Compactie en bodemdaling

In het voorgaande is beargumenteerd dat schaliegaswinning niet zal leiden tot compactie in het schaliegesteente. Daarmee zal ook geen bodemdaling optreden. Om toch kort de gestelde vraag te beantwoorden, welke voor bodemdaling in conventionele reservoirgesteente zoals in Groningen wel relevant is, wordt hieronder een eenvoudige rekenregel gegeven.

Zoals beschreven in onderzoeksnotitie B.4.2 leidt compactie in (conventionele) olie- en gasreservoirgesteente of in watervoerende pakketten tot een zogenaamde bodemdalingskom. In het midden van de kom is de bodemdaling het grootst en is, in het geval van grote velden, vrijwel gelijk aan de compactie die met behulp van vergelijking 1 kan worden berekend [ref. 1.]. Naar de randen van het reservoirgesteente of watervoerende pakket waaruit olie of gas, dan wel water wordt onttrokken, zal de grootte van de bodemdaling minder worden. De bodemdalingskom is groter dan het gebied in het ondergrond waarin compactie optreedt. Over het algemeen geldt dat hoe dieper de laag waarin compactie optreedt, hoe groter het gebied waarin bodemdaling optreedt.

Om te bepalen hoe de bodemdaling varieert in de bodemdalingskom wordt in [ref. 1.] een aantal rekenregels gegeven. Deze zijn als volgt:

Vergelijking 3

$$\Delta h_b = \Delta H \times -2(1-\nu)A$$

Waarbij:

- Δh_b : de bodemdaling aan het oppervlak (m)
- ΔH : de compactie van het reservoir (m) - zie Vergelijking 1
- ν : Poisson's ration (-) (0,25 is een gebruikelijke waarde)
- A : parameter die afhangt van verschillende geometrische karakteristieken van het reservoir (zie hieronder)

Met een Poisson's ratio van 0,25 kan de bovenstaande vergelijking 3 versimpelt worden tot:

Vergelijking 4

$$\Delta h_b = \Delta H \times -1,5 \times A$$

A is afhankelijk van twee geometrische factoren η en ρ , als volgt:

Vergelijking 5

$$A = f(\eta, \rho)$$

$$\eta = \frac{D}{R}$$

$$\rho = \frac{r}{R}$$

Waarbij:

- D : de diepte van het reservoir gesteente (m)
- R : de breedte (radius) van het reservoir dat onttrokken wordt (vanaf het middelpunt van extractie) (m)
- r : de afstand (aan het oppervlak) tot het midden van de bodemdalingskom

In [ref. 1.] wordt een tabel gegeven waar, op basis van de parameters η en ρ , A kan worden afgelezen. Deze relatie is in numerieke modellen vastgelegd op basis waarvan bodemdaling predicties gedaan kunnen worden ([ref. 1.], [ref. 4.]).

Theoretisch is het mogelijk, volgens deze analyse, om een grotere bodemdaling te krijgen dan de compactie, maar in de realiteit kan dit niet. Dit is een van de beperkingen van het model die de aarde voorstelt als een oneindig diep en mechanisch homogeen medium. In [ref. 16.] wordt een meer realistische variant voorgesteld. De bovenstaande relatie is echter simpel en volstaat voor het maken van initiële schattingen. Voor een betere analyse wordt de methode uit [ref. 16.] gehanteerd.

Voor zeer grote gasvelden, zoals het Schoonebeek veld, gaat het om een factor η van 0,2. Dit levert volgens [ref. 1.] een factor A op (in het midden van de zettingskom) van 0,8. Als dit vervolgens wordt ingevuld in Vergelijking 4 dan betekent dit dat de maximale bodemdaling 1,2 maal de maximale compactie is. Ter vergelijking, een kleiner gasveld met een factor η van 1,0 geeft een maximale bodemdaling van 0,45 maal de maximale compactie.

Overigens worden er tegenwoordig, naast deze traditionele analytische of semi-analytische benadering, vooral ook numerieke modellen gebruikt. Deze modelleren het geomechanische gedrag en meer complexe geometrieën in de ondergrond op een nauwkeuriger manier [ref. 17.]. Deze numerieke modellen zijn echter zeer rekenintensief en het is zelfs met de huidige rekenkracht van computers lastig om bodemdaling in detail te modelleren.

Bodemdaling en differentiële zettingen

Bodemdaling leidt tot verschillende effecten. De belangrijkste in Nederland is het effect op de waterhuishouding. Dit is beschreven in onderzoeksnotitie B.4.14. Indirect kan verandering in de waterhuishouding leiden tot differentiële zettingen van ondiep gefundeerde-, op houten palen of op staal gefundeerde bebouwing [ref. 15.]. Dit komt door vernatting of verdroging in de ondiepe ondergrond, waardoor er compactie, oxidatie of zwel kan optreden in

klei- en veenlagen. Als de ondergrond inhomogeen is (een relatief grote afwisseling in grondgesteldheid) dan wordt dit effect versterkt.

Schade aan gebouwen of funderingen door bodemdaling treedt alleen op bij relatief kleine maar diepe zettingskommen of zettingstroggen door ondiepe ontgravingen of onttrekkingen. Vooral aan de randen van een groeiende of voorbijkomende zettingskom of -trog kan hierdoor schade optreden door opeenvolgende extensie en compressie in funderingen en muren en niet door differentiële zettingen.

Differentiële zettingen spelen wel een rol in het geval van instortingskraters of zeer abrupte zettingen langs breukzones. Instortingskraters zijn zeldzaam maar kunnen voorkomen bij zoutwinning (zie ook onderzoeksnotitie B.4.2). Relatief grote bewegingen kunnen ook voorkomen langs breukzones in het compacterende reservoirgesteente. Dit is ook het mechanisme dat de geïnduceerde aardbevingen veroorzaakt (zie onderzoeksnotitie B.4.7). Theoretisch kan deze beweging worden doorgezet naar het oppervlak en bodemdaling veroorzaken. Dit is voor het Groningen gasveld onderzocht, maar de kans hierop is te verwaarlozen [ref. 15.]. Omdat de schalielagen in Nederland op vrijwel dezelfde diepte liggen als de conventionele aardgasvelden kan worden geconcludeerd dat ook bij mogelijk geïnduceerde aardbevingen door schaliegaswinning, de beweging langs breukvlakken die dit veroorzaakt niet zal resulteren in bodemdaling of differentiële zettingen.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Onderbouwde schatting van de compactie

Maak een onderbouwde schatting van de compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typische winninglocatie.

Een onderbouwde schatting van de compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typische (conventionele) winninglocatie kan worden gemaakt met vergelijking 1. Op basis van productiegegevens van de NAM is hiermee voor elk gasveld de huidige en uiteindelijke compactie bepaald (zie bijlage I). Overigens zijn er ook andere operators actief, maar hiervan zijn geen gegevens gebruikt.

3.2. Deelvraag 2: Benodigde meetgegevens

Geef aan welke meetgegevens daartoe nodig zijn en hoe die zijn te verkrijgen.

De gegevens benodigd voor de compactie berekening zijn:

- dikte van het reservoirgesteente (H): dit komt uit boringen en geofysische onderzoek;
- drukval (ΔP): dit wordt gemeten in de boorput;
- compactie coëfficiënt (C_m): dit wordt getest in een gesteentemechanisch laboratorium of door inversie afgeleid uit bodemdalinggegevens.

3.3. Deelvraag 3: Compactie in schaliegesteente

Geef aan of compactie een rol speelt bij winning van schaliegas.

Compactie speelt alleen een rol in poreus en permeabel reservoirgesteente, dus bij conventionele olie- en gaswinning. Compactie treedt niet op in schaliegesteente omdat het gesteente relatief onsamendrukbaar is en omdat er volumevergroting optreedt in het gesteente na het fraccen. Compactie in de boven- en onderliggende lagen bij de Posidonia formatie en het Geverik laagpakket is onwaarschijnlijk.

3.4. Deelvraag 4: Effect van compactie

Geef het mogelijke effect (van compactie) aan het oppervlak aan in termen van bodemdaling en de mogelijkheid tot ongelijkmatige zettingen.

Compactie leidt in het algemeen tot een bodemdaling met in het midden een maximale diepte die afhankelijk is van de berekende compactie in het reservoir, van de grootte van het gebied van onttrekking en van de diepte van het reservoir. De grootte van de bodemdaling hangt af van de diepte van de onttrekking en is in het algemeen groter dan het gebied van onttrekking.

Diepe onttrekkingen zoals in het Groningenveld leiden tot vrij gelijkmatige bodemdalingen, waarin schade door differentiële zetting geen rol speelt. Differentiële zettingen kunnen indirect wel het gevolg zijn van bodemdaling door de verandering in de waterhuishouding. Dit kan namelijk leiden tot differentiële zettingen in de ondiepe ondergrond door compactie, oxidatie of zwel in klei- en veenlagen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] J. Geertsma, 'Land Subsidence Above Compacting Oil and Gas Reservoirs FGd,' Journal of Petroleum Technology, pp. 734-744, 1973.
- [ref. 2.] A. Settari, 'Reservoir Compaction,' Journal of Petroleum Technology, vol. PSE 76805, no. August, pp. 62-69, 2002.
- [ref. 3.] E. Hoek, 'Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion,' Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., vol. 27, pp. 227-229, 1990.
- [ref. 4.] NAM, 'Bodemdaling door Aardgaswinning 2010,' no. September. NAM, Assen, 2010.
- [ref. 5.] M. Hettema, E. Papamichos, and P. Schutjens, 'Subsidence Delay: Field Observations and Analysis,' Oil & Gas Science and Technology, vol. 57, no. 5, pp. 443-458, Sep. 2002.
- [ref. 6.] M. Hettema, P. M. Schutjens, B. Verboom, and H. Gussinklo, 'Production-Induced Compaction of a Sandstone Reservoir: The Strong Influence of Stress Path,' SPE Reservoir Evaluation & Engineering, vol. 3, no. 4, Aug. 2000.
- [ref. 7.] R. W. Zimmerman, Compressibility of Sandstones, vol. 29. Elsevier, 1991, p. 183.
- [ref. 8.] A. Y. Dandekar, Petroleum Reservoir Rock and Fluid Properties. CRC Press, 2013, p. 518.
- [ref. 9.] H.J. Gussinklo, H. W. Haak, R. C. H. Quadvlieg, S. P.M.F.M., and L. Vogelaar, 'Subsidence, tremors and society,' Netherlands Journal of Geosciences, vol. 80, no. 1, pp. 121-136, 2001.
- [ref. 10.] M.A. Biot, 'General Theory of Three Dimensional Consolidation,' J. of Applied Physics, 1941.
- [ref. 11.] B.E. Law, G.F. Ulmishek, and V.I. Slavin, Eds., Abnormal Pressures in Hydrocarbon Environments: An Outgrowth of the AAPG Hedberg Research Conference, Golden, Colorado, June 8-10, 1994. AAPG, 1998, p. 264.
- [ref. 12.] D.J. Soeder, 'Porosity and Permeability of Eastern Devonian Gas Shale,' SPE Formation Evaluation, vol. 3, no. 1, Mar. 1988.
- [ref. 13.] T.L. Blanton and L.W. Teufel, 'A Field Test of the Strain Recovery Method of Stress Determination in Devonian Shale,' in Proceedings of SPE Eastern Regional Meeting, 1983, p. 10.
- [ref. 14.] K.F. Evans and J.T. Engelder, 'A study of stress in Devonian Shale: Part 1-3D stress mapping using a wireline microfrac system,' in 61th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, 1986, p. 12.
- [ref. 15.] 'Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen.' Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning, p. 34, 1987.
- [ref. 16.] G. van Opstal, 1974, 'The Effect of Base Rock Rigidity on Subsidence Due to Compaction', Proceedings of the Third Congress of the International Society of Rock Mechanics, Denver, Colorado, September 1-7, 1974, Volume II, part B, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- [ref. 17.] J.A. de Waal, J.P.A. Roest, P.A. Fokker, I.C. Kroon, and J.N. Breunese, 'The effective subsidence capacity concept: How to assure that subsidence in the Wadden Sea remains within defined limits?,' Netherlands Journal of Geosciences, vol. 3, no. 12, pp. 385-399, 2012.

BIJLAGE I SCHATTING VAN DE COMPACTIE

Tabel I.1. Schatting van de compactie (Δh) op basis van gegevens uit [ref. 4.] en berekening met vergelijking 1

veld	productie sinds	initiële druk (bar)	huidige druk (bar)	eind-druk (bar)	C _m gemiddeld (10-5/bar)	gemiddelde delpleterende dikte (m)	Δh huidig (m) berekend	Δh eind (m) berekend
Anjum	1997	563	90	20	0,45	109	0,23	0,27
Annerveen	1973	346	15	10	0,36	119	0,14	0,14
Appelscha	1999	303	89	74	0,52	93	0,10	0,11
Assen	2007	337	186	67	0,52	145	0,11	0,20
Bedum	1985	345	118	33	0,60	220	0,30	0,41
Blija Zuid	-	377	377	377	0,60	100	0,00	0,00
Blija Zuid Oost	2001	377	282	136	0,58	102	0,06	0,14
Blija-Ferwerderadeel	1985	377	262	245	0,49	38	0,02	0,02
Blijham	1984	417	55	40	0,54	70	0,14	0,14
Boerakker	1998	338	40	37	0,63	190	0,36	0,36
Een	2005	299	131	131	0,54	10	0,01	0,01
Eleveld	1975	377	25	15	0,50	100	0,18	0,18
Engwierum	2002	405	225	225	0,51	103	0,09	0,09
Ezumazijl	1999	493	91	25	0,40	113	0,18	0,21
Faan	2009	387	300	59	0,51	204	0,09	0,34
Feerwerd	2000	404	289	143	0,58	115	0,08	0,17
Gasselternijveen	2008	565	300	25	0,30	20	0,02	0,03
Grijskerk UGS	1993	393	370	50	0,49	223	0,03	0,37
Groningen	1963	347	130	10	0,63	165	0,23	0,35
Grootegast	1979	334	60	26	0,66	87	0,16	0,18
Harkema	2010	295	291	185	0,56	92	0,00	0,06
Houwerzijl	2000	423	224	81	0,58	118	0,14	0,23
Kielwindeweer	2003	381	231	129	0,46	115	0,08	0,13
Kollum	2002	440	343	279	0,48	94	0,04	0,07
Kollum Noord	2001	442	131	63	0,58	99	0,18	0,22
Kollumerland	1989	343	45	17	0,64	90	0,17	0,19
Kommerzijl	2001	410	194	62	0,59	183	0,23	0,38
Lauwersoog-C	-	500	500	480	0,40	95	0,00	0,01
Lauwersoog-Oost	2008	480	450	270	0,40	95	0,01	0,08
Lauwersoog-West	2008	479	450	200	0,40	90	0,01	0,10
Leens	2003	424	221	81	0,59	123	0,15	0,25
Marum	1978	281	146	100	0,45	121	0,07	0,10
Marumerlage	-	287	245	110	0,42	128	0,02	0,10
Metslawier	1997	559	100	20	0,40	110	0,20	0,24
Moddergat	2007	567	535	400	0,30	105	0,01	0,05
Molenpolder	2001	424	163	70	0,54	92	0,13	0,18
Munnekezijl	1995	424	120	70	0,56	110	0,19	0,22
Nes	2007	564	516	300	0,30	105	0,02	0,08
Norg UGS	1983/1995	327	305	25	0,49	169	0,02	0,25
Norg-Zuid	1999	317	90	90	0,45	142	0,15	0,15
Oostrum	2002	522	137	65	0,60	99	0,23	0,27
Opende-Oost	1993	292	137	62	0,64	147	0,15	0,22
Oude Pekela	1995	331	33	33	0,57	66	0,11	0,11
Pasop	1997	358	164	124	0,61	173	0,20	0,25
Roden (blok 1)	1976	345	89	89	0,47	191	0,23	0,23
Roden (blok 2)	1976	345	270	270	0,47	192	0,07	0,07
Rodewolt	-	351	342	94	0,54	227	0,01	0,32

veld	productie sinds	initiële druk (bar)	huidige druk (bar)	eind- druk (bar)	C_m ge- middeld (10-5/bar)	gemiddelde delpleteren- de dikte (m)	Δh huidig (m) berekend	Δh eind (m) berekend
Saaksum(O)	1999	412	207	105	0,19	127	0,05	0,07
Saaksum(W)	1999	412	200	90	0,19	120	0,05	0,07
Sebaldeburen	1997	338	50	18	0,58	173	0,29	0,32
Suawoude	1984	283	53	33	1,05	143	0,35	0,38
Surhuisterveen	2008	292	144	39	0,63	85	0,08	0,14
Tietjerksteradeel RO	1974	284	47	15	0,95	140	0,32	0,36
Tietjerksteradeel Vlieland	1977	221	20	20	1,40	30	0,08	0,08
Ureterp	1978	281	55	35	0,61	125	0,17	0,19
Usquert	-	347	318	318	0,50	232	0,03	0,03
Vierhuizen (Oost)	2008	459	459	189	0,50	91	0,00	0,12
Vries (South)	1991	362	84	45	0,45	140	0,18	0,20
Vries (North)	1991	356	164	139	0,60	141	0,16	0,18
Warffum	1986	357	212	38	0,67	213	0,21	0,46
Witterdiep	2007	341	59	14	0,45	122	0,15	0,18
Zevenhuizen	2008	306	35	35	0,57	14	0,02	0,02
Zuidwending-Oost	2006	347	137	23	0,54	7	0,01	0,01



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.4.14
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/226
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Hoofdvraag	3
2.2. Verwachte bodemdaling Nederland en oorzaken	3
2.3. Effecten bodemdaling op waterhuishouding	7
2.4. Maatregelen waterhuishouding bij bodemdaling	8
3. CONCLUSIES	9
3.1. Bodemdaling in Nederland en oorzaken	9
3.2. Effecten bodemdaling op waterhuishouding	9
3.3. Maatregelen waterhuishouding bij bodemdaling	9
4. REFERENTIES	10

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Bodembeweging (met name daling) is in Nederland een belangrijk onderwerp bij de winning van aardgas. Er is echter weinig bekend over dit effect bij de winning van schaliegas. Hierbij is het geomechanisch gedrag van schalies en steenkoollagen bij onttrekking van gas en water van belang.

Eén van de onderzoeksvragen die is gesteld met betrekking tot bodemdaling is onderzoeksvraag B.4.14:

Geef aan hoe hier met het oog op de waterhuishouding mee om wordt gegaan.

1.2. Afbakening

De onderzoeksvraag is behandeld aan de hand van voorbeelden in Nederland waarbij bodemdaling is opgetreden, waarbij er effecten van bodemdaling op de waterhuishouding zijn opgetreden en waarbij maatregelen zijn of worden genomen.

De vraag is onderverdeeld in de volgende subvragen:

- Wat is de verwachte bodemdaling in Nederland en wat zijn de oorzaken?
- Wat zijn de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding?
- Welke maatregelen kunnen worden genomen om de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken?

1.3. Aanpak

Als eerste is een overzicht gegeven van de verwachte bodemdaling in Nederland voor het jaar 2050. Oorzaken van bodemdaling zijn beknopt behandeld. Vervolgens is voor het bodemdalingsgebied in het noord-oosten van Nederland, waar aardgas en zout wordt gewonnen uit de diepe ondergrond, nagegaan welke effecten er zijn of worden verwacht op de waterhuishouding. Vervolgens is nagegaan hoe hiermee wordt omgegaan. Er is een opsomming gegeven van maatregelen die kunnen worden genomen om ongewenste effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken.

Het onderzoek gebeurt op basis van literatuuronderzoek en op basis van gegevens die waterschappen en de commissie bodemdaling via internet beschikbaar heeft gesteld.

2. ANALYSE

2.1. Hoofdvraag

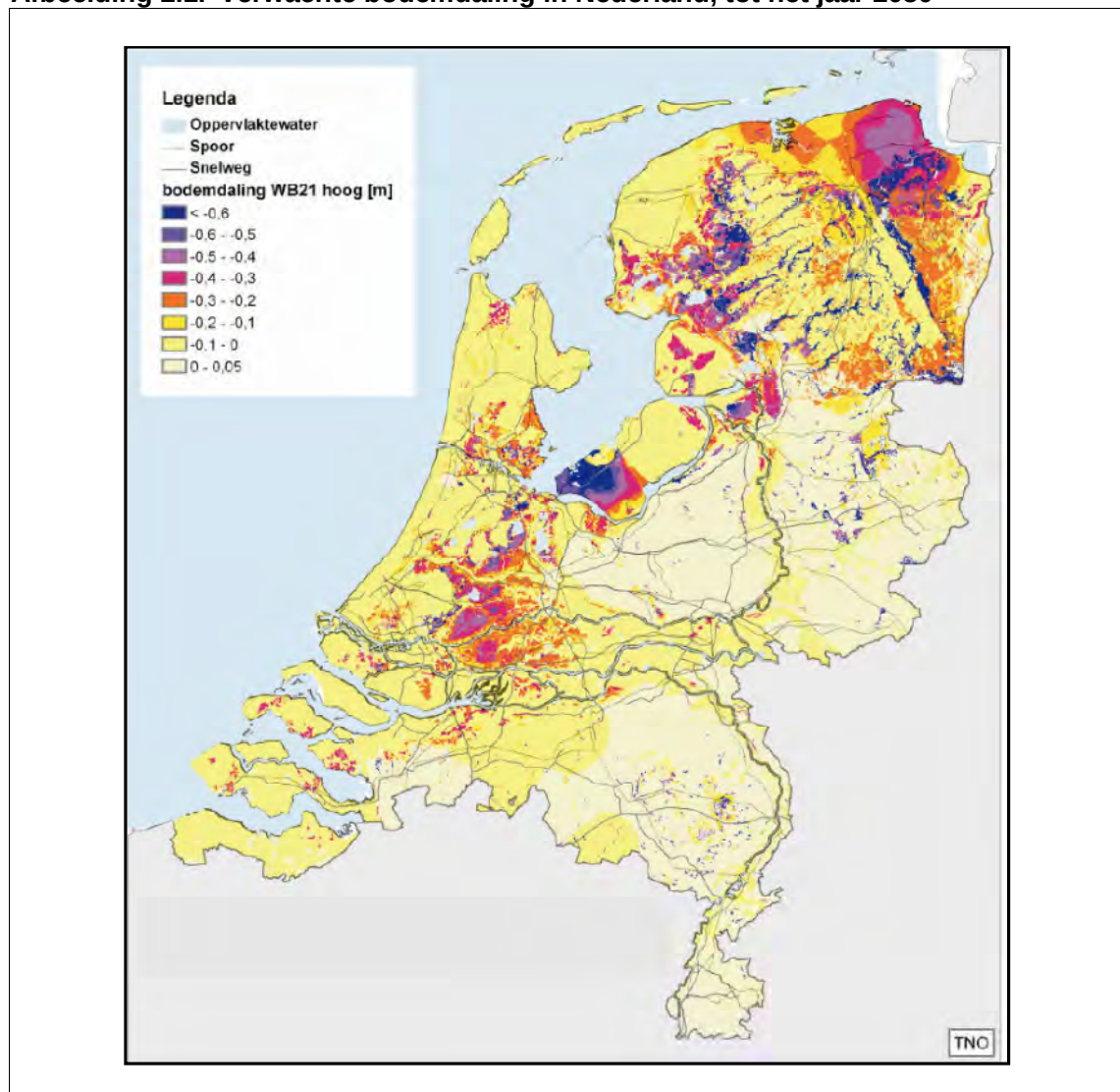
De hoofdvraag betreft het omgaan met effecten op de waterhuishouding bij het optreden van bodemdaling. De hoofdvraag is onderverdeeld in drie subvragen:

- Wat is de verwachte bodemdaling in Nederland en wat zijn de oorzaken?
- Wat zijn de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding?
- Welke maatregelen kunnen worden genomen om de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken?

2.2. Verwachte bodemdaling Nederland en oorzaken

In afbeelding 2.1 is de verwachte bodemdaling aangegeven voor het jaar 2050 [ref. 1.] tot het jaar 2050 conform het WB21 Hoog scenario.

Afbeelding 2.1. Verwachte bodemdaling in Nederland, tot het jaar 2050



Met name in delen van Groningen, Friesland en Flevoland wordt een forse bodemdaling verwacht. In andere delen van Nederland is de verwachte daling minder groot, of wordt een geringe bodemstijging verwacht.

Er zijn drie verschillende oorzaken voor de daling van de bodem in Nederland [ref. 6.]: tektonische beweging van de aardkorst, ontwatering van poldergebieden en grondstoffenwinning. Dit is hieronder toegelicht.

Tektonische bodemdaling

Voorals gevolg van postglaciale bodembewegingen (door het afsmelten van de poolkap in Scandinavië sinds de laatste ijstijd) is de diepere ondergrond van Nederland nog steeds in beweging. In het zuid-oosten van Nederland wordt een stijging verwacht, terwijl in noordwestelijke deel een daling wordt verwacht. Zowel de verwachte stijging als daling bedraagt enkele centimeters per eeuw.

Bodemdaling door ontwatering van poldergebieden

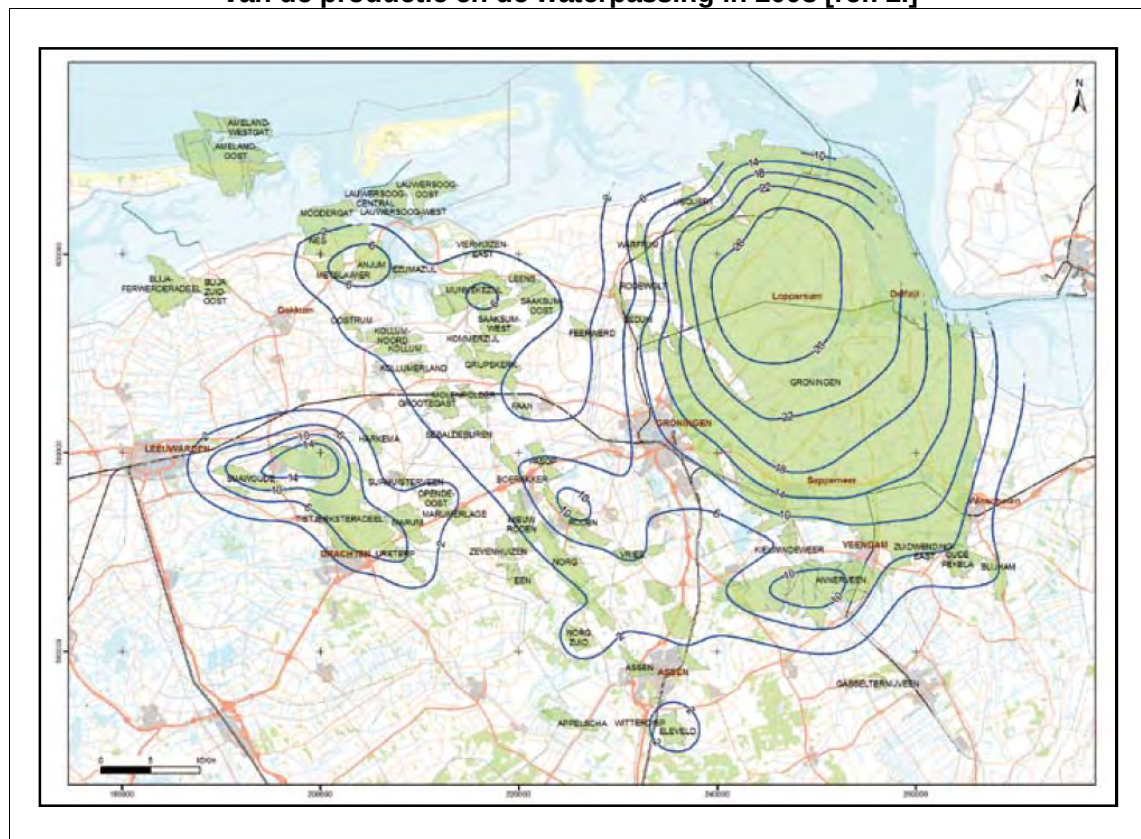
Het droogleggen van polders leidt tot zetting, klink, krimp en oxidatie. Oxidatie treedt op in veengebieden. Vermoedelijk zal de bodem van de diepere polders in West-Nederland de komende 50 jaar tussen 0,10 m en 0,45 m dalen [ref. 6.].

Bodemdaling door grondstoffenwinning

Als gevolg van grondstoffenwinning (aardgas, zout, kolen, bruinkool, grondwater) kan er regionaal bodemdaling optreden.

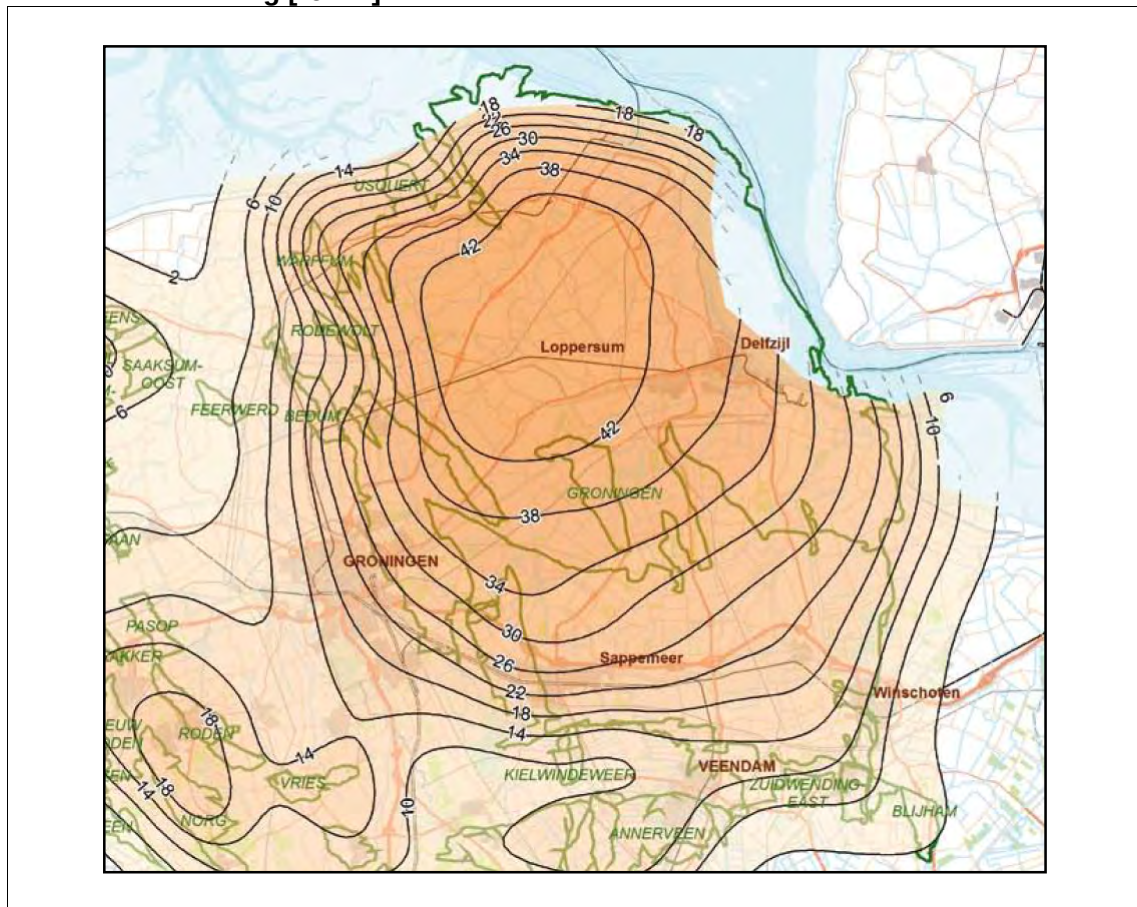
In Noord-Oost Nederland is in een groot gebied bodemdaling opgetreden als gevolg van gaswinning, die in 1963 is begonnen. In afbeelding 2.2 is de opgetreden bodemdaling tot 2008 aangegeven [ref. 2.].

Afbeelding 2.2. Contourkaart bodemaling door gaswinning opgetreden tussen start van de productie en de waterpassing in 2008 [ref. 2.]



Er is een schotelvormige bodemdaling opgetreden over een groot gebied. De grootste daling is in de provincie Groningen opgetreden. In omgeving van Loppersum ligt de geconstateerde bodemdaling als gevolg van de aardgaswinning in de periode 1963-2008 tussen 0,26 en 0,30 m.

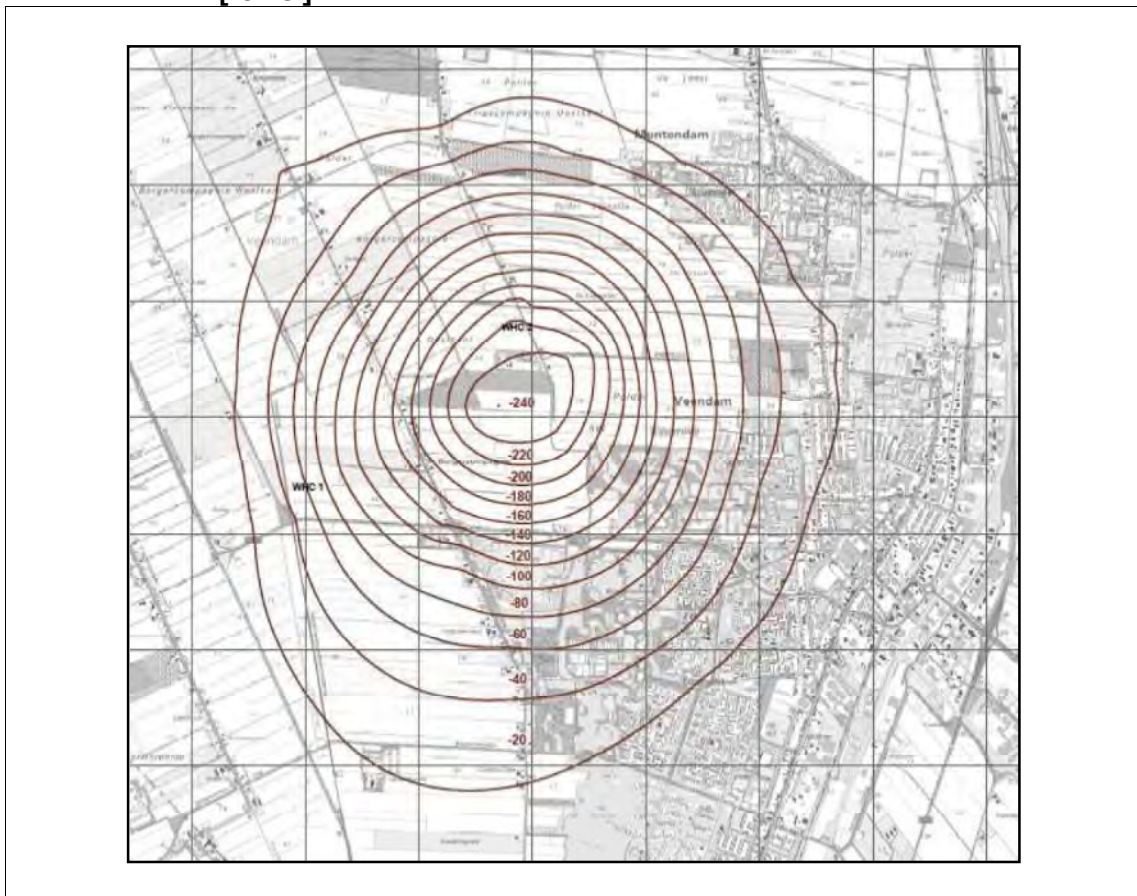
Afbeelding 2.3. Verwachte bodemdaling Groningen in 2050 als gevolg van gaswinning [ref. 2.]



De verwachte maximale bodemdaling als gevolg van winning van aardgas in de provincie Groningen voor het jaar 2050 bedraagt ruim 0,40 m [ref. 2.], zie afbeelding 2.3.

Door zoutwinning treedt eveneens bodemdaling op. Bij Veendam wordt sinds 1981 zout gewonnen uit de diepe ondergrond. De geconstateerde bodemdaling sinds het begin van de zoutwinning is circa 0,24 m [ref. 3.], zie afbeelding 2.4. Voor het jaar 2028 wordt een totale daling van 0,65 m verwacht [ref. 3.].

Afbeelding 2.4. Contouren bodemdaling zoutwinning 1993-2010 (mm) nabij Veendam [ref. 3.]



Winning van aardgas en zout resulteert in een schotelvormig bodemdalingsgebied, waarbij de grootte van de bodemdaling toeneemt richting het zwaartepunt van de winning.

2.3. Effecten bodemdaling op waterhuishouding

Als gevolg van bodemdaling treden er effecten op de waterhuishouding op. Gevolgen voor de waterhuishouding van bodemdaling zijn beschreven aan de hand van de effecten die zijn opgetreden bij de aardgaswinning in Groningen en de zoutwinning nabij Veendam. De aardgas- en zoutwinning vindt plaats uit de diepe ondergrond.

Bodemdaling door zetting, klink, krimp en oxidatie van afzettingen aan maaiveld door bijvoorbeeld ontwatering van poldergebieden leiden (deels) tot andere effecten op de waterhuishouding en zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

Aardgaswinning Groningen

Bodemdaling kan, bij het ontbreken van maatregelen, leiden tot de volgende effecten op de waterhuishouding [ref 4, 7.]:

- waterstand in sloten, meren en kanalen wordt hoger;
- daling van watergangen, kunstwerken (duikers, stuwen) en gemalen;
- verhoging grondwaterstanden, wat kan leiden tot vernatting van landbouwgronden, wateroverlast in bebouwd gebied (water in kelders) en toename inundatiekans;
- afname van doorvaarhoogtes van bruggen;
- afname van de hoogte van kanaaldijken en oeverconstructies;

- hoogte zeedijken, zeesluizen en buitendijks gelegen terreinen ten opzichte van de zeespiegel.

De gevolgen van deze effecten op de waterhuishouding kunnen ondermeer zijn:

- afname veiligheid, als gevolg van lagere (zee)dijken;
- lagere opbrengsten in de landbouw, als gevolg van vernatting landbouwgronden;
- hinder voor de recreatievaart door afname beschikbare doorvaarthoogte bij bruggen.

Zoutwinning Veendam

Zoals aangegeven heeft de bodemdaling bij de zoutwinning bij Veendam een meer lokaal karakter, maar wordt er (uiteindelijk) een grotere bodemdaling verwacht dan bij aardgaswinning. De volgende effecten op de waterhuishouding kunnen optreden [ref. 5.]:

- wijzigen van stroomsnelheid en verhang in de waterlopen;
- wijzigen van de natuurlijke afwateringsrichting van het water;
- af te voeren hoeveelheid water;
- waterstanden open water;
- grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld.

2.4. Maatregelen waterhuishouding bij bodemdaling

Maatregelen die in Noord-oost Nederland zijn en worden genomen om effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te beperken of te voorkomen zijn in deze paragraaf opgenomen ter illustratie.

Om de schadelijke gevolgen van de bodemdaling door gaswinning in Groningen te voorkomen/beperken, zijn vanaf 1984 een groot aantal maatregelen uitgevoerd [ref 4, 7.]. Dit betreft onder meer de volgende maatregelen:

- verlagen van het oppervlaktewaterpeil (peilindexatie), afhankelijk van de mate waarin bodemdaling optreedt;
- de bouw en aanpassing van polder- en zeegemalen,
- bouw en aanpassing van stuwen en sluizen;
- het verhogen van bruggen en dijken;
- vergroten van het doorstroomprofiel van kanalen;
- aanpassingen in de haven van Delfzijl en de Eemshaven.

Om de effecten van zoutwinning bij Veendam op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken zijn de volgende maatregelen uitgewerkt [ref. 5.]:

- opsplitsing van drie bestaande peilgebieden in een hoog en een laag deel;
- aanpassen peil per peilgebied;
- realisatie van een nieuw gemaal dichtbij het centrum van de bodemdaling;
- realiseren afwatering van omliggende peilgebieden naar dit nieuwe gemaal;
- verruimen en opwaarderen tot hoofdwatgang van een aantal bestaande watergangen, in verband met gewijzigde afwateringsrichting;
- aanleg van drie nieuwe inlaatwerken en aanvoerwatgangen om de hogere delen van de opgesplitste peilgebieden van water te kunnen voorzien.

Bij verlaging van het oppervlaktewaterpeil (peilindexatie) wordt ook het grondwatersysteem beïnvloed. Als gevolg van verlaging van het oppervlaktewaterpeil kunnen er de volgende neveneffecten optreden [ref. 6.]:

- toename van (veelal brakke) kwel in poldergebieden;
- verhoogd risico van opbarsten van de bodem;
- verdere (lokale) bodemdaling door zetting, klink, krimp en oxidatie als gevolg van de aangepaste ontwateringsdiepte.

3. CONCLUSIES

3.1. Bodemdaling in Nederland en oorzaken

Met name in de lagere delen van Nederland komt bodemdaling voor, met als belangrijkste oorzaken grondstofwinning en ontwatering van poldergebieden. Door winning van aardgas in Noord-oost Nederland sinds de jaren zestig is een bodemdaling van enkele decimeters opgetreden.

3.2. Effecten bodemdaling op waterhuishouding

Als gevolg van bodemdaling kunnen de volgende effecten op de waterhuishouding [ref. 4, 5, 7.] optreden:

- waterstand in sloten, meren en kanalen wordt hoger;
- daling van watergangen, kunstwerken (duikers, stuwen) en gemalen;
- verhoging grondwaterstanden, wat kan leiden tot vernatting van landbouwgronden, wateroverlast in bebouwd gebied (water in kelders) en toename inundatiekans;
- afname van doorvaarhoogtes van bruggen;
- afname van de hoogte van kanaaldijken en oeverconstructies;
- hoogte zeedijken, zeesluizen en buitendijks gelegen terreinen ten opzichte van de zeespiegel;
- wijzigen van stroomsnelheid en verhang in de waterlopen;
- wijzigen van de natuurlijke afwateringsrichting van het water;
- wijzigen af te voeren hoeveelheid water.

De gevolgen van deze effecten op de waterhuishouding kunnen ondermeer zijn:

- afname veiligheid, als gevolg van lagere (zee)dijken;
- lagere opbrengsten in de landbouw, als gevolg van vernatting landbouwgronden;
- hinder voor de recreatievaart door afname beschikbare doorvaarhoogte bij bruggen.

3.3. Maatregelen waterhuishouding bij bodemdaling

Om negatieve effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken worden de volgende maatregelen genoemd [ref. 4, 5, 7.]:

- verlagen van het oppervlaktewaterpeil (peilindexatie), afhankelijk van de mate waarin bodemdaling optreedt;
- de bouw en aanpassing van polder- en zeegemalen,
- bouw en aanpassing van stuwen en sluizen;
- het verhogen van bruggen en dijken;
- vergroten van het doorstroomprofiel van kanalen;
- aanpassingen van havens.;
- aanleg van inlaatwerken en aanvoerwatergangen.

Als gevolg van verlaging van het oppervlaktewaterpeil kunnen er de volgende neveneffecten optreden [ref. 6.]:

- toename van (veelal brakke) kwel in poldergebieden;
- verhoogd risico van opbarsten van de bodem;
- verdere (lokale) bodemdaling door zetting, klink, krimp en oxidatie als gevolg van de aangepaste ontwateringsdiepte.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] TNO, 'Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering', 2008, TNO-rapport 2008-U-R0074/B.
- [ref. 2.] NAM, 'Bodemdaling door aardgaswinning', 'NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe', september 2010. www.nam.nl.
- [ref. 3.] www.nedmag.nl.
- [ref. 4.] www.commissiebodemdaling.nl.
- [ref. 5.] H2O, 14/15, 2004. 'Waterhuishoudkundige maatregelen bij extreme bodemdaling', Witteveen+Bos, Waterschap Hunze en Aa's, 2004.
- [ref. 6.] TNO, 'Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050', 2007, TNO-rapport 2007-U-R0225/B.
- [ref. 7.] www.noorderzijlvest.nl.

REGELGEVING MET BETREKKING TOT VEILIGHEID (B.5)

Nederlandse wet- en regelgeving mijnbouw in relatie tot schaliegas (B.5.1)

Wet- en regelgeving voor horizontale boringen en boringsvrije zones (B.5.2)

Wet- en regelgeving voor monitoring (B.5.3)

Berekeningsmethoden voor risico's van gaswinning (B.5.4)

Wet- en regelgeving gebruik water en chemicaliën bij mijnbouw (B.5.5)

Wet- en regelgeving voor verlaten mijnbouwwinningslocaties (B.5.6)

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.1
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/227
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Inleiding	4
2.2. Toetsing winningsvergunningaanvragen voor schalie- of steenkoolgas	4
2.3. Toetsing veilige ontwikkeling van schalie- en steenkoolgasactiviteiten	6
3. CONCLUSIES	10
3.1. Toetsing winningvergunningaanvragen voor schalie- of steenkoolgas	10
3.2. Toetsing veilige ontwikkeling schalie- en steenkoolgasactiviteiten	10
4. REFERENTIES	12

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

De hoofdvraag betreft de Nederlandse wet- en regelgeving [ref. 1.] die van toepassing is op mijnbouwactiviteiten:

- geef aan of de Nederlandse wet- en regelgeving ten aanzien van mijnbouwactiviteiten toereikend is voor het kunnen toetsen van schalie- of steenkoolgaswinningsaanvragen en voor het veilig kunnen ontwikkelen van schalie- en steenkoolgasactiviteiten, en geef aan waar eventuele lacunes zitten.

Pas deze vraag ook toe op specifieke onderwerpen als:

- het meetplan: bodembeweging, monitoring en de effectiviteit van beperkende maatregelen;
- toezicht op planning en uitvoering frac-jobs;
- vrijgave van informatie: publiceren geplande activiteiten, samenstelling frac-vloeistoffen, etc. Is de huidige vorm van het instrument winningsplan daartoe geschikt?

1.2. Afbakening

De hoofdvraag is gericht op de winning van schalie- en steenkoolgas onder de Nederlandse Mijnbouwwetgeving en bestaat uit 2 deelvragen:

1. de toetsing van aanvragen om een winningsvergunning voor schalie- of steenkoolgas;
2. de toetsing van de veilige ontwikkeling van schalie- en steenkoolgasactiviteiten.

In het kader van de beantwoording van deelvraag 2 wordt gevraagd specifiek aandacht te besteden aan de volgende onderwerpen:

- a. de toereikendheid van het meetplan als instrument voor de monitoring van bodembeweging en de effectiviteit van bodembeweging beperkende maatregelen;
- b. het toezicht op de planning en uitvoering van frac-jobs;
- c. de bruikbaarheid van het winningsplan als instrument voor de publicatie van informatie zoals bijvoorbeeld geplande activiteiten en de samenstelling van te gebruiken frac-vloeistoffen.

Het hierboven onder a. genoemde onderwerp wordt besproken in onderdeel B.4 van dit rapport, 'Mechanische effecten aan de oppervlakte', en zal niet bij de beantwoording van deze onderzoeksvraag worden behandeld. De onder b en c genoemde onderwerpen komen bij de beantwoording van deelvraag 2 aan de orde.

De vragen zijn gericht op de winning van schalie- en steenkoolgas. Schalie- en steenkoolgas is aardgas, oftewel koolwaterstoffen, dat zich bevindt in bepaalde lagen in de diepe ondergrond. In Nederland worden al decennia lang koolwaterstoffen geproduceerd uit andere lagen dan deze schalie- en steenkoollagen. Er is geen aanleiding aan te nemen dat de bestaande wet- en regelgeving niet toereikend is voor deze zogenaamde conventionele winning. De vragen worden daarom beantwoord met het oog op de verschillen tussen de conventionele winning van koolwaterstoffen en de winning van schalie- en steenkoolgas (de zogenaamde onconventionele winning).

Bij de beantwoording van de vragen is er vanuit gegaan dat het mijnbouwwerk op land is gelegen en in niet gevoelig gebied. Dit betekent dat het Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm') van toepassing is op de aanleg van de productieputten en het fraccen. Ingeval een mijnbouwwerk in gevoelig gebied ligt is het Barmm niet van toepassing. Dan is een vergunning op grond van artikel 40, tweede lid, van de Mijnbouwwet, de zogenaamde

mijnbouwmilieuvergunning, vereist (tenzij er voor het mijnbouwwerk een Wabo-milieuvergunning¹ is of wordt vereist) en een vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998.

1.3. Aanpak

De vraag betreft de toereikendheid van de Nederlandse wet- en regelgeving voor een veilige winning van schalie- en steenkoolgas. Bij de beantwoording van de vragen is gebruik gemaakt van bestaande wetgeving alsmede enkele als achtergrond informatie gebruikte documenten over de uitvoering en effecten van boringen naar en de winning van schaliegas. Gebruikte documenten zijn opgenomen in de lijst met referenties [ref. 2.], [ref. 3.], [ref. 4.] en [ref. 5.].

¹ Vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

2. ANALYSE

2.1. Inleiding

Schaliegas zit 'opgesloten' in kleisteenlagen (schalies) en evenzo steenkoolgas in steenkoollagen. Schaliegas en steenkoolgas vallen onder de algemene term koolwaterstoffen in zowel de Nederlandse als de Europese wet- en regelgeving, die is gericht op de opsporing en winning van delfstoffen.

De gesteenten waarin schalie- en steenkoolgas zich bevinden (en waaraan zij hun naam te danken hebben) zijn slecht doorlaatbaar. Het aardgas zit hierdoor opgesloten in de poriën van het gesteente en kan daar alleen met behulp van bepaalde technieken uitgehaald worden. Afgezien van het feit dat schalie- en steenkoolgas zich niet noodzakelijk in geologische structuren bevinden, onderscheidt alleen de manier waarop schalie- en steenkoolgas gewonnen worden, deze koolwaterstoffen van de koolwaterstoffen die tot op heden in Nederland zijn en worden gewonnen.

2.2. Toetsing winningsvergunningsaanvragen voor schalie- of steenkoolgas

Voor de Nederlandse mijnbouwwetgeving zijn schaliegas- en steenkoolgas koolwaterstoffen. Een aanvraag om een winningsvergunning voor schalie- of steenkoolgas wordt onder de Mijnbouwwetgeving beschouwd en beoordeeld als een aanvraag om een winningsvergunning voor koolwaterstoffen.

De criteria voor verlening en afwijzing van aanvragen om opsporings- en winningsvergunningen voor koolwaterstoffen in de Mijnbouwwetgeving zijn ontleend aan de Europese Koolwaterstoffenrichtlijn¹.

De artikelen 8 en 9 van de Mijnbouwwet geven de volgende afwijzingsgronden² voor aanvraag om een winningsvergunning voor koolwaterstoffen³:

- a. onaannemelijkheid van de economische winbaarheid van de koolwaterstoffen met het oog op de winning waarvan de vergunning is aangevraagd;
- b. de technische of financiële mogelijkheden van de aanvrager van de betreffende vergunning of de wijze waarop deze aanvrager zich heeft gedragen bij de uitvoering van activiteiten onder een eerder aan hem onder de Mijnbouwwet verleende opsporings-, winnings- of opslagvergunning;
- c. de manier waarop de aanvrager voornemens is de activiteiten, waarvoor de vergunning wordt aangevraagd te verrichten.

In de artikelen 1.3.8 tot en met 1.3.10 van de Mijnbouwregeling worden de onder b en c genoemde afwijzingsgronden nader uitgewerkt. Gezien het feit dat voornamelijk de manier van winning schalie- en steenkoolgas onderscheidend is van andere koolwaterstoffen, is met name de uitwerking van de onder c genoemde afwijzingsgrond van belang. Deze staat in artikel 1.3.10 van de Mijnbouwregeling en luidt, voor zover van belang voor de beantwoording van de vraag, als volgt:

1. 'een opsporings- of winningsvergunning voor koolwaterstoffen wordt geweigerd indien de manier waarop de aanvrager voornemens is het opsporingsonderzoek of de winning

¹ Richtlijn 94/22/EG van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 1994 betreffende de voorwaarden voor het verlenen en gebruik maken van vergunningen voor de prospectie, de exploratie en de productie van koolwaterstoffen.

² Ingeval een winningsvergunning in concurrentie is aangevraagd is er een extra afwijzingsgrond die voor de beantwoording van de onderzoeksvraag niet relevant is en daarom niet is opgenomen.

³ Artikelen 8 en 9 gelden voor alle delfstoffen, niet alleen koolwaterstoffen.

- in het gebied, waarvoor de vergunning wordt aangevraagd, te verrichten het belang van een doelmatige en voortvarende opsporing en winning in onvoldoende mate verzekert;
2. bij de beoordeling van de manier waarop de aanvrager voornemens is het opsporingsonderzoek of de winning te verrichten, kunnen onder meer worden betrokken:
- de mate waarin het programma, bedoeld in artikel 1.3.1, tweede lid, onderdeel c1, onderscheidenlijk artikel 1.3.3, derde lid, onderdeel e, en vierde lid2, bijdraagt aan een doelmatige en voortvarende opsporing en winning;
 - de geologische onderbouwing van het in onderdeel a bedoelde programma;
 - de praktische uitvoerbaarheid van het in onderdeel a bedoelde programma;
 - de doelmatigheid in de bedrijfsvoering en de verantwoordelijkheidszin, waarvan de aanvrager eerder heeft blijkgegeven¹.

Bovenstaande betekent dat een aanvraag om een winningsvergunning, die wordt ingediend met het oog op de winning van schalie- of steenkoolgas, wordt beoordeeld naar:

- de economische winbaarheid van het betreffende schalie- of steenkoolgas;
- de kwalificaties van de aanvrager: zijn technische en financiële capaciteit en de wijze waarop hij onder eerder aan hem verleende vergunningen mijnbouwactiviteiten heeft uitgevoerd;
- de praktische uitvoerbaarheid en de doelmatigheid van de door de aanvrager voorgenomen winningsactiviteiten en de voortvarendheid waarmee deze activiteiten zullen worden uitgevoerd.

Schalie- en steenkoolgas wordt gewonnen met behulp van horizontale boringen en door het fraccen van het gesteente waarin zich dit gas bevindt. Het zetten van horizontale boringen en het fraccen van gesteente zijn reeds langer bestaande en bij conventionele winning ook voorkomende technieken. Het gebruik van deze technieken is, op dit moment, voor schalie- en steenkoolgas de enige doelmatige manier van winnen.

Een winningsvergunning geeft de houder ervan het exclusieve recht om in een bepaald gebied³ gedurende een bepaald tijdvak de in de vergunning omschreven delfstoffen op te sporen en te winnen. Dit exclusieve opsporings- en winningsrecht geeft recht noch garantie dat de betreffende mijnbouwactiviteiten uiteindelijk ook daadwerkelijk uitgevoerd kunnen worden. Dat hangt af van de overige voor de uitvoering van deze activiteiten nog benodigde vergunningen, toestemmingen en ontheffingen op grond van bijvoorbeeld de Mijnbouwwet, de Wet Milieubeheer en de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

De eventuele risico's en gevolgen van het gebruik van bestaande winningstechnieken, zoals het zetten van horizontale boringen en het fraccen van gesteente, komen niet aan de orde bij de verlening van een winningsvergunning, maar worden op uitvoeringsniveau per voorkomend geval beoordeeld.

¹ Het werkprogramma dat ingediend moet worden bij een aanvraag om een opsporingsvergunning.

² Artikel 1.3.3, derde lid, onderdeel e, en vierde lid van de Mijnbouwregeling verwijzen naar het meerjarenprogramma dat ingediend moet worden bij een aanvraag om een winningsvergunning. Het geeft een beschrijving van de te verrichten winningsactiviteiten en de te gebruiken technieken alsmede een raming van de jaarlijks te winnen hoeveelheden koolwaterstoffen en de hiervoor te maken kosten.

³ Met gebied wordt een gebied inclusief (een deel van) de zich eronder bevindende ondergrond bedoeld.

2.3. Toetsing veilige ontwikkeling van schalie- en steenkoolgasactiviteiten

Wet- en regelgeving

Met het oog op de toepassing van wet- en regelgeving kunnen bij de ontwikkeling van een schalie- of steenkoollaag de volgende 3 fasen worden onderscheiden:

1. de oprichting¹ van het mijnbouwwerk bestemd voor de winning van het schalie- of steenkoolgas;
2. de aanleg van de boorgaten ten behoeve van de winning, de zogenaamde productieputten, en het fraccen, testen, onderhouden, repareren en buiten gebruik stellen van de productieputten;
3. het gebruik van het mijnbouwwerk (de winning).

Afgezien van het grotere ruimtebeslag van een mijnbouwwerk bestemd voor de winning (hierna 'productielocatie') van schalie- of steenkoolgas, is het belangrijkste verschil tussen de winning van schalie- of steenkoolgas en de conventionele winning van koolwaterstoffen het grotere aantal benodigde productieputten. Dit gecombineerd met het feit dat vanuit al deze putten moet worden gefracted om te kunnen produceren. Bij fraccen worden grote hoeveelheden frac-vloeistof onder hoge druk de put en het achterliggende gesteente ingepompt om vervolgens gedeeltelijk terug-geproduceerd te worden.

Op alle fasen van de ontwikkeling van een schalie- of steenkoollaag is, naast de Mijnbouwwetgeving en voor zover ter bescherming van bepaalde belangen in de Mijnbouwwetgeving geen speciale bepalingen zijn opgenomen, alle in het algemeen op een inrichting en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wetgeving van toepassing².

Dit betekent onder andere dat voor de oprichting en het gebruik van een productielocatie voor schalie- en steenkoolgas een vergunning op grond van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo'), artikelen 2.1.1 sub c³ en 2.1.1 sub e⁴, noodzakelijk is. Bij de verlening van deze vergunning kan onder andere het ruimtebeslag van de productielocatie voor het schalie- of steenkoolgas worden beperkt en kunnen voorschriften ter bescherming van het milieu worden gesteld. In het belang van de bescherming van het milieu kan de vergunning ook geweigerd worden.

Bij de aanvraag van de Wabo- milieuvergunning zal tevens een milieueffect rapport moeten worden ingediend indien de productielocatie wordt opgericht in gevoelig⁵ gebied of indien meer dan 500.000 m³ aardgas per dag wordt geproduceerd. Een milieueffect rapport kan bij de aanvraag ook worden gevraagd met het oog op de productieputten⁶ die vanaf de productielocatie zullen worden aangelegd (en gefracted).

Een productieput voor de winning van schalie- of steenkoolgas wordt in ieder geval direct bij aanleg gefracted en mogelijk ook later nog tijdens het productieve leven van de put, als onderhoudswerkzaamheid. Het fraccen vindt plaats met behulp van een mobiele installatie.

Op de aanleg van een boorgat en alle werkzaamheden in een boorgat is afdeling 5.3 van het Mijnbouwbesluit en hoofdstuk 8 van de Mijnbouwregeling van toepassing. Op de aan-

¹ Of de verandering van de werking van het mijnbouwwerk ingeval de winning plaatsvindt vanaf het mijnbouwwerk dat eerder voor de opsporing van de koolwaterstoffen is gebruikt.

² Zie antwoord op vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

³ 'Het gebruiken van gronden in strijd met een bestemmingsplan', een bestemmingsplan voorziet niet 'spontaan' in de bestemming van grond als mijnbouwwerk.

⁴ De Wabo-milieu-vergunning gericht op de bescherming van het milieu.

⁵ Gebied als bedoeld onder a, b of d van punt 1 van onderdeel A van de bijlage, behorende bij het Besluit milieueffectrapportage voor zover op het vaste land gelegen.

⁶ Een productieput is een diepboring. Voor diepboringen geldt een MER beoordelingsplicht.

leg en het fraccen van een boorgat vanaf een productielocatie, die niet is geplaatst in een gevoelig gebied, is tevens het Barmm van toepassing.

Het fraccen van een boorgat of een productieput wordt in het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling als activiteit niet apart benoemd. Voor de toepassing van afdeling 5.3 van het Mijnbouwbesluit en hoofdstuk 8 van de Mijnbouwregeling wordt fraccen beschouwd als onderdeel van de aanleg van een boorgat of, indien het fraccen op een later tijdstip (nogmaals) plaatsvindt, als onderhoudswerkzaamheid¹ aan een productieput.

Het aanleggen en onderhouden van een boorgat geschiedt ingevolge artikel 74 in samenhang met artikel 77 van het Mijnbouwbesluit overeenkomstig een werkprogramma dat, waar het betreft de aanleg van een boorgat, tenminste 4 weken voor aanvang van de boring in het bezit van de inspecteur-generaal der mijnen moet zijn. Een werkprogramma voor het onderhoud van een productieput hoeft niet aan de inspecteur-generaal der mijnen te worden gezonden. De inspecteur-generaal der mijnen moet wel tenminste 7 dagen voor aanvang van de onderhoudswerkzaamheden hierover geïnformeerd worden. Op grond van artikel 67 van het Mijnbouwbesluit kan het betreffende werkprogramma te allen tijde door de inspecteur-generaal der mijnen worden opgevraagd.

Artikel 67 van het Mijnbouwbesluit verplicht de zogenaamde uitvoerder² (operator) maatregelen te (laten) nemen ter voorkoming van schade aan onder andere het milieu en de veiligheid van personen en zaken bij de aanleg, het gebruik, het onderhoud, de reparatie en het buiten gebruik stellen van een boorgat. Op grond van dit artikel kan de inspecteur-generaal der mijnen voorschriften geven voor de wijze waarop de in het werkprogramma beschreven activiteiten, zoals het fraccen, moeten worden uitgevoerd en ook (extra) voorschriften stellen aan de inhoud van het werkprogramma. Voor het werkprogramma dat moet worden ingediend bij de aanleg van een boorgat (het boorprogramma) heeft de inspecteur-generaal der mijnen dit laatste bij brief van 6 december 2011 gericht aan alle uitvoerders gedaan. In deze brief werden de uitvoerders verzocht in het werkprogramma een lijst op te nemen van de tijdens het boren en een eventueel daaropvolgende frac-operatie te gebruiken chemicaliën inclusief een evaluatie waaruit blijkt dat aan de eisen van de zogenaamde REACH verordening³ wordt voldaan.

De aanleg en het fraccen van een boorgat vindt plaats met behulp van mobiele installaties die tijdelijk op de productielocatie worden geplaatst. Het Barmm geeft regels ter bescherming van het milieu bij het gebruik van mobiele mijnbouwinstallaties. Het Barmm geeft ook regels ter voorkoming of beperking van nadelige bovengrondse effecten van de aanleg (inclusief het fraccen) van een boorgat. Deze regels betreffen met name geluidsoverlast, emissies naar de lucht, de bodem en het water, de afvoer van afvalstoffen en gevaarlijke stoffen en de externe veiligheid.

Het fraccen wordt in de Mijnbouwwet, het Mijnbouwbesluit, de Mijnbouwregeling en het Barmm niet als aparte activiteit benoemd. Als gevolg hiervan zijn er geen specifiek voor het fraccen geschreven regels. Zou de noodzaak hiertoe blijken te bestaan dan kunnen op grond van artikel 3, eerste lid, van het Mijnbouwbesluit voor het fraccen, evenals voor iedere andere mijnbouwactiviteit, speciale maatregelen worden voorgeschreven. Artikel 3, eer-

¹ Onderhoud van de productiviteit van een put.

² Een van de medehouders van de winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten mag verrichten of hiertoe aan een derde opdracht mag verlenen.

³ Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), tot oprichting van een Europees Agentschap voor chemische stoffen, houdende wijziging van richtlijn 1999/45/EG en houdende intrekking van diverse verordeningen en richtlijnen.

ste lid, van het Mijnbouwbesluit verplicht degene die de betreffende mijnbouwactiviteit uitvoert namelijk om maatregelen te nemen ter voorkoming van schade aan onder andere het milieu en de veiligheid van personen en zaken. Op grond van artikel 33 van de Mijnbouwwet is voor het daadwerkelijk treffen van deze maatregelen de houder van de betreffende winningsvergunning eindverantwoordelijk.

Toezicht op planning en uitvoering van frac-jobs

Het Staatstoezicht op de mijnen houdt toezicht op onder andere het opsporen en winnen van delfstoffen¹. Het fraccen van een boorgat ten behoeve van de winning van schalie- of steenkoolgas valt onder het toezicht uitgeoefend door de hiertoe aangewezen ambtenaren van het Staatstoezicht op de mijnen². Aan het hoofd van het Staatstoezicht op de mijnen staat de inspecteur-generaal der mijnen³.

Het toezicht op de planning van een frac job wordt uitgevoerd aan de hand van het door de uitvoerder op te stellen werkprogramma (zie hierboven) en de melding met bijbehorende gegevens van deze activiteit aan de Minister van Economische Zaken onder artikel 7 van het Barmm.

Indien de frac-job wordt uitgevoerd als onderdeel van de aanleg van een boorgat moet het werkprogramma voor de boring inclusief de frac-job tenminste 4 weken voor aanvang van de betreffende werkzaamheden in het bezit van de inspecteur-generaal der mijnen zijn. De melding onder het Barmm moet eveneens tenminste 4 weken voor aanvang van de werkzaamheden zijn ingediend bij de Minister van Economische Zaken.

Indien de frac-job wordt uitgevoerd als onderdeel van het onderhoud van de productieput hoeft het werkprogramma niet te worden voorgelegd aan de inspecteur-generaal der mijnen. De inspecteur-generaal der mijnen kan het werkprogramma natuurlijk wel opvragen en er vragen over stellen. Over de uitvoering van een frac-job als onderdeel van het onderhoud van een productieput moet de inspecteur-generaal der mijnen tenminste 7 dagen voor aanvang worden geïnformeerd. De melding van deze activiteit onder het Barmm moet tenminste 4 weken voor aanvang zijn ingediend bij de Minister van Economische Zaken.

Afgezien van het daadwerkelijk aanwezig zijn van een van de ambtenaren van het Staatstoezicht op de mijnen bij de uitvoering van een frac-job, wordt het toezicht op de uitvoering van een frac-job, die wordt uitgevoerd als onderdeel van de aanleg van een boorgat, uitgeoefend aan de hand van dagelijks op te maken en aan de inspecteur-generaal der mijnen te zenden rapporten. Binnen 4 weken na voltooiën van de aanleg van het boorgat dient aan de inspecteur-generaal der mijnen het eindrapport⁴ te worden gezonden.

Dagelijkse rapporten en een eindrapport zijn niet verplicht voor de uitvoering van onderhoudswerkzaamheden aan een boorgat. Het toezicht op de uitvoering van een frac-job als onderdeel van het onderhoud van een boorgat zal dus plaats moeten vinden hetzij op basis van vrijwillige rapportages hetzij door controles op locatie door een van de ambtenaren van Staatstoezicht op de mijnen.

Vrijgave van informatie

Koolwaterstoffen, waaronder schalie- en steenkoolgas, worden gewonnen met gebruikmaking van productieputten geboord vanaf een mijnbouwwerk bestemd voor de winning, de

¹ Artikel 127, eerste lid, van de Mijnbouwwet.
² Artikel 129, eerste lid, van de Mijnbouwwet.
³ Artikel 126, tweede lid, van de Mijnbouwwet.
⁴ Artikel 76 Mijnbouwbesluit.

productielocatie. In geval van winning van schaliegas wordt vanuit al deze productieputten het gesteente waarin zich het aardgas bevindt, gefraced.

Voor de oprichting en het gebruik van een productielocatie is een Wabo-milieu-vergunning nodig (zie hierboven). Aanvraag en ontwerpbesluit van deze Wabo-milieu-vergunning worden ter inzage gelegd¹ en een kennisgeving hiervan wordt gepubliceerd in de Staatscourant en één of meer dag-, nieuws-, of huis-aan-huisbladen.

De aanleg van de productieputten voor de winning van schalie- en steenkoolgas en het fraccen vindt plaats met behulp van een mobiele installatie. Tenminste 4 weken voor aanvang van deze activiteiten moet een melding onder de Barmm worden gedaan (zie hierboven). Van deze melding wordt kennis gegeven in de Staatscourant en één of meer dag-, nieuws-, of huis-aan-huisbladen. De melding en bijbehorende gegevens worden niet ter inzage gelegd maar eenieder kan met een beroep op de Wet openbaarheid bestuur kennis van deze gegevens krijgen tenzij verstrekking van deze gegevens op grond van artikel 10 van deze wet achterwege moet blijven². Met een beroep op de Wet openbaarheid van bestuur kan tevens het betreffende werkprogramma worden opgevraagd.

Het winnen van schalie- en steenkoolgas geschiedt overeenkomstig een winningsplan. Het winningsplan behoeft de instemming van de Minister van Economische Zaken. De ratio achter het winningsplan en de vereiste instemming van de Minister van Economische Zaken is de doelmatige winning van de Nederlandse bodemschatten waarbij schade ten gevolge van beweging van de aardbodem als gevolg van deze winning zoveel mogelijk wordt voorkomen.

Het winningsplan geeft vrij gedetailleerde informatie over de wijze waarop het voorkomen waarop het van toepassing is wordt ontwikkeld³. Het geeft geen operationele informatie maar bijvoorbeeld wel een overzicht van alle productieputten die naar het betreffende voorkomen zullen worden geboord, de productielocatie(s) waarvandaan deze putten worden geboord en of gefraced zal worden.

Het winningsplan en het ontwerp besluit tot instemming met het winningsplan worden ter inzage gelegd⁴ en een kennisgeving wordt hiervan gepubliceerd in de Staatscourant en één of meer dag-, nieuws-, of huis-aan-huisbladen.

¹ Op de terinzagelegging van de bij of in het kader van de aanvraag ingediende stukken is artikel 10 van de Wet openbaarheid van bestuur van toepassing. Dit betekent in dit geval dat alle stukken ter inzage worden gelegd tenzij het vertrouwelijke bedrijfs- of fabricagegegevens betreft.

² Verstrekking blijft in ieder geval achterwege indien het vertrouwelijke bedrijfs- of fabricagegegevens betreft.

³ Artikel 24 van het Mijnbouwbesluit geeft de inhoud van het winningsplan.

⁴ Op de terinzagelegging van de bij of in het kader van de aanvraag ingediende stukken is artikel 10 van de Wet openbaarheid van bestuur van toepassing. Dit betekent in dit geval dat alle stukken ter inzage worden gelegd tenzij het vertrouwelijke bedrijfs- of fabricagegegevens betreft.

3. CONCLUSIES

3.1. Toetsing winningvergunningsaanvragen voor schalie- of steenkoolgas

Schalie- en steenkoolgas zijn koolwaterstoffen die zich bevinden in slecht doorlatend gesteente in de diepe ondergrond. Alleen met behulp van een groot aantal horizontale putten kan winning plaatsvinden, waarbij in het geval van schaliegas het gesteente gefracted wordt.

De Mijnbouwwet kent een beperkt aantal weigeringsgronden voor aanvragen voor winningsvergunningen voor koolwaterstoffen:

- a. de economische winbaarheid van het betreffende voorkomen van koolwaterstoffen;
- b. de kwalificaties van de aanvrager: zijn technische en financiële capaciteit en de wijze waarop hij onder eerder aan hem verleende vergunningen mijnbouwactiviteiten heeft uitgevoerd;
- c. de praktische uitvoerbaarheid en de doelmatigheid van de door de aanvrager voorgenomen winningsactiviteiten en de voortvarendheid waarmee deze activiteiten zullen worden uitgevoerd.

Aanvragen voor winningsvergunningen voor schalie- en steenkoolgas kunnen niet worden geweigerd op grond van het feit dat deze koolwaterstoffen zullen worden gewonnen met gebruikmaking van bestaande technieken zoals horizontale boringen van waaruit het gesteente waarin zich het schaliegas bevindt zal worden gefracted.

3.2. Toetsing veilige ontwikkeling schalie- en steenkoolgasactiviteiten

Afgezien van het grotere ruimtebeslag van de productielocaties van schalie- of steenkoolgas, is het belangrijkste verschil tussen de winning van schalie- of steenkoolgas en conventionele winning van koolwaterstoffen het grote aantal productieputten dat nodig is om dit gas economisch te kunnen winnen. Dit gecombineerd met het feit dat, in geval van schaliegas, vanuit al deze putten zal moeten worden gefracted om te kunnen produceren.

Wet- en regelgeving en toezicht op fraccen

Fraccen wordt in de Nederlandse wet- en regelgeving niet als aparte activiteit benoemd. Fraccen wordt beschouwd als onderdeel van de aanleg van een boorgat of, indien het fraccen in een later stadium van het leven van een productieput plaatsvindt, van het onderhoud van een boorgat.

Aanbeveling toezicht fraccen

In het kader van het toezicht op het fraccen, met name als het fraccen plaatsvindt als onderhoud van een productieput, is het aan te bevelen om het fraccen als aparte activiteit te benoemen en in het Mijnbouwbesluit op te nemen dat het 'frac-programma' tenminste 4 weken voor aanvang van het fraccen bij de inspecteur-generaal der mijnen moet worden ingediend. De inhoud van het frac-programma kan dan in de Mijnbouwregeling nader geregeld worden.

Vrijgave van informatie

Afgezien van gegevens waarop artikel 10 van de Wet openbaarheid van bestuur van toepassing is (de vertrouwelijke bedrijfs- of fabricagegegevens), is alle informatie over mijnbouwactiviteiten in beginsel beschikbaar. Afgezien van de vertrouwelijke bedrijfs- of fabricagegegevens worden gegevens, ingediend in het kader van de aanvraag om een Wabomilieu-vergunning voor de oprichting en het gebruik van het mijnbouwwerk en de instemming met een winningsplan, ter inzage gelegd. De gegevens ingediend in het kader van de

melding onder het Barmm, kunnen evenals het werkprogramma voor de aanleg van een boorgat, met een beroep op de Wet openbaarheid van bestuur bij de Minister van Economische Zaken worden opgevraagd.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Nederlandse wet- en regelgeving (zie schema bij Onderzoeksvraag A.1.1).
- [ref. 2.] Brief van de inspecteur-generaal der mijnen van 6 december 2011 aan alle uitvoerders in Nederland getiteld 'SodM prioriteiten bij beoordeling van onshore boorprogramma's'.
- [ref. 3.] 'Fact sheet: fracking nader toegelicht' van de Nederlandse Olie en gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPA).
- [ref. 4.] Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement On the Oil, Gas and Solution Mining, Regulatory Program, Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs' by the New York State Department of Environmental Conservation.
- [ref. 5.] 'Aardgas- en aardolieboringen op land, buiten gevoelig gebied' een milieueffectanalyse voor land, mei 2012, rapport geschreven door DHV B.V. in opdracht van NOGEPA.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.2
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/228
status	definitief
datum opmaak	19 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Bescherming boringsvrije zones	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
3. CONCLUSIES	4
4. REFERENTIES	5

1. VRAAGSTELLING

Onderzoeksvraag B.5.2 is als volgt geformuleerd:

De Nederlandse wetgeving aangaande mijnbouw en (mijnbouw) milieu maakt geen gewag van gedeveerde en horizontale boringen. Ga na hoe wordt omgegaan met boringsvrije zones en of deze voldoende worden beschermd. Geef aan hoe rekening gehouden wordt met de mogelijke gevolgen van de grensoverschrijdende aard van horizontale boringen.

1.1. Bescherming boringsvrije zones

Op grond van een provinciale milieuverordening kunnen boringsvrije zones worden ingesteld. De vraag is of deze zones voldoende worden beschermd, met name daar waar boringen gezet worden vanaf een mijnbouwwerk gelegen buiten het gebied van de boringsvrije zone.

1.2. Afbakening

De vraag is beantwoord aan de hand van bestaande wet- en regelgeving [ref. 1.] en [ref. 2.]. Enkele provinciale milieuverordeningen [ref. 3.] en [ref. 4.] zijn bekeken, maar niet in de analyse betrokken. Bij de beantwoording van de vraag is ervan uitgegaan dat boringsvrije zones in de provinciale milieuverordeningen zijn gedefinieerd onafhankelijk van de bovengrondse locatie van het mijnbouwwerk waarvandaan een boring wordt gezet.

1.3. Aanpak

De vraag betreft de bescherming van boringsvrije zones onder de Nederlandse wetgeving. Bij de beantwoording van de vraag is gebruik gemaakt van deze wetgeving alsmede enkele provinciale milieuverordeningen.

2. ANALYSE

Boringsvrije zones zijn gebieden, al dan niet in diepte beperkt, die bij provinciale milieuverordening zijn aangewezen ter bescherming van de kwaliteit van het grondwater met het oog op de waterwinning.

De provinciale milieuverordening is gebaseerd op artikel 1.2 van de Wet milieubeheer [ref. 5.]. De in de provinciale milieuverordening opgenomen regels met betrekking tot de boringsvrije zones gelden voor alle in deze gebieden te zetten boringen dus ook voor boringen gericht op de opsporing of winning van koolwaterstoffen, waaronder schalie- en steenkoolgas.

De regels die van toepassing zijn in boringsvrije zones, gelden voor dat deel van een boorgat dat zich bevindt in deze zone, ongeacht de bovengrondse locatie van het mijnbouwwerk waarvandaan de betreffende boring wordt gezet. Een verbod op het aanleggen van een boorgat in een boringsvrije zone betekent dus dat geen enkel deel van een boorgat zich mag bevinden in de boringsvrije zone. Er is dus geen sprake van een 'grensoverschrijdende aard' van horizontale boringen.

3. CONCLUSIES

Boringsvrije zones zijn gebieden, al dan niet in diepte beperkt, die zijn ingesteld bij provinciale milieuverordening. De regels van, en verboden uit, deze verordeningen gelden voor alle in de betreffende verordening omschreven boringen dus ook voor boringen gericht op de opsporing of winning van schalie- of steenkoolgas.

Indien de boringsvrije zone goed is gedefinieerd in de provinciale milieuverordening, geldt de verordening ongeacht de bovengrondse locatie van het mijnbouwwerk waarvandaan een boring wordt gezet. Een horizontale boring kan dan niet 'grensoverschrijdend' zijn.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit.
- [ref. 3.] Provinciale Milieuverordening Utrecht.
- [ref. 4.] Provinciale Milieuverordening Gelderland.
- [ref. 5.] Wet Milieubeheer.

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.3
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/229
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Wet- en regelgeving monitoring integriteit boorgat	4
2.2. Monitoring gebruik chemicaliën bij aanleg en fraccen van een boorgat	4
2.3. Gebruik, monitoring, controle en wet- en regelgeving chemicaliën bij winning koolwaterstoffen	4
3. CONCLUSIES	5
3.1. Wet- en regelgeving monitoring integriteit boorgat	5
3.2. Monitoring en controle gebruik chemicaliën bij aanleg en fraccen van een boorgat	5
3.3. Gebruik, monitoring, controle en wet- en regelgeving chemicaliën bij winning koolwaterstoffen	5
4. REFERENTIES	6

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Onderzoeksvraag B.5.3 is als volgt geformuleerd:

Geef aan hoe de monitoring van, en controle op boortrajecten, chemicaliëngebruik, integriteitsfalen van boorgangen, et cetera op korte, middellange en lange termijn (dus ook na het productieve leven van de put) is geregeld en hoe is dit vastgelegd in de wet- en regelgeving.

1.2. Afbakening

Onderzoeksvraag B.5.3 is gesteld in het kader van het onderzoek naar de veiligheid bij de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland. Aangenomen is daarom dat met de termen 'boortraject' en 'boorgang' wordt bedoeld 'boorgat' of 'productieput'.

Schalie- en steenkoolgas wordt tot nu toe alleen vanaf landlocaties gewonnen. Voor zover er voor de beantwoording van de vragen een verschil is tussen mijnbouwwerken op land en mijnbouwwerken in oppervlaktewateren (mijnbouwinstallaties) worden de vragen beantwoord vanuit de wet- en regelgeving die van toepassing is op mijnbouwwerken op land.

Voor het antwoord op de vraag naar de wijze waarop de aanleg van een boorgat en de stabiliteit van een productieput tijdens het productieve leven van een put worden gemonitord en gecontroleerd wordt verwezen naar onderzoeksvraag A.3.4. Dit onderwerp komt bij deze onderzoeksvraag slechts summier aan de orde.

Een productieput wordt na beëindiging van zijn productieve leven hetzij gebruikt als injectieput van bijvoorbeeld uit het betreffende aardolie- of aardgasveld afkomstig productiewater hetzij buitengebruik gesteld. Ingeval een productieput wordt gebruikt als injectieput vindt monitoring en controle plaats op dezelfde wijze als tijdens de productiefase van de put. Ingeval een productieput niet meer wordt gebruikt dan wordt deze buiten gebruik gesteld overeenkomstig de regels voor de buiten gebruikstelling van een boorgat. Tot buitengebruikstelling wordt een productieput op dezelfde wijze gemonitord en gecontroleerd als tijdens de productiefase. Na buitengebruikstelling worden boorgaten en productieputten niet meer gemonitord of gecontroleerd. De buitengebruikstelling van boorgaten en productieputten valt onder vraag B.5.6 en wordt hier niet besproken.

Chemicaliën worden gebruikt bij het boren en bij het fraccen. Het antwoord op de vraag naar de controle en de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik van chemicaliën bij boren en fraccen wordt gegeven bij de beantwoording van onderzoeksvraag B.5.5 en wordt hier niet besproken.

In het kader van onderzoeksvraag B.5.3 worden de volgende vragen beantwoord:

1. de wet- en regelgeving die van toepassing is op de monitoring van de integriteit van een boorgat en een productieput;
2. de wijze waarop het gebruik van chemicaliën tijdens de aanleg van een boorgat en het fraccen wordt gemonitord;
3. de wijze waarop het gebruik van chemicaliën tijdens het leven van een put wordt gemonitord en gecontroleerd en de wet- en regelgeving die van toepassing is.

1.3. Aanpak

De vragen betreffen de wet- en regelgeving die van toepassing is op boorgaten en het gebruik van chemicaliën in het kader van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas. De vragen zijn beantwoord aan de hand van de Nederlandse wet- en regelgeving [ref. 1.] tot [ref. 4.], de REACH verordening¹ [ref. 5.] en consultatie met Staatstoezicht op de mijnen.

¹ Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), tot oprichting van een Europees Agentschap voor chemische stoffen, houdende wijziging van richtlijn 1999.45/EG en houdende intrekking van diverse verordeningen en richtlijnen.

2. ANALYSE

2.1. Wet- en regelgeving monitoring integriteit boorgat

De integriteit van een boorgat wordt zowel tijdens de aanleg als na de inrichting van een boorgat als productie- of injectieput gemonitord.

Tijdens de aanleg van een boorgat wordt de integriteit van het boorgat gemonitord door middel van drukmetingen aan de beveiligingsinstallatie van het boorgat, de zogenaamde blow out preventer of BOP. De artikelen 67 tot en met 70 en 73 van het Mijnbouwbesluit [ref. 2.] en de paragrafen 8.3.1 tot en met 8.3.3 van de Mijnbouwregeling [ref. 3.] zijn van toepassing.

Tijdens het gebruik van een boorgat wordt de integriteit van de put gemonitord door middel van drukmetingen aan de annulaire ruimten (ruimte tussen boorbuis en stijgbuis). De artikelen 67 tot en met 69, 71 en 73 van het Mijnbouwbesluit zijn van toepassing en afdeling 8.4 van de Mijnbouwregeling [ref. 3.] is van toepassing waarbij met name artikel 8.4.4 van de Mijnbouwregeling [ref. 3.] gericht is op de monitoring van de integriteit van een put. Op grond van het derde lid van dit artikel moeten alle afwijkingen in annulaire drukken worden gemeld aan de inspecteur-generaal der mijnen onder het overleggen van een actieprogramma voor het in te stellen onderzoek en eventueel te nemen maatregelen.

2.2. Monitoring gebruik chemicaliën bij aanleg en fraccen van een boorgat

Bij de aanleg van een boorgat en het fraccen worden verschillende chemicaliën gebruikt. Het verbruik van deze chemicaliën wordt geregistreerd door de uitvoerder. Staatstoezicht op de mijnen controleert het gebruik van chemicaliën voor de aanleg van een boorgat en het fraccen vooraf aan de hand van het werkprogramma¹. In het kader van haar taak als toezichthouder op het opsporen en winnen van delfstoffen² controleert Staatstoezicht op de mijnen tijdens de aanleg van een boorgat Staatstoezicht op de mijnen steekproefsgewijs of de op locatie aanwezige chemicaliën in overeenstemming zijn met het door de uitvoerder in het werkprogramma opgegeven chemicaliëngebruik en de registratie van het verbruik.

2.3. Gebruik, monitoring, controle en wet- en regelgeving chemicaliën bij winning koolwaterstoffen

Bij de winning van koolwaterstoffen worden verschillende chemicaliën gebruikt. Op het gebruik van deze chemicaliën is de REACH [ref. 5.] verordening van toepassing. Het verbruik van deze chemicaliën wordt geregistreerd door de uitvoerder³ en steekproefsgewijs door Staatstoezicht op de mijnen gecontroleerd. Het gebruik van chemicaliën bij de winning van koolwaterstoffen en de monitoring hiervan worden geregeld middels de Wabo-milieu-vergunning⁴ voor de betreffende productielocatie [ref. 6.].

¹ Zie verder onderzoeksvraag B.5.5.

² Artikel 127, lid 1, van de Mijnbouwwet.

³ Een van de medehouders van een opsporings- of winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten onder de vergunning mag verrichten of hiertoe opdracht aan een ander mag verlenen.

⁴ de vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

3. CONCLUSIES

3.1. Wet- en regelgeving monitoring integriteit boorgat

De integriteit van een boorgat wordt, totdat het buitengebruik is gesteld, gemonitord door middel van drukmetingen aan het bovengrondse deel van (de inrichting van) het boorgat . Regels hiervoor staan in het Mijnbouwbesluit [ref. 2.] en de Mijnbouwregeling [ref. 3.].

3.2. Monitoring en controle gebruik chemicaliën bij aanleg en fraccen van een boorgat

Het verbruik van chemicaliën bij de aanleg van het boorgat en het fraccen wordt geregistreerd door de uitvoerder en steekproefsgewijs gecontroleerd door Staatstoezicht op de mijnen.

3.3. Gebruik, monitoring, controle en wet- en regelgeving chemicaliën bij winning koolwaterstoffen

Het ge- en verbruik van chemicaliën bij de winning van koolwaterstoffen wordt gereguleerd door de REACH verordening [ref. 5.] en de Wabo-milieu-vergunning [ref. 6.] voor de betreffende productielocatie en steekproefsgewijs gecontroleerd door Staatstoezicht op de mijnen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit.
- [ref. 3.] Mijnbouwregeling.
- [ref. 4.] Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm').
- [ref. 5.] REACH verordening.
- [ref. 6.] Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo).



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.4
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/230
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag B.5.4	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Deelvragen	2
1.4. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Deelvraag 1: Risicobepaling conventioneel gas	4
2.2. Deelvraag 2: Relatie tot boortrajecten en -afstanden	6
2.3. Deelvraag 3: Toepassing op onconventioneel gas	6
2.4. Deelvraag 4: Cumulatieve risico's	7
2.5. Deelvraag 5: Beoordeling berekeningen	8
2.6. Deelvraag 6: Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties	8
3. CONCLUSIES	10
3.1. Deelvraag 1: Risicobepaling conventioneel gas	10
3.2. Deelvraag 2: Relatie tot boortrajecten en -afstanden	10
3.3. Deelvraag 3: Toepassing op onconventioneel gas	10
3.4. Deelvraag 4: Cumulatieve risico's	10
3.5. Deelvraag 5: Beoordeling berekeningen	10
3.6. Deelvraag 6: Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties	10
4. REFERENTIES	12

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag B.5.4

De vraagstelling met betrekking tot dit deelonderzoek luidt als volgt:

Geef een overzicht van hoe momenteel risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend en bepaald worden bij de conventionele gasbronnen. Ga hierbij na hoe deze berekeningen omgaan met geplande boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden. Zijn deze methodes toereikend voor de onconventionele gaswinning? Ga na hoe cumulatieve risico's van nieuwe mijnbouwactiviteiten gecombineerd worden met reeds bestaande andere activiteiten bovengronds. Wie beoordeelt de uitgevoerde berekeningen, en zijn zij hiertoe voldoende toegerust? Geef inzicht in de manier waarop nieuwe risico's aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar worden gemaakt, en geef aan of hiervoor een voldoende wettelijk kader bestaat.

1.2. Afbakening

Onderzoeksvragen B.5.4 zijn gesteld in het kader van het onderzoek naar de veiligheid bij de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland. Aangenomen is daarom dat met de term 'gasbronnen' en 'gaswinning' wordt bedoeld 'de opsporing en winning van aardgas'.

Schalie- en steenkoolgas wordt tot nu toe alleen vanaf landlocaties gewonnen. De vragen worden daarom beantwoord vanuit de wet- en regelgeving die van toepassing is op mijnbouwwerken op land.

1.3. Deelvragen

Bovenstaande vraagstelling kan worden opgedeeld in de volgende deelvragen.

Deelvraag 1: Risicobepaling conventioneel gas

Hoe worden momenteel risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend en bepaald bij de conventionele gasbronnen?

Deelvraag 2: Relatie tot boortrajecten en -afstanden

Hoe gaan deze berekeningen om met geplande boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden?

Deelvraag 3: Toepassing op onconventioneel gas

Zijn deze methodes toereikend voor de onconventionele gaswinning?

Deelvraag 4: Cumulatieve risico's

Hoe worden cumulatieve risico's van nieuwe mijnbouwactiviteiten gecombineerd met reeds bestaande andere activiteiten bovengronds?

Deelvraag 5: Beoordeling berekeningen

Wie beoordeelt de uitgevoerde berekeningen en is men hiertoe voldoende toegerust?

Deelvraag 6: Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties

Hoe worden nieuwe risico's aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt en bestaat hiervoor een voldoende wettelijk kader?

1.4. Aanpak

Deze vraag is beantwoord op basis van een studie van beschikbare relevante literatuur, waaronder wet- en regelgeving, aangevuld met industriespecifieke kennis die is verkregen uit de antwoorden op vragen gesteld aan de Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPA) en Staatstoezicht op de mijnen (SodM).

2. ANALYSE

2.1. Deelvraag 1: Risicobepaling conventioneel gas

Hoe worden momenteel risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend en bepaald bij de conventionele gasbronnen?

Het Besluit Risico's Zware Ongevallen (BRZO) is in beginsel¹ niet van toepassing op mijnbouwwerken voor de opsporing en winning van koolwaterstoffen. Mijnbouwwerken zijn (nog) niet aangewezen als inrichtingen waarop het Besluit externe veiligheid inrichtingen ('Bevi') van toepassing is.

Echter, vooruitlopend op de aanwijzing van mijnbouwwerken als inrichtingen waarop het Bevi van toepassing is, wordt in het Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm') en voor de verlening van de mijnbouwmilieuvergunning² en de Wabo-milieu-vergunning³ voorgeschreven dat de berekeningen van risicocontouren, het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van een mijnbouwwerk worden uitgevoerd conform het Bevi en de Regeling externe veiligheid inrichtingen ('Revi'), dat wil zeggen met behulp van het software programma SAFETI-NL [ref. 5.] en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [ref. 1.].

In het Bevi zijn normen voor het plaatsgebonden risico vastgelegd en geldt een verantwoordingsplicht voor het groepsrisico van een inrichting. Op grond van beide risico's kunnen de veiligheidsafstanden rond risicobedrijven worden bepaald.

Het plaatsgebonden risico is de kans dat per jaar een persoon, die onbeschermd op een plaats buiten de locatie verblijft, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongevoerd voorval met betrekking tot de installaties waarbij een gevaarlijke stof betrokken is [ref. 1.]. De officiële definitie van het groepsrisico in art. 1 van het Bevi luidt in lijn hiermee:

'de cumulatieve kans per jaar dat ten minste 10, 100 of 1.000 personen overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een inrichting en een ongevoerd voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is'

Voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten gelden andere risicocontouren. Voor kwetsbare objecten geldt een richtwaarde van 10^{-6} en voor beperkt kwetsbare objecten een norm van 10^{-5} . Voorbeelden van kwetsbare objecten zijn woningen, scholen en ziekenhuizen. Beperkt kwetsbare objecten zijn overige objecten waar personen kunnen verblijven, zoals (kleinere) kantoren, winkels en sportterreinen [ref. 1.].

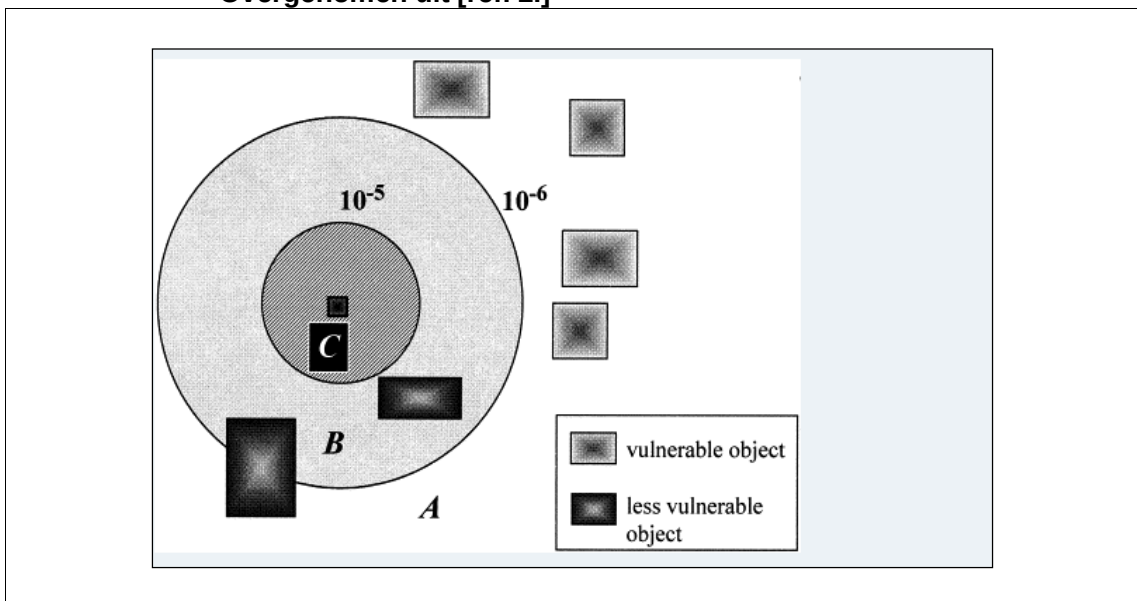
Onderstaande afbeeldingen verduidelijken deze situatie.

¹ Het BRZO is wel van toepassing indien op een mijnbouwwerk gevaarlijke stoffen worden opgeslagen die verband houden met op het mijnbouwwerk uitgevoerde chemische en thermische verwerkingsactiviteiten.

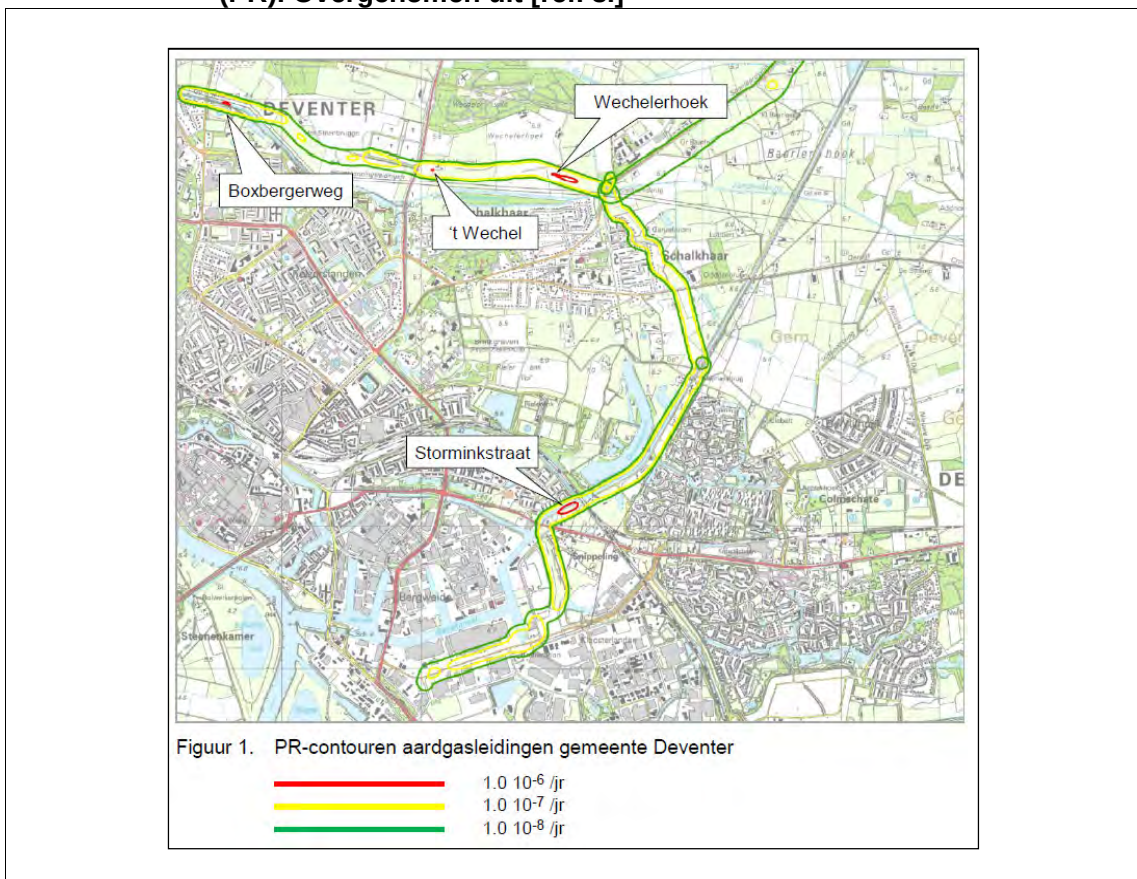
² De vergunning verleend op grond van artikel 40, tweede lid, van de Mijnbouwwet voor die gevallen waar het Barmm niet van toepassing is op de uitvoering van activiteiten met een mobiele installatie op een mijnbouwwerk.

³ De vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

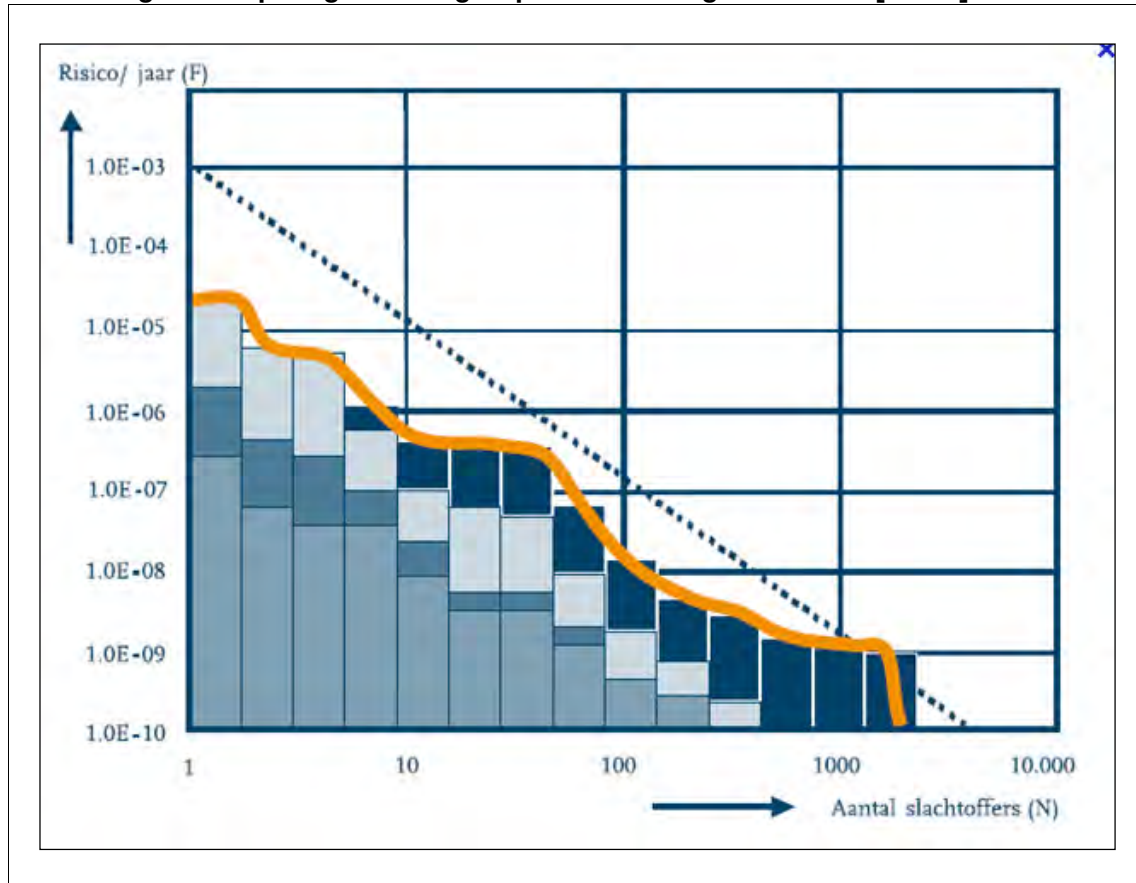
Afbeelding 2.1. Risicocontouren voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten. Overgenomen uit [ref. 2.]



Afbeelding 2.2. Risicocontouren voor het bepalen van het plaatsgebonden risico (PR). Overgenomen uit [ref. 3.]



Afbeelding 2.3. Bepaling van het groepsrisico. Overgenomen uit [ref. 4.]



Het verschil tussen de conventionele en onconventionele opsporing en winning van aardgas is het feit dat bij laatstgenoemde het gesteente waarin zich het aardgas bevindt per definitie wordt gefracted en bij eerstgenoemde bij uitzondering. Er worden geen bijzondere eisen gesteld aan de berekening van risicocontouren, het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van een mijnbouwwerk in verband met een frac-operatie.

2.2. Deelvraag 2: Relatie tot boortrajecten en -afstanden

Hoe gaan deze berekeningen om met geplande boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden?

Berekeningen van risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico zijn in principe onafhankelijk van de planning van boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden. Het uitgangspunt hierbij is dat de risico's die in dit verband worden berekend, alleen betrekking hebben op bovengrondse activiteiten.

Hoe wordt omgegaan met de berekening van eventuele risico's als gevolg van eventuele aardbevingen die door het fraccen zouden kunnen ontstaan, wordt meegenomen bij de beantwoording van deelvraag B.4.9.

2.3. Deelvraag 3: Toepassing op onconventioneel gas

Zijn deze methodes toereikend voor de onconventionele gaswinning?

De schaliegaswinning die ondergronds plaatsvindt, zal in relatie tot de bovengrondse installaties geen andere fysieke humane risico's met zich meebrengen, noch risico's voor de bovengrondse ruimtelijke ordening. Zoals in onderzoeksnotitie B.2.7 wordt beschreven, zijn de risico's op blow-outs bij schaliegaswinning aanzienlijk kleiner. Zie ook de eerdere opmerking met betrekking tot het risico op eventuele aardbevingen.

2.4. Deelvraag 4: Cumulatieve risico's

Hoe worden cumulatieve risico's van nieuwe mijnbouwactiviteiten gecombineerd met reeds bestaande andere activiteiten bovengronds?

In lijn met bovengenoemde kan worden gesteld dat voor iedere nieuwe mijnbouwactiviteit, steeds hetzelfde beoordelingskader zal worden toegepast. Hierbij worden risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend conform eerder beschreven methodiek en dienen de voorschriften van het Barmm, de mijnbouwmilieuvergunning en/of de Wabomilieu-vergunning te worden gevolgd. Daarnaast moet voor ieder mijnbouwwerk op grond van artikel 2.42f van het Arbeidsomstandighedenbesluit [ref. 9.] een zogenaamd veiligheids- en gezondheidsdocument ('VG document') worden opgesteld waarin een interne risico-inventarisatie en -evaluatie voor het mijnbouwwerk is opgenomen. Op grond van artikel 37, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit moet dit VG document mede betrekking hebben op de externe veiligheid van het mijnbouwwerk waaronder begrepen de cumulatieve risico's.

Hieronder wordt beschreven hoe in algemene zin met cumulatieve risico's wordt omgegaan. Aangenomen wordt dat op gelijke wijze ook met de ontwikkeling van nieuwe schaliegaswinningslocaties op locaties waar andere activiteiten bovengronds zijn ontplooid, zal worden omgegaan.

Risico's voor risicovolle inrichtingen

Cumulatieve risico's worden meegenomen in de kwantitatieve risicoanalyse ofwel Quantitative Risk Assessment (QRA, zie verderop). Een goedgekeurde methodiek voor het uitvoeren van QRA's is het eerdergenoemde rekenpakket SAFETI-NL [ref. 5.].

In artikel 7 van de Revi, [ref. 6.], is de toepassing van deze rekenmethodiek voorgeschreven voor het vaststellen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor de inrichtingen die vallen onder het Bevi of waarop de rekenmethodiek van het Bevi van toepassing is verklaard. Voor specifieke informatie over het uitvoeren van de QRA, wordt verwezen naar de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [ref. 1.].

Korte uitleg van de QRA:

In de QRA wordt de kans dat een voorval zich voordoet gecombineerd met het effect, wat resulteert in een risico. Hierbij wordt vooralsnog vooral gekeken naar technische aspecten en nog niet specifiek naar menselijke en organisatorische aspecten.

De QRA wordt gebruikt om:

- de veiligheidsrisico's voor de omgeving van de inrichting te kwantificeren;
- de risicobronnen in een installatie te identificeren;
- verschillende ontwerpvarianten met elkaar te vergelijken (met de nadruk op veiligheid);
- prioriteiten te stellen aan kansverlagende of effectbeperkende maatregelen;
- de kosten voor kapitaalintensieve veiligheidsmaatregelen te rechtvaardigen;
- veiligheidsmaatregelen, genomen om incidenten te voorkomen, te verhelderen voor het bevoegd gezag.

Bij het uitvoeren van een QRA worden de volgende stappen doorlopen [ref. 7.]:

1. verzamelen van gegevens: beschrijving van de locatie, de installaties en de omgeving, onder meer met betrekking tot bevolkingsdata;
2. bepaling van mogelijke faalscenario's (ongewenste gebeurtenissen): Met betrekking tot de te bestuderen installatieonderdelen wordt bekeken wat er mis kan gaan, waar ontstaat dan het lek en hoe groot is dit lek;
3. berekening faalfrequentie: Bepaling hoe groot de kans is dat de scenario's optreden;
4. effectberekeningen: Voor de geïdentificeerde faalscenario's wordt bepaald welke gezondheidseffecten er naar verwachting zullen ontstaan ten gevolge van uitstroom van gas of ten gevolge van brand;
5. risicoberekening : $\text{Risico} = \text{kans} * \text{effect} * \text{blootstelling}$. Op basis van de berekende faalfrequenties en de effectberekeningen kunnen het plaatsgebonden risico en het groepsrisico worden bepaald (de risicocontouren zeggen iets over de blootstelling aan het risico).

Naast het bepalen van cumulatieve risico's moeten ook de risicocontouren in acht worden genomen zodat er geen 'latente saneringssituatie' ontstaat, oftewel er zich (beperkt) kwetsbare objecten binnen de risicocontouren bevinden van de projectlocatie en buisleidingen.

2.5. Deelvraag 5: Beoordeling berekeningen

Wie beoordeelt de uitgevoerde berekeningen en is men hiertoe voldoende toegerust?

In principe worden de berekeningen beoordeeld door het bevoegd gezag. Voor mijnbouw-werken is dit SodM.

Beoordeling van de uitgevoerde risicoberekeningen door inspecteurs van SodM gebeurt, afhankelijk van de reputatie van het bedrijf dat de berekeningen heeft uitgevoerd/laten uitvoeren, in wisselende mate van striktheid. Voor gerenommeerde bedrijven wordt de beoordeling veelal beperkt tot een beoordeling van het proces, bijvoorbeeld of de berekeningen verifieerbaar zijn gecontroleerd middels 'third party verification' en goedgekeurd door een onafhankelijke instelling. De berekeningen zijn de verantwoordelijkheid van het betreffende bedrijf. SodM voert de berekeningen niet zelf nogmaals uit.

2.6. Deelvraag 6: Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties

Hoe worden nieuwe risico's aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt en bestaat hiervoor een voldoende wettelijk kader?

Communicatie van risico's aan hulpdiensten

Communicatie van risico's voor de externe veiligheid vindt doorgaans plaats bij de opstelling van het brandbestrijdingsplan voor een mijnbouwwerk, de toetsing van de naleving van de op een inrichting van toepassing zijnde voorschriften en in het reguliere overleg met hulpdiensten binnen de veiligheidsregio waar een inrichting is of wordt gevestigd.

Communicatie met betrekking tot milieu-inspecties

Communicatie van risico's aan milieu-inspecties vindt doorgaans plaats aan de hand van toetsing van de vergunningsvoorschriften en in het reguliere overleg met inspecties belast met toezicht op de milieuvoorschriften.

Wettelijk kader

Er is een openbaar register, het zogenaamde Register Risicosituaties Gevaarlijke Stoffen. Dit bevat gegevens over de externe veiligheid rond inrichtingen waar gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, en de externe veiligheid van de omgeving van transportroutes waarover, en buisleidingen waardoor, gevaarlijke stoffen worden getransporteerd. Gemeentelijke en provinciale overheden en de Rijksoverheid zijn verplicht om ten behoeve van dit register gegevens aan te leveren over risicovolle situaties waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken en waarvoor zij beleidsverantwoordelijkheid dragen. De instelling, het onderhoud en het beheer van dit register wordt geregeld in titel 12,2 van de Wet milieubeheer [ref. 8].

Rechtstreeks contact met de hulpdiensten is er in het kader van de opstelling van het brandbestrijdingsplan voor een mijnbouwwerk dat onderdeel is van het eerder genoemde VG document. Het Barmm en de Wabo-milieu-vergunning verplichten de uitvoerder om dit brandbestrijdingsplan op te stellen in overleg met de plaatselijke brandweer.

Daarnaast wordt er op dit moment gewerkt aan de oprichting van Regionale Uitvoeringsdiensten/Omgevingsdiensten.

3. CONCLUSIES

3.1. Deelvraag 1: Risicobepaling conventioneel gas

Hoe worden momenteel risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend en bepaald bij de conventionele gasbronnen?

Risicocontouren, het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van een mijnbouwwerk worden berekend en bepaald met behulp van het software programma SAFETI-NL en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi conform de voorschriften van het Bevi en Revi.

3.2. Deelvraag 2: Relatie tot boortrajecten en -afstanden

Hoe gaan deze berekeningen om met geplande boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden?

Berekeningen van risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico zijn in principe onafhankelijk van de planning van boortrajecten (verticaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden. Het uitgangspunt hierbij is dat de risico's die in dit verband worden berekend, alleen betrekking hebben op bovengrondse activiteiten.

3.3. Deelvraag 3: Toepassing op onconventioneel gas

Zijn deze methodes toereikend voor de onconventionele gaswinning?

De schaliegaswinning die ondergronds plaatsvindt zal in relatie tot de bovengrondse installaties geen andere fysieke humane risico's met zich meebrengen, noch risico's voor de bovengrondse ruimtelijke ordening. Er is geen reden aan te nemen dat de methodes van berekening niet toereikend zouden zijn.

3.4. Deelvraag 4: Cumulatieve risico's

Hoe worden cumulatieve risico's van nieuwe mijnbouwactiviteiten gecombineerd met reeds bestaande andere activiteiten bovengronds?

Cumulatieve risico's worden meegenomen in de kwantitatieve risicoanalyse ofwel Quantitative Risk Assessment (QRA). Deze analyse wordt uitgevoerd met behulp van het software programma SAFETI-NL en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi conform de voorschriften van het Bevi en Revi.

3.5. Deelvraag 5: Beoordeling berekeningen

Wie beoordeelt de uitgevoerde berekeningen en is men hiertoe voldoende toegerust?

SodM beoordeelt de berekeningen op basis van de aannames en de gebruikte rekenmethode en de controle van de berekeningen die zijn uitgevoerd door een onafhankelijke deskundige. De onafhankelijke deskundige is hiertoe voldoende toegerust.

3.6. Deelvraag 6: Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties

Hoe worden nieuwe risico's aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt en bestaat hiervoor een voldoende wettelijk kader?

Nieuwe risico's worden aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt bij de opstelling van het brandbestrijdingsplan voor een mijnbouwwerk en in het kader van de toetsing van de op een inrichting toepasselijke voorschriften zoals die opgenomen in Wabomilieu-vergunningen.

Het wettelijk kader voor de kenbaarheid van risico's is het Register Risicosituaties Gevaarlijke Stoffen, dat onder meer gegevens bevat over de externe veiligheid rond inrichtingen waar gevaarlijke stoffen aanwezig zijn.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi), 2004.
- [ref. 2.] P.H Bottelberghs, 'Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands', Journal of Hazardous Materials, Elsevier, 2000.
- [ref. 3.] Adviesgroep AVIV BV, 'Risicocontouren hogedruk aardgasleidingen gemeente Deventer', september 2011, september 2011.
- [ref. 4.] Website kenniscentrum Infomil.
- [ref. 5.] www.safeti.nl.
- [ref. 6.] Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi).
- [ref. 7.] Milieu Effect Rapportage, TAQA Energy, November 2008 Pagina 193 van 265.
- [ref. 8.] Wet Milieubeheer.
- [ref. 9.] Arbeidsomstandighedenbesluit.



Witteveen+Bos
 Hoogoorddreef 56 F
 Postbus 12205
 1100 AE Amsterdam
 telefoon 020 312 55 55
 fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.5
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/231
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen	4
2.2. De verwerking en afvoer van retourwater en productiewater uit steenkoollagen	7
2.3. Openbaarheid van de chemische samenstelling van frac vloeistoffen	7
2.4. De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen	8
3. CONCLUSIES	9
3.1. Het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen	9
3.2. De verwerking en afvoer van retourwater en productiewater uit steenkoollagen	9
3.3. Openbaarheid van de chemische samenstelling van frac vloeistoffen	10
3.4. De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen	10
3.5. Eindconclusie	10
3.6. Aanbeveling	10
4. REFERENTIES	11

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Onderzoeksvraag B.5.5 is als volgt geformuleerd:

Geef een overzicht van de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik van water en van chemicaliën bij dergelijke mijnbouwactiviteiten en de mogelijke lacunes daarin. Neem hierbij ook het mogelijk lozen of zuiveren van het retourwater in ogenschouw. Is de Nederlandse en Europese wet- en regelgeving adequaat om mogelijke risico's te mitigeren? Geef aan in hoeverre de REACH verordening toereikend is voor deze toepassing van chemicaliën.

Is de chemische samenstelling van de frac vloeistof openbare informatie?

Hoe wordt de aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen gereguleerd? En in welk opzicht verschilt dit ten opzichte van andere industrieën, bijvoorbeeld de chemische industrie?

1.2. Afbakening

Onderzoeksvragen B.5.5 zijn gesteld in het kader van het onderzoek naar de veiligheid bij de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland. Aangenomen is daarom dat met de term 'dergelijke mijnbouwactiviteiten' wordt bedoeld de opsporing en winning van de koolwaterstoffen schalie- en steenkoolgas. Evenzo wordt aangenomen dat de vragen zijn gericht op het gebruik en de afvoer van water en chemicaliën als bestanddeel van de vloeistof die wordt gebruikt om schalie- en steenkoollagen te fraccen ('frac-vloeistof') en de afvoer van het uit de steenkoollagen zelf afkomstige water dat vrijkomt bij het in productie nemen van deze lagen ('productiewater').

Bij de beantwoording van de vragen is er tevens vanuit gegaan dat het mijnbouwwerk op land is gelegen en in niet gevoelig gebied. Dit betekent dat het Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm') van toepassing is op de aanleg van de voor de opsporing en winning benodigde boorgaten en het fraccen. Ingeval een mijnbouwwerk is gelegen in gevoelig gebied is het Barmm niet van toepassing. Dan is een vergunning op grond van artikel 40, tweede lid, van de Mijnbouwwet, de zogenaamde mijnbouwmilieuvergunning, vereist (tenzij er voor het mijnbouwwerk een Wabo-milieu-vergunning¹ is of wordt vereist) en een vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998.

De monitoring en controle van het daadwerkelijke gebruik van chemicaliën komt niet bij deze vraag aan de orde, maar wordt behandeld bij de beantwoording van onderzoeksvraag B.5.3.

De Europese regelgeving die van toepassing is op mijnbouwactiviteiten, is in de Nederlandse wetgeving geïmplementeerd en wordt bij de beantwoording van de vragen niet apart behandeld.

Onderzoeksvraag B.5.5 wordt beantwoord aan de hand van de volgende 4 deelvragen naar de wet- en regelgeving die van toepassing is op:

1. het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen;

¹ De vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

2. de verwerking en afvoer van terug-geproduceerde frac-vloeistof en productiewater uit steenkoollagen;
3. de openbaarheid van de chemische samenstelling van frac-vloeistoffen;
4. de aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen.

1.3. Aanpak

De vragen betreffen de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik en de afvoer van water en chemicaliën in het kader van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas. De vragen zijn beantwoord aan de hand van de Nederlandse wet- en regelgeving (waarin de Europese wet- en regelgeving, voor zover niet rechtstreeks geldend, is geïmplementeerd) [ref. 1.] tot [ref. 10.] en de REACH verordening¹ [ref. 11.].

¹ Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), tot oprichting van een Europees Agentschap voor chemische stoffen, houdende wijziging van richtlijn 1999.45/EG en houdende intrekking van diverse verordeningen en richtlijnen.

2. ANALYSE

Algemeen

Voor een overzicht en analyse van de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik, de verwerking en de afvoer van frac-vloeistoffen moet een onderscheid worden gemaakt tussen een frac-operatie uitgevoerd op een mijnbouwwerk alleen bestemd voor de opsporing van koolwaterstoffen (hierna een 'boorlocatie') en op een mijnbouwwerk bestemd voor de (opsporing en) winning van koolwaterstoffen (hierna een 'productielocatie').

Dit onderscheid betreft de Wabo-milieu-vergunning¹. Deze vergunning is voor de oprichting en het in werking hebben van een boorlocatie niet en voor een productielocatie wel vereist. Dit betekent dat de (tijdelijke opsporings)activiteiten op een boorlocatie niet worden gereguleerd door middel van vergunningsvoorschriften, maar door de voorschriften opgenomen in het Barmm. Op een productielocatie wordt de uitvoering van tijdelijke opsporings- en winningsactiviteiten eveneens gereguleerd door het Barmm. Daarnaast zijn op het gebruik van de productielocatie de voorschriften van toepassing zoals opgenomen in de Wabo-milieu-vergunning. Uiteraard geldt voor een productie- en een boorlocatie ook alle in het algemeen op een mijnbouwwerk en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wetgeving².

2.1. Het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen

Algemeen

Fraccen is een techniek om de doorlaatbaarheid van gesteenten, waarin zich koolwaterstoffen bevinden, plaatselijk te vergroten. Bij fraccen wordt een vloeistof bestaande uit water, zand en chemicaliën via een boorgat onder druk het gesteente ingepompt. Een deel van deze frac-vloeistof wordt vervolgens terug-geproduceerd ('het retourwater'). Dit terugproduceren van de frac-vloeistof is onderdeel van de frac-operatie.

Bij de bespreking van de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik van water en chemicaliën voor fraccen is een onderscheid gemaakt tussen het ondergrondse en bovengrondse deel van deze activiteit.

Ondergronds

'Het is verboden zonder vergunning van Onze Minister: stoffen op te slaan', aldus artikel 25, eerste lid, van de Mijnbouwwet waarbij onder het opslaan van stoffen wordt verstaan 'het brengen of houden van stoffen op een diepte van meer dan 100 m beneden de oppervlakte van de aardbodem, dan wel het terughalen van die stoffen, anders dan het in de ondergrond brengen of houden of daaruit terughalen van stoffen gericht op het onttrekken van aardwarmte aan de ondergrond'³.

De verplichting tot het hebben van een opslagvergunning voor het in de diepe ondergrond brengen van stoffen geldt niet met betrekking tot bij algemene maatregel van bestuur omschreven categorieën van gevallen⁴. In artikel 28 sub b van het Mijnbouwbesluit wordt als een van deze categorieën van gevallen omschreven:

'het opslaan van stoffen die gebruikt worden voor:

1. het opsporen en winnen van delfstoffen en aardwarmte;

¹ De vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

² Zie antwoord op vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

³ Artikel 1 sub i van de Mijnbouwwet.

⁴ Artikel 25, tweede lid, van de Mijnbouwwet.

2. het opslaan van stoffen, waarvoor een vergunning op basis van artikel 25 van de wet vereist is, of;
3. het aanleggen van een boorgat dieper dan 500 m beneden de oppervlakte van de aardbodem, buiten de in de onderdelen 1 en 2 bedoelde gevallen’.

Blijkens de Nota van Toelichting op artikel 28 sub b van het Mijnbouwbesluit betreft bovengenoemde categorie het in de ondergrond brengen van stoffen zonder welke geen behoorlijke mijnbouw zou kunnen plaatsvinden. Het in de ondergrond brengen van frac-vloeistoffen is noodzakelijk voor de winning van koolwaterstoffen uit slecht doorlaatbaar gesteente en valt hiermee onder de omschrijving van artikel 28 sub b onderdeel 1. Een opslagvergunning is voor fraccen niet vereist.

Niet alleen is voor fraccen geen opslagvergunning vereist, fraccen wordt bij de uitvoering van het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling ook niet beschouwd als het opslaan van stoffen. Een opslagplan¹ is voor fraccen niet vereist. Fraccen wordt beschouwd als onderdeel van de aanleg van een boorgat of, indien fraccen op een later tijdstip (nogmaals) plaatsvindt, als onderhoudswerkzaamheid aan een productieput.

Op het in de diepe ondergrond brengen van een frac-vloeistof zijn de regels voor de aanleg en het onderhoud van een boorgat en de REACH verordening van toepassing.

De regels voor de aanleg en het onderhoud van een boorgat reguleren het in de ondergrond brengen van een frac-vloeistof niet anders dan in termen van de algemene zorgplicht neergelegd in artikel 67 van het Mijnbouwbesluit: ‘bij het aanleggen, gebruiken, onderhouden, repareren en buiten gebruik stellen van een boorgat worden maatregelen genomen ter voorkoming van schade’.

De REACH verordening legt onder andere gebruikers van bepaalde aangewezen chemicaliën de verplichting op informatie te verzamelen over de eigenschappen van deze chemicaliën, de aan het gebruik van deze chemicaliën verbonden risico's te beoordelen en de nodige maatregelen te nemen om de eventuele door hen geconstateerde risico's te beheeren.

De controle vooraf op het gebruik van chemicaliën in een frac-vloeistof wordt uitgevoerd door het Staatstoezicht op de mijnen ('SodM'). In het werkprogramma voor de aanleg van een boorgat dat tenminste 4 weken voor aanvang van de boring bij SodM moet zijn ingediend², moet een lijst worden opgenomen van de bij de aanleg van het boorgat en het eventuele fraccen te gebruiken chemicaliën. Dit inclusief een evaluatie waaruit blijkt dat aan de eisen van de REACH verordening wordt voldaan.

Evenals de aanleg van een boorgat geschiedt het onderhoud van een boorgat ('productieput'³) overeenkomstig een werkprogramma. Het werkprogramma voor het onderhoud van een productieput hoeft niet bij SodM te worden ingediend. In het kader van haar rol als toezichthouder kan SodM dit werkprogramma opvragen en vragen om een lijst met eventueel te gebruiken chemicaliën en een evaluatie daarvan.

Bovengronds

Op een mijnbouwwerk is alle in het algemeen op een inrichting en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wet- en regelgeving van toepassing. Deze wet- en regelgeving is gericht op de bescherming van de veiligheid en het milieu en reguleert niet het

¹ Artikelen 26 en 27 van het Mijnbouwbesluit.

² Zie voor werkprogramma's voor boorgaten punt 3.2 in onderzoeksvraag B.5.1.

³ Een boorgat waarvoor onderhoud noodzakelijk is, is een boorgat dat wordt gebruikt voor de winning (niet de opsporing).

gebruik van water als zodanig op het mijnbouwwerk tenzij grondwater wordt gebruikt¹. De REACH verordening reguleert het gebruik van chemicaliën op een mijnbouwwerk. De overige algemene wet- en regelgeving geeft regels ter voorkoming van schade aan de veiligheid en het (bovengrondse) milieu als gevolg van dit gebruik, met name als gevolg van emissies van deze chemicaliën naar de bodem, het water en de lucht.

Fraccen, zowel als onderdeel van de aanleg van een boorgat als in het kader van het onderhoud van een productieput, wordt uitgevoerd met behulp van een mobiele installatie die tijdelijk op het mijnbouwwerk wordt geplaatst. Op werkzaamheden uitgevoerd met een mobiele installatie op een mijnbouwwerk dat niet is geplaatst in gevoelig gebied is het Barmm van toepassing.

Het Barmm geeft regels ter bescherming van het (bovengrondse) milieu als gevolg van het gebruik van mobiele installaties. Deze regels betreffen met name geluidsoverlast, emissies naar de lucht, de bodem en het water, de afvoer van afvalstoffen en gevaarlijke stoffen, het energiegebruik van de mobiele installatie en de externe veiligheid. Het Barmm geeft geen regels over het gebruik van chemicaliën bij de uitvoering van werkzaamheden met mobiele installaties.

Sinds 1 januari 2013² vraagt SodM onder verwijzing naar artikel 42 van het Barmm³ de uitvoerder om melding van het gebruik van gevaarlijke chemicaliën bij de uitvoering van werkzaamheden onder het Barmm. Deze melding moet tenminste 4 weken voor aanvang van de werkzaamheden worden gedaan door middel van een formulier. Hiermee moeten zodanige gegevens over de te gebruiken chemicaliën worden aangeleverd dat SodM kan beoordelen [ref. 12.] of voldaan wordt aan de REACH, CLP⁴ [ref. 13.] en Biociden⁵ Verordeningen [ref. 14.].

De REACH verordening is van toepassing op het gebruik van chemicaliën op een mijnbouwwerk. Op een boorlocatie⁶ vindt de controle op het gebruik van chemicaliën plaats door middel van de gegevens die de uitvoerder⁷ bij SodM moet aanleveren. Dit als onderdeel van het werkprogramma voor de aanleg van een boorgat (zie hierboven onder ondergronds). Op een productielocatie wordt het gebruik van chemicaliën ten behoeve van de winning van koolwaterstoffen gecontroleerd in het kader van de aanvraag om de Wabomilieu-vergunning. Het gebruik van chemicaliën, ten behoeve van de aanleg van productieputten en het fraccen wordt gecontroleerd door middel van het werkprogramma (zie hierboven onder ondergronds). In het kader van haar taak als toezichthouder op het opsporen en winnen van delfstoffen⁸ controleert Staatstoezicht op de mijnen tijdens de aanleg van een boorgat steekproefsgewijs of de op locatie aanwezige chemicaliën in overeenstemming zijn met het door de uitvoerder in het werkprogramma opgegeven chemicaliën gebruik en de registratie van het verbruik.

¹ Voor het onttrekken van grondwater is een vergunning op grond van de Waterwet vereist.

² Nieuwsbericht op de website van SodM van 21 december 2012 'Gebruik chemicaliën bij activiteiten op het vasteland'.

³ Verplichting tot aanwezigheid van veiligheidsinformatiebladen van gevaarlijke stoffen op een mobiele installatie.

⁴ Verordening (EG) nr. 1272/2008 van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels.

⁵ Verordening (EG) nr. 528/2012 van het Europees Parlement en de Raad van 22 mei 2012 betreffende het op de markt aanbieden en het gebruik van biociden.

⁶ Opsporen is het doen van onderzoek naar de aanwezigheid van delfstoffen, dan wel naar nadere gegevens daaromtrent, met gebruikmaking van een boorgat (artikel 1 sub e van de Mijnbouwwet). Het opsporen van koolwaterstoffen vindt plaats door het aanleggen (inclusief het eventuele fraccen en testen) van een boorgat.

⁷ Een van de medehouders van een opsporings- of winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten onder de vergunning mag verrichten of hiertoe opdracht aan een ander mag verlenen.

⁸ Artikel 127, lid 1, van de Mijnbouwwet.

Het gebruik van chemicaliën bij de aanleg van een productieput en het fraccen [ref. 15, 16.] zou ook in het kader van de Wabo-milieu-vergunning van de productielocatie kunnen worden gecontroleerd maar dit wordt niet gedaan. De aanleg van een productieput en het fraccen zijn namelijk tijdelijke activiteiten, die de productielocatie als zodanig niet veranderen en al worden gereguleerd door de bepalingen over het boorgat in het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling en door de melding aan SodM onder artikel 42 van het Barmm.

2.2. De verwerking en afvoer van retourwater en productiewater uit steenkoollagen

Fracen vindt plaats bij aanleg van een boorgat of productieput of bij onderhoud van een productieput. Het fraccen wordt uitgevoerd met behulp van een mobiele installatie. In niet gevoelige gebieden is het Barmm op het fraccen van toepassing. Indien fraccen plaatsvindt op een productielocatie is tevens de Wabo-milieu-vergunning van toepassing.

Terug-produceren van frac-vloeistof is onderdeel van de frac-operatie. Het Barmm is op de productie van dit retourwater van toepassing. Artikel 32 van het Barmm bepaalt: 'Bedrijfsafvalwater wordt opgevangen en afgevoerd naar een daartoe bevoegde verwerker, dan wel, indien de beheerder van het vuilwaterriool daartoe toestemming geeft, via het vuilwaterriool.'

Het retourwater wordt niet geloosd maar opgevangen en afgevoerd naar een bevoegd verwerker van dit water.

Het vrijkomen van grote hoeveelheden productiewater bij aanvang van de productie van steenkoolgas valt waarschijnlijk onder de bepalingen van het Barmm, maar zou mogelijk¹ ook kunnen vallen onder een Wabo-milieu-vergunning. Het hangt dan af van de bepalingen van de Wabo-milieu-vergunning wat met het productiewater moet gebeuren. Het is onwaarschijnlijk dat het zou mogen worden geloosd in het vuilwaterriool.

2.3. Openbaarheid van de chemische samenstelling van frac vloeistoffen

De chemische samenstelling van frac-vloeistoffen is geen openbare informatie. Gegevens over de chemische samenstelling van een frac vloeistof die aan een bestuursorgaan² zijn overgelegd in het kader van een bestuurlijke aangelegenheid³ worden echter desgevraagd verstrekt. Dit tenzij het bijvoorbeeld bedrijfsgegevens betreft die vertrouwelijke aan de overheid zijn meegedeeld⁴ of indien het verstrekken van deze gegevens een onevenredige bevoordeling of benadeling ten gevolge heeft van bij de aangelegenheid betrokken (rechts)personen of derden⁵. In laatste instantie bepaalt de rechter aan de hand van genoemde criteria of en in hoeverre de chemische samenstelling van een frac-vloeistof openbaar gemaakt moet worden.

In het kader van het onderhoud heeft Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) in 2012 een viertal productieputten gefracted⁶. NAM heeft op haar website de volledige chemische samenstelling van de gebruikte frac vloeistoffen openbaar gemaakt.

¹ Indien de productie van het water geen onderdeel is van het testen van het boorgat en het Barmm niet van toepassing zou zijn.

² B.v. de Minister van Economische Zaken en Staatstoezicht op de mijnen.

³ Een 'aangelegenheid' die betrekking heeft op beleid van een bestuursorgaan, daaronder begrepen de voorbereiding en de uitvoering ervan' aldus artikel 1 onder b van de Wet openbaarheid van bestuur (Wob).

⁴ Artikel 10, eerste lid, onder c van de Wob.

⁵ Artikel 10, tweede lid, onder g van de Wob. De derde kan bijvoorbeeld de leverancier of fabrikant van een frac vloeistof zijn.

⁶ Zie NAM website www.NAM.nl/nl/downloads/information-fracking.html.

2.4. De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen

Het transport via de weg van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen vanaf een mijnbouwwerk wordt gereguleerd in het Barmm en de voorschriften van de betreffende Wabo-milieu-vergunning¹.

Artikel 41 van het Barmm geeft het volgende, speciaal met het oog op de aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen tijdens de aanleg (en het fraccen) van een boorgat, geschreven voorschrift:

‘Tijdens het transport van de mobiele installatie en het bij het gebruik van de mobiele installatie benodigde en vrijkomende materiaal van en naar een terrein worden de vorming en verspreiding van stof voorkomen. De aan- en afvoerroute van de mobiele installatie en het benodigde en vrijkomende materiaal wordt in overeenstemming met de gemeente en de wegbeheerder vastgesteld.’

Naast het Barmm en de Wabo-milieu-vergunning geldt voor de uitvoerder als degene die het mijnbouwwerk drijft, de algemene zorgplicht bepaling van artikel 2.1 van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit). Dit artikel benoemt in het tweede lid onder k ‘het voorkomen dan wel voor zover dat niet mogelijk is het beperken van de nadelige gevolgen voor het milieu van het verkeer van personen en goederen van en naar de inrichting’ als een onder de zorgplicht vallende plicht van de uitvoerder ter bescherming van het milieu.

De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen tijdens de aanleg van een boring en fraccen is intensief. Voornamelijk in de tijdelijke intensiteit van het transportverkeer van en naar een mijnbouwlocatie verschilt de olie- en gaswinningsindustrie van andere industrieën.

¹ Artikel 5.7, eerste lid, sub d van het Besluit omgevingsrecht verplicht de verlener van de Wabo-milieu-vergunning voorschriften aan de vergunning te verbinden ter beperking van de nadelige gevolgen voor het milieu van het verkeer van personen of goederen van en naar de inrichting.

3. CONCLUSIES

3.1. Het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen

Het gebruik van water als zodanig op een mijnbouwwerk en voor het fraccen in een boorgat wordt niet gereguleerd tenzij grondwater wordt gebruikt. Voor het gebruik van grondwater is een vergunning op grond van de Waterwet noodzakelijk waarin dit gebruik wordt gereguleerd. Het gebruik van chemicaliën op een mijnbouwwerk en het fraccen in een boorgat wordt gereguleerd door de REACH verordening.

De controle vooraf op het gebruik van chemicaliën bij het fraccen in een boorgat als onderdeel van de aanleg van een boorgat vindt plaats door middel van het werkprogramma voor de aanleg van het boorgat dat tenminste 4 weken voor aanvang van de boring in het bezit van de inspecteur-generaal der mijnen moet zijn.

De controle vooraf op het gebruik van chemicaliën bij het fraccen in een boorgat als onderdeel van het onderhoud van een boorgat lijkt plaats te vinden door middel van artikel 42 van het Barmm. Onder verwijzing naar dit artikel verzoekt de inspecteur-generaal der mijnen de uitvoerder van de productielocatie waar het fraccen plaats zal vinden om hem tenminste 4 weken voor aanvang van de activiteiten de gegevens te doen toekomen die benodigd zijn om te kunnen beoordelen of voldaan wordt aan de REACH verordening. Artikel 42 van het Barmm lijkt echter niet geschreven met het oog op een controle vooraf op het gebruik van chemicaliën bij frac-operaties.

Met het oog op de controle vooraf wordt aanbevolen om - net als bij onderzoeksvraag B.5.5 wordt voorgesteld - fraccen in het Mijnbouwbesluit en in de Mijnbouwregeling als aparte werkzaamheid in het boorgat te benoemen. Hiermee kan worden geregeld dat het 'frac-programma' voor aanvang van het fraccen bij de inspecteur-generaal der mijnen wordt ingediend.

Een andere mogelijkheid voor controle vooraf op het gebruik van chemicaliën bij frac-operaties biedt artikel 7 van het Barmm: als onderdeel van de melding van de aanvang van werkzaamheden onder het Barmm kan een overzicht worden gevraagd van de chemicaliën die zullen worden gebruikt bij de betreffende werkzaamheden. Artikel 7 van het Barmm moet hiertoe wel gewijzigd worden in die zin dat een overzicht van te gebruiken chemicaliën moet worden toegevoegd aan de lijst met gegevens die bij de melding moeten worden overgelegd. Daar waar het Barmm niet van toepassing is zal de controle via de mijnbouw-milieuvergunning, de Wabo-milieu-vergunning of het hierboven genoemde frac-programma moeten plaatsvinden.

In het kader van haar rol als toezichthouder op het opsporen en winnen van delfstoffen kan SodM overigens te allen tijde alle gegevens over de bij deze activiteiten gebruikte stoffen opvragen en controleren.

3.2. De verwerking en afvoer van retourwater en productiewater uit steenkoollagen

De verwerking en afvoer van retourwater en productiewater wordt geregeld in het Barmm en, indien van toepassing, de Wabo-milieu-vergunning van de betreffende productielocatie. Retour- en productiewater waar het Barmm op van toepassing is mag niet worden geloosd, maar moet worden opgevangen en afgevoerd naar een bevoegd verwerker. Indien niet het Barmm maar een Wabo-milieu-vergunning op dit water van toepassing zou zijn dan hangt het van de voorschriften van deze vergunning af wat er met dit water moet gebeuren.

3.3. Openbaarheid van de chemische samenstelling van frac vloeistoffen

De openbaarheid van de samenstelling van frac-vloeistoffen hangt af van de beoordeling van het bedrijfsvertrouwelijke karakter van de frac-vloeistoffen onder artikel 10 van de Wet openbaarheid van bestuur.

NB: NAM heeft een voorzet gegeven voor deze beoordeling door op haar website de samenstelling van de door haar in 2012 gebruikte frac-vloeistoffen te publiceren.

3.4. De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen

Het transport via de weg van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen vanaf een mijnbouwwerk worden gereguleerd in het Barmm en de voorschriften van de betreffende Wabo-milieu-vergunning. Dit lijkt voldoende.

3.5. Eindconclusie

De wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik en de aan- en afvoer van chemicaliën en andere (afval)stoffen ten behoeve van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas, lijkt voldoende.

3.6. Aanbeveling

Frac-operaties die niet plaatsvinden tijdens de aanleg van een boorgat maar als onderdeel van het onderhoud van een productieput, zouden als aparte werkzaamheid in een boorgat moeten worden benoemd. Met het oog op frac-operaties in een productieput wordt aanbevolen het fraccen als aparte werkzaamheid in het boorgat te benoemen en de uitvoerder te verplichten tenminste 4 weken voor aanvang van het fraccen een frac-programma in te dienen bij de inspecteur-generaal der mijnen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit.
- [ref. 3.] Mijnbouwregeling.
- [ref. 4.] Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm').
- [ref. 5.] Wet milieubeheer.
- [ref. 6.] Waterwet.
- [ref. 7.] Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit).
- [ref. 8.] Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.
- [ref. 9.] Besluit omgevingsrecht.
- [ref. 10.] Regeling omgevingsrecht.
- [ref. 11.] REACH verordening.
- [ref. 12.] Brief van de inspecteur-generaal der mijnen van 6 december 2011 aan alle uitvoerders in Nederland getiteld 'SodM prioriteiten bij beoordeling van onshore boorprogramma's'.
- [ref. 13.] CLP verordening.
- [ref. 14.] Biociden verordening.
- [ref. 15.] Fact sheet: fracking nader toegelicht' van de Nederlandse Olie en gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPA).
- [ref. 16.] Informatie over chemische stoffen op de website Kenniscentrum InfoMil van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag B.5.6
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/232
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlage	1

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	2
2. ANALYSE	3
2.1. Het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie	3
2.2. Het gebruik van de grond van een voormalige mijnbouwlocatie	4
3. CONCLUSIES	6
3.1. Het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie	6
3.2. Het gebruik van een voormalige mijnbouwlocatie	6
4. REFERENTIES	7
 BIJLAGE	 aantal blz.
I Regels met betrekking tot het buiten gebruik stellen van een productieput	4

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

Onderzoeksvraag B.5.6. is als volgt geformuleerd:

- geef een overzicht van wat in de huidige wet- en regelgeving is geregeld ten aanzien van het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie. Neem nazorg en mogelijke lange termijn effecten hierbij ook in ogenschouw. Geef tevens aan welke risico's verlaten boorputten leveren, nu en in de toekomst?
- geef aan of de bodem van een verlaten mijnbouwlocatie nog 'multifunctioneel' bruikbaar is of dat er gebruiksrestricties gelden. In geval van gebruiksrestricties, wie is aansprakelijk voor de gebruikswaardedaling?

Gevraagd wordt dus een overzicht te geven van de huidige wet- en regelgeving ten aanzien van het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie en hierbij in het bijzonder aandacht te geven aan:

- nazorg en mogelijke lange termijn effecten;
- de risico's die verlaten boorputten leveren, nu en in de toekomst;
- de kwaliteit van de bodem van het terrein van een voormalige mijnbouwlocatie met het oog op eventuele gebruiksrestricties;
- aansprakelijkheid voor eventuele waardedaling van het terrein van een voormalige mijnbouwlocatie als gevolg van het gebruik van dit terrein als mijnbouwlocatie.

1.2. Afbakening

De vraag betreft het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie en het gebruik van de grond waarop het mijnbouwwerk heeft gestaan na beëindiging van de winning. Aangenomen wordt dat met 'mijnbouwwinningslocatie' wordt bedoeld een op land geplaatst mijnbouwwerk bestemd voor de winning van koolwaterstoffen en met 'mijnbouwlocatie' een mijnbouwwerk op land dat hetzij voor de opsporing hetzij voor de winning van koolwaterstoffen is gebruikt.

De hoofdvraag kan worden verdeeld in 2 deelvragen:

1. wet- en regelgeving m.b.t. het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie;
2. het gebruik van een voormalige mijnbouwlocatie.

1.3. Aanpak

De vraag betreft de Nederlandse wet- en regelgeving van toepassing op het verlaten van een mijnbouwwerk bestemd voor de winning en het gebruik van grond waar eerder een mijnbouwwerk op heeft gestaan. Bij de beantwoording van de vraag is gebruik gemaakt van deze wetgeving en de toelichting daarop¹.

¹ Memorie van Toelichting en beantwoording van kamervragen tijdens de totstandkoming van de wetgeving alsmede vakliteratuur.

2. ANALYSE

2.1. Het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie

Op een mijnbouwwerk bestemd voor de winning van koolwaterstoffen is, naast de voor de winning van koolwaterstoffen specifieke bepalingen van de Mijnbouwwetgeving, alle in het algemeen op een inrichting en de daarop uitgevoerde activiteiten van toepassing zijnde wetgeving van toepassing¹. Dit betekent onder andere dat voor een dergelijk mijnbouwwerk een vergunning op grond van artikel 2.1, eerste lid, onder c en e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo-milieu-vergunning') nodig is.

De Mijnbouwwetgeving [ref. 1.] bevat regels met betrekking tot de buiten gebruik stelling van het mijnbouwwerk en de daarvandaan geboorde productieputten². Paragraaf 5.1.4 van het Mijnbouwbesluit [ref. 2.] geeft regels voor het buiten gebruik stellen van het mijnbouwwerk, artikel 72 van het Mijnbouwbesluit en paragraaf 8.2.4 en afdeling 8.5 van de Mijnbouwregeling voor het buiten gebruik stellen van de putten.

Het buiten gebruik stellen van een mijnbouwwerk geschiedt volgens een door de uitvoerder³ bij de Minister van Economische Zaken in te dienen sluitingsplan. Dit sluitingsplan heeft de instemming van de Minister van Economische Zaken die aan deze instemming beperkingen of voorschriften kan verbinden in verband met het risico op schade. Ingevolge artikel 40 van het Mijnbouwbesluit bevat het sluitingsplan ten minste:

- a. een beschrijving van de wijze waarop bij het mijnbouwwerk behorend materiaal zal worden afgevoerd;
- b. een beschrijving van op het mijnbouwwerk aanwezige afvalstoffen en de bestemming ervan;
- c. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen ter voorkoming van schade;
- d. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om het terrein waarop het mijnbouwwerk is opgericht zoveel mogelijk in de oorspronkelijke staat terug te brengen;
- e. voor zover onderdeel d niet mogelijk is: een beschrijving van de toestand waarin het mijnbouwwerk wordt achtergelaten en, voor zover van toepassing, de bestemming ervan;
- f. het tijdstip waarop met de beschreven werkzaamheden wordt aangevangen en waarop deze worden beëindigd, en;
- g. het beoogde tijdstip van de sluiting.

Het buiten gebruik stellen van een productieput geschiedt overeenkomstig een door de uitvoerder opgesteld en bij de inspecteur-generaal der mijnen ingediend werkprogramma. De minimale inhoud van dit werkprogramma wordt voorgeschreven in artikel 8.2.4.1 van de Mijnbouwregeling. De beschrijving van de inhoud van dit werkprogramma en de regels⁴ voor het buiten gebruik stellen van productieputten zijn uitgebreid en vrij technisch. Om deze reden is dit niet in deze tekst opgenomen, maar als bijlage I toegevoegd. De voorschriften zijn erop gericht de productieput zodanig af te sluiten dat de kans op schade na afsluiting, ondergronds zowel als bovengronds, verwaarloosbaar klein is.

Het Mijnbouwbesluit verplicht tot buiten gebruikstelling van een mijnbouwwerk, niet tot verwijdering van het mijnbouwwerk in die zin dat het terrein waarop het mijnbouwwerk is opgericht in de oorspronkelijke staat moet worden teruggebracht. De staat waarin dit terrein,

¹ Zie antwoord vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

² De productieputten en de bovengrondse inrichting worden formeel als geheel als één mijnbouwwerk beschouwd.

³ Een van de medehouders van de winningsvergunning die als enige mijnbouwactiviteiten mag verrichten of hiertoe opdracht aan een ander mag verlenen, zie artikel 22, vijfde lid, van de Mijnbouwwet.

⁴ Artikel 72 van het Mijnbouwbesluit en afdeling 8.5 van de Mijnbouwregeling.

voor buiten gebruik stelling als mijnbouwwerk, moet worden opgeleverd hangt af van de nieuwe bestemming van het terrein en de wensen van de eigenaar¹ van de grond.

Een mijnbouwwerk dat buiten gebruik is gesteld volgens een sluitingsplan, waarmee de Minister van Economische Zaken heeft ingestemd en waaraan hij eventueel extra beperkingen en voorschriften heeft verbonden en waarvan de productieputten buiten gebruik zijn gesteld overeenkomstig de regels van het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling en eventuele extra maatregelen voorgeschreven door de inspecteur-generaal der mijnen,² zou geen bedreiging moeten zijn van de veiligheid voor natuur, mens en milieu. Op de korte noch op de lange termijn.

De (voormalige) houder van een winningsvergunning blijft verantwoordelijk voor een buiten gebruik gesteld mijnbouwwerk en de productieputten, waarmee door hem met gebruikmaking van die winningsvergunning koolwaterstoffen zijn gewonnen. Artikel 33 van de Mijnbouwwet legt een zorgplicht op de (voormalige) houder van een winningsvergunning voor de gevolgen van de met gebruikmaking van die winning verrichte activiteiten. Artikel 33 van de Mijnbouwwet luidt als volgt:

‘De houder van een vergunning als bedoeld in artikel 6³ of 25⁴, dan wel, ingeval de vergunning haar gelding heeft verloren, de laatste houder daarvan, neemt alle maatregelen die redelijkerwijs van hem gevergd kunnen worden om te voorkomen dat als gevolg van de met gebruikmaking van de vergunning verrichte activiteiten:

- a. nadelige gevolgen voor het milieu worden veroorzaakt;
- b. schade door bodembeweging wordt veroorzaakt;
- c. de veiligheid wordt geschaad, of;
- d. het belang van een planmatig beheer van voorkomens van delfstoffen of aardwarmte wordt geschaad.’

2.2. Het gebruik van de grond van een voormalige mijnbouwlocatie

Het antwoord op de vraag of de bodem van een voormalige mijnbouwlocatie nog ‘multi-functioneel’ bruikbaar is hangt af van het antwoord op de vraag of de bodem na verwijdering van het mijnbouwwerk zodanig is verontreinigd dat bepaald gebruik van de bodem niet meer is toegestaan.

De bescherming van de bodem onder een mijnbouwwerk wordt geregeld in het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (‘Barmm’)⁵ [ref. 4.] en de voorschriften van de Wabomilieu-vergunning voor een mijnbouwwerk bestemd voor de winning. Daarnaast is van belang het onder 3.1 hierboven genoemde zorgplichtartikel 33 van de Mijnbouwwet, het zorgplichtartikel 13 van de Wet bodembescherming, het zorgplichtartikel 1.1a van de Wet milieubeheer [ref. 5.] en de saneringsplicht neergelegd in hoofdstuk IV van de Wet bodembescherming [ref. 6.].

Op grond van het Barmm en de voorschriften van de Wabo-milieu-vergunning [ref. 7.] is de uitvoerder verplicht voor aanvang, tijdens⁶ en na beëindiging van de mijnbouwactiviteiten door middel van op het mijnbouwwerk aangebrachte grondwaterpeilbuizen metingen uit te voeren waarbij de samenstelling van de bodem en de aard van de concentratie van moge-

¹ Mijnbouwondernemers zijn vrijwel nooit zelf eigenaar van de grond waarop een mijnbouwwerk wordt opgericht.

² Mogelijk op grond van artikel 67, eerste lid, van het Mijnbouwbesluit.

³ Een opsporings- of winningsvergunning voor delfstoffen of aardwarmte.

⁴ Een opslagvergunning voor stoffen of een opsporingsvergunning voor CO₂ - opslagcomplexen.

⁵ Het Barmm is niet van toepassing op mijnbouwwerken gelegen in gevoelig gebied. Voor mijnbouwactiviteiten in gevoelig gebied is een vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998 vereist waarin op het gebied toegesneden bodembeschermende voorschriften worden opgenomen.

⁶ Zo vaak als de omstandigheden daartoe aanleiding geven.

lijk verontreinigende stoffen in de bodem en het grondwater worden bepaald. Eventuele verontreinigingen moeten zoveel mogelijk ongedaan worden gemaakt.

Als onderdeel van de buiten gebruik stelling van het mijnbouwwerk vraagt de Minister van Economische Zaken in het kader van het sluitingsplan een 'schone grond verklaring' voor de grond waarop het mijnbouwwerk is opgericht. Een dergelijke verklaring zal alleen dan niet worden gevraagd als de eigenaar van de grond hier met het oog op de nieuwe bestemming¹ van de grond van af ziet [ref. 8.].

Naast de verplichting tot sanering van de bodem van een mijnbouwwerk ingevolge het Barmm, de Wabo-milieu-vergunning en het sluitingsplan, verplicht ook de Wet bodembescherming² de uitvoerder tot sanering van de bodem van het mijnbouwwerk.

Ingeval zou blijken dat ondanks sanering en een 'schone grond verklaring' de bodem onder een buiten gebruik gesteld mijnbouwwerk ten gevolge van de op het mijnbouwwerk uitgevoerde mijnbouwactiviteiten toch beperkt bruikbaar is geworden, kan de eigenaar van de grond de uitvoerder en de houder van de betreffende winningsvergunning aansprakelijk stellen voor een eventuele waardedaling van de grond als gevolg van de mijnbouwactiviteiten.

¹ Indien de nieuwe bestemming bijvoorbeeld industrieterrein is en de eigenaar van het terrein verklaart geen behoefte te hebben aan een 'schone grond verklaring' zal de Minister van Economische Zaken deze verklaring niet van de uitvoerder vragen.

² Hoofdstuk IV Wet bodembescherming.

3. CONCLUSIES

3.1. Het verlaten van een mijnbouwwinningslocatie

Een mijnbouwwerk voor de winning moet na beëindiging van de winning buiten gebruik worden gesteld en alle vanaf het mijnbouwwerk geboorde productieputten moeten veilig worden afgesloten. Dit moet zodanig gebeuren dat er ook op de lange termijn geen schadelijke effecten zijn van de activiteiten die hebben plaatsgevonden op het mijnbouwwerk. De nazorg hiervoor rust op de (laatste) houder van de betreffende winningsvergunning.

3.2. Het gebruik van een voormalige mijnbouwlocatie

Het Barmm, de Wabo-milieu-vergunning, het sluitingsplan voor de buiten gebruik stelling van een mijnbouwwerk en de Wet bodembescherming verplichten de uitvoerder tot sanering van de bodem van het mijnbouwwerk ingeval de bodem als gevolg van de mijnbouwactiviteiten is verontreinigd. In het geval dat ondanks sanering de bodem van het voormalig mijnbouwwerk niet meer 'multifunctioneel' bruikbaar is, kan degene die als gevolg hiervan schade leidt de uitvoerder en de houder van de betreffende winningsvergunning aansprakelijk stellen.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Mijnbouwwet.
- [ref. 2.] Mijnbouwbesluit.
- [ref. 3.] Mijnbouwregeling.
- [ref. 4.] Besluit algemene regels milieu mijnbouw ('Barmm').
- [ref. 5.] Wet milieubeheer.
- [ref. 6.] Wet bodembescherming.
- [ref. 7.] Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.
- [ref. 8.] 'Industry Guideline nr. 21 Emissiebepaling en rapportage Onderdeel: Bodembeheer' van de Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie ('NO-GEPA').

**BIJLAGE I REGELS MET BETREKKING TOT BUITEN GEBRUIK STELLEN PRO-
DUCTIEPUT**

Mijnbouwbesluit

Artikel 72

1. Een boorgat wordt niet eerder buiten werking gesteld dan nadat:
 - a. voldoende maatregelen zijn genomen ter voorkoming van schade, en
 - b. de delfstofhoudende lagen en de delfstofafzettingen, voor zover daaraan door water schade kan worden toegebracht, waterdicht zijn afgesloten.

Artikel 74

1. Het aanleggen, onderhouden, repareren of buiten gebruik stellen van een boorgat geschiedt overeenkomstig een door de uitvoerder opgesteld werkprogramma.

Artikel 76

1. De uitvoerder maakt dagelijks een rapport op van het aanleggen, repareren of buiten gebruik stellen van een boorgat en brengt het rapport onmiddellijk ter kennis van de inspecteur-generaal der mijnen.
2. De uitvoerder brengt binnen vier weken na het voltooien van de in het eerste lid bedoelde activiteiten een desbetreffend eindrapport ter kennis van de inspecteur-generaal der mijnen.

Artikel 77

Bij ministeriële regeling worden regels dan wel nadere regels gesteld omtrent:

- a. de inhoud van het in artikel 74 bedoelde werkprogramma, voor zover het betreft het aanleggen, repareren of buiten gebruik stellen van een boorgat, en het tijdstip waarop het werkprogramma aan de inspecteur-generaal der mijnen wordt gezonden alsmede de gegevens en bescheiden die daarbij worden overgelegd;
- b. de inhoud van de in artikel 76 bedoelde rapporten en de wijze waarop deze rapporten ter kennis van de inspecteur-generaal der mijnen worden gebracht.

Mijnbouwregeling

Artikel 8.2.4.1

1. Een werkprogramma voor het buiten gebruik stellen van een put bevat:
 - b. voor putten op land:
 - i. de naam van de gemeente waarbinnen de buiten gebruik te stellen put zich bevindt;
 - ii. de benaming van de put;
 - iii. de plaats van het aanzetpunt van de put daarvan uitgedrukt in het coördinatenstelsel van de Rijksdriehoeksmeting en;
 - iv. een opgave van de hoogte van zowel het maaiveld als de boortafel of een ander, nader aan te geven referentiepunt, een en ander in meters ten opzichte van N.A.P.
2. Voorts bevat het werkprogramma ten minste:
 - a. de reden voor het buiten gebruik stellen van de put;
 - b. de datum van de oorspronkelijke afwerking of, indien de put eerder is gerepareerd, de laatste reparatie;
 - c. een schets van de deviatie, indien van toepassing;
 - d. een opgave van het referentievlak van waaruit de dieptematen worden opgegeven;
 - e. een beschrijving met tekeningen van:
 - i. verbuizingen;
 - ii. de cementatiedieptes, en;
 - iii. de dieptes van de top van de annulaire cementkolommen;
 - f. de diepte waarop de put is afgewerkt en de diepte van het geperforeerde deel van de productieverbuizing;

- g. een beschrijving van de afwerking van de put boven of onder oppervlaktewater, inclusief specificaties van het spuitkruis;
- h. een beschrijving van de ondergrondse afwerking van de put;
- i. de verwachte maximale ingesloten bovengrondse druk en de annulaire drukken;
- j. de formatiedruk en de referentiediepte;
- k. de ondergrondse en bovengrondse temperatuur van de put;
- l. de inhoud van de opvoerserie en van de annulaire ruimten;
- m. de naam of typeaanduiding van de installatie waarmee de put buiten gebruik wordt gesteld alsmede de naam van de drilling contractor;
- n. een beschrijving van de te gebruiken beveiligingsinstallatie voor de afsluiting van de put;
- o. een chronologisch overzicht van de opeenvolgende werkzaamheden, waarbij zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met van tevoren aangenomen alternatieve mogelijkheden voorzien van in het bijzonder een toelichting op uit veiligheidsoverwegingen of anderszins kritische operaties;
- p. gezien de ligging van de buiten gebruik te stellen put en voor zover van toepassing: de methode waarop putten in de nabijheid worden veiliggesteld;
- q. een beschrijving met tekeningen van de afwerking van de put na het buitengebruik stellen, en;
- r. de geschatte tijdsduur van het buiten gebruik stellen.

Artikel 8.2.4.2

1. Het werkprogramma voor het buitengebruik stellen van een put is ten minste vier weken voor de aanvang van de betrokken werkzaamheden in het bezit van de inspecteur-generaal der mijnen.
2. Artikel 8.2.1.2, tweede en derde lid¹, is van overeenkomstige toepassing.

Afdeling 8.5. Het buiten gebruik stellen van putten en boorgaten

§ 8.5.1. Algemeen

Artikel 8.5.1.1

Deze afdeling is mede van toepassing op boorgaten.

Artikel 8.5.1.2

1. Voordat een put buiten gebruik wordt gesteld, is deze gevuld met een vloeistof van een zodanig soortelijk gewicht dat iedere in de put te verwachten druk kan worden weerstaan en van een zodanige samenstelling dat corrosie wordt voorkomen en geen schade kan worden toegebracht aan eventuele delfstofvoorkomens.
2. Elke in de put gebruikte afsluiting is duurzaam en volledig.
3. Waar in deze paragraaf een 'cementplug' wordt voorgeschreven, kan een ander middel worden gebruikt, mits dat resulteert in ten minste een gelijkwaardige afsluiting.

§ 8.5.2. Regels over buiten gebruik stellen

Artikel 8.5.2.1

1. Elke afsluiting van een put die buitengebruik wordt gesteld, wordt getest met behulp van:
 - a. een gewichtstest van ten minste 100 kN (10 250 kg);

¹ Artikel 8.2.1.2, tweede en derde lid, luidt:

2. Ingrijpende wijzigingen worden in een werkprogramma niet aangebracht dan nadat hiervan schriftelijk mededeling is gedaan aan de inspecteur-generaal der mijnen.

3. Indien onvoorziene omstandigheden verhinderen dat de voorafgaande schriftelijke mededeling tijdig wordt gegeven, wordt de inspecteur-generaal der mijnen van de wijziging onmiddellijk telefonisch of anderszins in kennis gesteld, welke kennisgeving onmiddellijk schriftelijk wordt bevestigd.

- b. een beproevingsdruk van ten minste vijftigmaal 100.000 Pa (vijftig bar) gedurende een tijd van vijftien minuten, of
 - c. onderdruk in de put waarbij geconstateerd wordt dat geen vloeistof of gas vanuit het reservoir de put instroomt.
2. De afsluiting doorstaat de testen goed.
3. Het eerste en tweede lid zijn niet van toepassing op een afsluiting als bedoeld in artikel 8.5.2.7, tweede lid.

Artikel 8.5.2.2

1. Indien een gedeeltelijk onverbuisde put buiten gebruik wordt gesteld, wordt in de diepste verbuizingsserie vanaf de schoen naar de oppervlakte een afsluiting aangebracht die bestaat uit:
 - a. een cementplug van ten minste honderd meter lengte, of
 - b. een mechanische plug met daarop een cementplug van vijftig meter lengte.
2. Indien een put buiten gebruik wordt gesteld waarvan het onverbuisde deel zich in een reservoir bevindt, wordt dit reservoir met behulp van cementpluggen ter hoogte van of boven het reservoir volledig afgesloten.
3. Indien het in het tweede lid bedoelde onverbuisde gedeelte meer dan één reservoir doorsnijdt, worden deze reservoirs van elkaar geïsoleerd met behulp van cementpluggen. De lengte van de cementplug is 100 meter of gelijk aan de natuurlijke afstand tussen de reservoirs.

Artikel 8.5.2.3

1. Indien een put buiten gebruik wordt gesteld waarvan de verbuizing is geperforeerd, wordt ter hoogte van of boven het geperforeerde gedeelte een afsluiting aangebracht die bestaat uit:
 - a. een cementplug die zich honderd meter uitstrekt boven het geperforeerde gedeelte;
 - b. een mechanische plug, geplaatst zo dicht mogelijk boven het geperforeerde gedeelte, met daarop een cementplug van vijftig meter lengte, of
 - c. een mechanische plug, geplaatst boven het geperforeerde gedeelte, waardoor in de verbuizing een cementplug van vijftig meter lengte over de gehele lengte van het geperforeerde deel is geperst met direct op de mechanische plug een cementplug van vijftig meter lengte.
2. Indien in de verbuizing perforaties ter hoogte van verschillende reservoirs zijn aangebracht, worden deze reservoirs van elkaar geïsoleerd met behulp van één van de afsluitingen, bedoeld in het eerste lid. De cementplug, bedoeld in het eerste lid, onderdelen a of b, kan in dit geval vijftig meter korter zijn dan in het eerste lid is aangegeven of even lang zijn als de natuurlijke afstand tussen de reservoirs.

Artikel 8.5.2.4

Indien een put buiten gebruik wordt gesteld waarin zich een gecementeerde afgehangen verbuizing bevindt, wordt ter hoogte van de bovenzijde van deze verbuizing een afsluiting aangebracht bestaande uit:

- a. een cementplug die zich uitstrekt over ten minste vijftig meter onder de bovenzijde van de afgehangen verbuizing tot ten minste vijftig meter daarboven;
- b. een mechanische plug geplaatst circa tien meter onder de bovenzijde van de afgehangen verbuizing met daarop een cementplug van ten minste zestig meter, of
- c. twee mechanische pluggen, waarvan één geplaatst dicht onder de bovenzijde van de afgehangen verbuizing en de ander dicht boven dit punt.

Artikel 8.5.2.5

1. In elke annulaire ruimte tussen de series van de verbuizing van een buiten gebruik te stellen put wordt een afsluiting aangebracht over een lengte van ten minste honderd meter vanaf de schoen van de daaraan direct voorafgaande verbuizing. In het in artikel

8.2.4.1 bedoelde werkprogramma wordt aangegeven op welke wijze wordt vastgesteld dat deze afsluiting afdoende is aangebracht.

2. Indien niet aangetoond kan worden dat de annulaire ruimte tussen twee series is afgesloten:
 - a. wordt de kleinste verbuizing die de annulaire ruimte begrenst, over een zo groot mogelijke lengte teruggewonnen, met dien verstande dat de afsnijding van deze serie zo dicht mogelijk boven de schoen van de daaraan direct voorafgaande verbuizing geschiedt, terwijl het gedeelte dat in de put achterblijft overeenkomstig artikel 8.5.2.4 wordt afgesloten, of
 - b. wordt de verbuizing ter hoogte van de daaraan direct voorafgaande schoen geperforeerd, in de annulaire ruimte een cement plug over een lengte van ten minste honderd meter geplaatst en de afsluiting van de annulaire ruimte door een drukproef gecontroleerd.

Artikel 8.5.2.6

Indien een buiten gebruik te stellen put door een reservoir gaat, waarvan de inhoud mogelijk naar het oppervlak kan stromen, wordt ter hoogte van de annulaire afsluiting, bedoeld in artikel 8.5.2.5, eerste lid, die zich het dichtst boven het reservoir bevindt, in zowel de put als alle annulaire ruimten op hetzelfde niveau een cementplug van ten minste honderd meter aangebracht.

Artikel 8.5.2.7

1. De verbuizing van een buiten gebruik te stellen put wordt verwijderd:
 - a. tot ten minste drie meter onder het maaiveld, of
 - b. tot ten minste zes meter onder de zeebodem.
2. In de verbuizing van de buiten gebruik te stellen put wordt zo dicht mogelijk onder het in het eerste lid bedoelde punt een afsluiting aangebracht, bestaande uit:
 - a. een cementplug van ten minste honderd meter, of
 - b. een mechanische plug met direct erop een cementplug van ten minste vijftig meter.
3. De minister kan ontheffing verlenen van het eerste en tweede lid.

Artikel 8.5.2.8

1. Indien redelijkerwijs het vermoeden bestaat dat een mechanische plug in contact kan komen met een corrosief medium of, indien de mechanische plug dient ter afsluiting van een hogedruk-reservoir als bedoeld in het tweede lid, wordt direct boven die plug een cementplug over een lengte van ten minste vijftig meter geplaatst.
2. Als een hogedruk-reservoir wordt aangemerkt een reservoir waarvan de druk, benodigd om evenwicht te creëren ten tijde van het buiten gebruik stellen, gelijk is aan of hoger dan 1,4 maal de hydrostatische druk, gebaseerd op een soortelijk gewicht van 1,0.

KOSTENINSCHATTING (ONDERZOEKSVRAAG D)



Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 56 F
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
telefoon 020 312 55 55
fax 020 697 47 95
www.witteveenbos.nl

onderwerp	onderzoeksvraag D
project	aanvullend onderzoek risico's schalie- en steenkoolgas in Nederland
opdrachtgever	Ministerie van EZ, Directie Energiemarkt
projectcode	GV1106-1
referentie	GV1106-1/kleb2/233
status	definitief
datum opmaak	16 augustus 2013
bijlagen	-

INHOUDSOPGAVE

blz.

1. VRAAGSTELLING	2
1.1. Hoofdvraag	2
1.2. Afbakening	2
1.3. Aanpak	3
2. ANALYSE	4
2.1. Risico's van schaliegas opsporing en winning	4
2.2. Maatregelen	5
2.3. Kosten	7
2.4. Common practice	8
3. CONCLUSIES	9
4. REFERENTIES	11

1. VRAAGSTELLING

1.1. Hoofdvraag

In publicaties en rapporten worden uiteenlopende effecten en risico's voor de opsporing en de winning van niet-conventioneel gas genoemd. Daarbij zijn al dan niet specifieke maatregelen benoemd of toegepast om deze risico's te beperken. De vraag is in hoeverre er voor de opsporing en winning van niet-conventioneel gas afwijkende effecten optreden en daarom aanvullende oplossingen worden toegepast door de industrie ten opzichte van conventionele winning. Wat zijn de kosten van deze maatregelen en zijn deze maatregelen 'common practice' of betreft het nieuwe maatregelen.

De vraagstelling voor deze onderzoeksvraag is door Economische zaken als volgt geformuleerd:

Kan een kosteninschatting worden gegeven van de maatregelen die genoemd zijn om de genoemde risico's te beperken? Kunnen de onderzoekers aangegeven of de genoemde maatregelen 'common practice' zijn dan wel nieuw?

1.2. Afbakening

In dit onderzoek zijn de kosten in beeld gebracht van de maatregelen die genomen worden om risico's van schaliegas opsporing en winning te beperken. Hierbij wordt schaliegaswinning als geheel afgezet tegen conventionele winningen. Omdat meer boringen (per winning of per gewonnen kuub) nodig zijn ontstaat relatief meer risico. Om deze aanvullende risico's te mitigeren zijn aanvullende kosten nodig. In het onderzoek is uitgegaan van literatuur en van ervaringsgetallen van de experts binnen het projectteam. Omdat niet voor elke maatregel de exacte kosten bekend zijn, is voor elke maatregel een bandbreedte van kosten aangegeven.

Om de kosten van aanvullende maatregelen ten opzichte van conventionele winningen in beeld te brengen, zijn de volgende deelvragen beantwoord in voorliggend rapport:

1. Welke risico's treden er op bij schaliegas winningen, afgezet tegen de risico's van conventionele winningen?
2. Welke maatregelen worden getroffen om deze risico's te ondervangen?
3. Wat zijn de kosten van deze maatregelen?
4. Zijn de maatregelen 'common practice' of betreft het nieuwe technieken?

Risico's bij het winnen van schaliegas

De belangrijkste risico's genoemd in de overige onderzoeksvragen zijn samen te voegen tot een viertal onderscheidende risico's waarop in deze memo ingegaan zal worden:

- (grond)water/bodem verontreiniging;
- seismische activiteit;
- veiligheid;
- (methaan) emissies.

Deze risico's zijn reeds uitgebreid beschreven in de overige onderzoeksvragen. In voorliggend rapport worden ze alleen kort benoemd.

Maatregelen om de risico's te ondervangen

Op basis van de beantwoorde onderzoeksvragen zijn aanvullende of verzwaarde maatregelen opgenomen ten opzichte van conventionele winningen. Deze maatregelen worden kort beschreven. Verder wordt verwezen naar de relevante onderzoeksvragen.

Kosten van deze maatregelen

Voor de kosten van de beschreven maatregelen is op basis van literatuuronderzoek en expert judgement een inschatting gegeven van de ordegrrootte. Omdat er gekeken is naar aanvullende maatregelen ten opzichte van conventionele winning geeft dit een beeld van de extra kosten die gemoeid zijn met niet-conventionele winning.

Common practice?

Er wordt vastgesteld of een maatregel 'common practice' is door na te gaan of deze maatregel reeds wordt toegepast bij conventionele winningen in de Nederlandse situatie. Er wordt onderscheid gemaakt in maatregelen die reeds bij conventionele winningen plaatsvinden maar wel worden uitgebreid/ aangepast ten behoeve van schaliegaswinningen (dit zijn de 'common practice' maatregelen), of maatregelen die normaliter niet worden toegepast bij conventionele winningen, maar wel bij schaliegas winningen. Ook wordt benoemd of er nog maatregelen nodig zijn, die nog in ontwikkeling zijn, of ontwikkeld dienen te worden voor de Nederlandse situatie en vanuit dat aspect niet kunnen worden geprijsd.

1.3. Aanpak

Om de (sub)vragen behorende bij dit onderdeel van het statusrapport te beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd en is gebruik gemaakt van expert judgement. Omdat de risico's en maatregelen in de eerder beantwoorde onderzoeksvragen uitgebreid zijn behandeld is in voorliggend rapport hiernaar veelvuldig verwezen. In de aangeleverde literatuur is weinig informatie beschikbaar over het beprijzen van maatregelen. Daarom is gebruik gemaakt van de kennis in het expert team. Tenslotte is een aantal aanvullende bronnen gebruikt die niet zijn opgenomen in de aangeleverde literatuur. De gebruikte bronnen zijn opgenomen in het literatuuroverzicht.

2. ANALYSE

2.1. Risico's van schaliegas opsporing en winning

Ten opzichte van conventionele winning is voor de volgende aspecten sprake van een vergroot of nieuw risico:

- (grond)water/bodem verontreiniging;
- seismische activiteit;
- veiligheid;
- (methaan)emissies.

Alle vier aspecten worden in onderstaande paragrafen kort beschreven.

(Grond)water/bodem verontreiniging

De afwijking ten opzichte van de conventionele winning bestaat voornamelijk uit het altijd toepassen van frac-vloeistof (in conventionele winningen wordt in sommige gevallen frac vloeistof toegepast). De hoeveelheden frac-vloeistof en gebruikte chemicaliën verschillen aanzienlijk afhankelijk van de eigenschappen van het schaliereservoir (zie ook vraag A.1.3).

Verontreinigingen van bodem of (grond)water kunnen optreden als gevolg van:

- lekkage in het systeem (ondergronds);
- bovengronds morsen, of door;
- onjuiste zuivering van het retour-water.

Ten opzichte van conventionele winning is de kans op calamiteiten groter. Dit als gevolg van de grotere hoeveelheid chemicaliën over een groter (horizontaal) gebied in de ondergrond en een groter aantal boringen.

De afwijking ten opzichte van een conventionele winning bestaat uit:

- toegepaste type chemicaliën;
- hoeveelheid chemicaliën.

Ondergrondse ontsnapping van methaan via het boorgat is ook mogelijk in conventionele winningen en wordt daarom niet meegenomen. Ontsnapping van methaan vanuit het schaliegasgesteente tot in de watervoerende laag wordt niet waarschijnlijk geacht in de Nederlandse situatie (zie vraag B.3.1).

Seismische activiteit

Algemeen genomen is de seismische activiteit bij winningen met het toepassen van fraccen kleiner dan bij conventionele winningen. Het fraccen zelf laat een zeer kleine activiteit zien, die moeilijk meetbaar is ($M_L < 1$). Wel geldt de seismische activiteit bij de Bowland schalie in het Verenigde Koninkrijk als voorbeeld waar een bestaande breuklijn als gevolg van de activiteiten is geactiveerd, met 2 significante aardbevingen tot gevolg (zie ook de vraag B.4.4). De aardbevingen waren hier dus geen direct gevolg van het fraccen, maar een gevolg van het vullen van een bestaande breuklijn (met een reeds aanwezige spanning) met frac-vloeistof.

2.1.1. Veiligheid

Alleen het grotere aantal putten dat voor schaliegaswinning nodig is, zal tot grotere risico's voor de externe veiligheid kunnen leiden. De bestaande risicoanalysemethoden en binnenkort verwachte wettelijke risiconormen zullen voldoende zijn om de risico's voor mensen in

de omgeving van schaliegasinstallaties te bepalen en te handhaven (zie ook de achtergrondnotities in deel A.3).

2.1.2. (Methaan)emissies

Ondergrondse methaan emissies kunnen leiden tot bodem- en grondwaterverontreiniging. Dit is reeds beschreven in paragraaf 3.1.1. Tijdens de flowback fase (terugstroom van fracc-vloeistof) ontstaan methaan emissies die zeer waarschijnlijk groter zijn dan de emissies bij conventionele winningen (zie vraag B.3.1). Affakkelen zorgt voor luchtvervuiling, echter het laten ontsnappen van het gas naar de atmosfeer geeft brandgevaar. Daarnaast is methaan een sterk broeikasgas.

2.2. Maatregelen

2.2.1. Boorgatintegriteit

Boorgatintegriteit is belangrijk omdat (zie ook vraag A. 3.3):

- er in alle gevallen gebruik gemaakt wordt van frac-vloeistof;
- de putten meerdere malen onder hoge druk worden gezet tijdens het frac proces.

Ten aanzien van boorgatintegriteit is het van belang dat deze voldoende gegarandeerd kan worden. Van belang is dat de volgende aspecten toegepast worden (zie ook vraag A.3.3.):

- toepassing van minimaal vier verbuizingen waarbij de tussenliggende verbuizingen geplaatst wordt in een scheidende laag;
- best practice is het terugcementeren vanuit de productiezone helemaal naar het maai-veld.

2.2.2. Monitoring

Om calamiteiten en afwijkingen vroegtijdig te kunnen signaleren is monitoring van verschillende aspecten van belang. De volgende aspecten worden voorgesteld:

- monitoring van de grondwaterkwaliteit rondom de boorputten;
- controle van de kwaliteit van het gezuiverde gebruikte water (flow back water) en formatiewater;
- eventueel aanvullende seismische metingen wanneer in de nabijheid breuklijnen aanwezig zijn. Hierbij is zeer fijngevoelige meetapparatuur in de nabijheid van de locatie noodzakelijk, aangezien dergelijk kleine activiteiten niet tot nauwelijks meetbaar zijn met standaard seismische meetapparatuur. Ook kan in dergelijke situaties gedacht worden aan een stoplicht methode [ref. 3.];
- meten van de daadwerkelijke uitstoot van methaan naar de atmosfeer (er zijn geen maatregelen voorhanden om de uitstoot van methaan te beperken).

2.2.3. Zuiveren water

Het zuiveren van het retourwater is afhankelijk van de toegepaste chemicaliën. Vanuit Nederlandse regelgeving is de initiatiefnemer verplicht om op basis van eisen van Staatstoezicht op de Mijnen aan te geven welke chemicaliën gebruikt worden (in tegenstelling tot in de VS). Dit borgt de mogelijkheid van controle op de zuiveringsstap en situatiespecifieke monitoring.

Ten aanzien van de zuivering van flowback en produced water uit zowel de conventionele als onconventionele olie & gas winning wordt in principe dezelfde aanpak gehanteerd. Deze aanpak bestaat uit drie stappen:

- minimalisering van de verontreinigende stoffen;
- het zoveel mogelijk recyclen en hergebruiken van het water;
- als laatste wordt teruggevallen op lozing.

De daadwerkelijke aanpak wordt voor elke olie- en of gaswinning afgestemd op een reeks locatiespecifieke factoren:

- de kwaliteit en ligging van de waterbron;
- de karakteristieken van de wininformatie en daaraan verbonden receptuur van de fracc vloeistof en kwaliteit van het formatiewater;
- de gestelde eisen ten aanzien van injectie, hergebruik en lozing.

De meeste kritische parameters die bepalen of water wordt hergebruikt, geloosd of geïnjecteerd, zijn de eigenschappen van de toegepaste frac-vloeistof en de eigenschappen (het zoutgehalte) van het formatiewater. Hergebruik en/of lozing impliceert over het algemeen de toepassing van membraan en/of thermische ontziltingstechnieken. Dit zijn over het algemeen energie intensieve processen, die daarom hoge energiekosten (pompen, drukval, warmte) met zich meebrengen. Wanneer ontziltingstechnieken toegepast worden, moet ook rekening gehouden worden met de kosten voor afhandeling van de resulterende brijn/concentraat (zoute afvalwater). Om ontzilting ongestoord en op een economisch verantwoorde wijze te bedrijven, moeten/kunnen er een reeks voorzuiverende fysisch-chemische processen toegepast worden.

2.2.4. Afsluiten put na gebruik

Op basis van de Mijnbouwwet moet een put (mijnbouwinstallatie) veilig worden afgesloten en eventueel tot een bepaalde diepte verwijderd. In tegenstelling tot conventionele winning is sprake van meerdere putten. Daarom zal de inspanning na afloop groter zijn om alle putten na gebruik af te sluiten (zie ook vraag B.5.6).

2.2.5. Wet- en regelgeving

Onderzoeksvragen A.1.1 en deel B.5 geven inzicht in de vigerende wet- en regelgeving voor de opsporing en winning van koolwaterstoffen. In deze wet- en regelgeving zijn de eisen die de relevante EU-richtlijnen stellen, geïmplementeerd. De regels voor de aanleg van boorgaten voor de opsporing en winning van koolwaterstoffen staan voornamelijk in de Mijnbouwwetgeving. Uitgangspunt van de Mijnbouwwetgeving is de eigen verantwoordelijkheid van de uitvoerder. De Mijnbouwwetgeving is doelstellend, niet voorschrijvend, en gericht op het voorkómen van. De Mijnbouwwet is vooral gericht op de eisen en voorwaarden die gesteld worden om gevaarlijke incidenten te voorkomen. Preventieve maatregelen kunnen technische, organisatorische, procedurele of toezichthoudende aspecten betreffen.

De Minister kan indien nodig ook regelgeving en beleid ontwikkelen inzake toegestane methoden voor de winning van schaliegas [ref. 2]. In het algemeen geldt dat de Nederlandse wetgeving reeds een borging biedt om risico's te minimaliseren. Zo moet alvorens met de aanleg van een boorgat kan worden aangevangen een uitgebreid boorprogramma bij de Inspecteur-generaal der mijnen worden ingediend. Methodes worden getoetst en naleving wordt gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Op basis van de literatuur kunnen de volgende aanvullende maatregelen aan de orde zijn voor niet-conventionele opsporing en winning:

- aanvulling en verscherping van Wet- en regelgeving;
- intensiever toezicht ten opzichte van conventioneel;
- het stellen van zwaardere eisen aan de mijnbouwondernemingen.

De significante toename in het aantal boringen vereist een grotere capaciteit bij de dienst Staatstoezicht op de Mijnen.

De intensievere omgang met chemicaliën zal meer informatiebehoefte naar stofeigenschappen, opslaghoeveelheden en verpakking groottes veroorzaken. Hierbij kan teruggevallen worden op de in de industrie gebruikelijke regels van de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (A.3.2). De risico's van bovengrondse activiteiten met milieugevaarlijke vloeistoffen kunnen berekend worden met beschikbare risicomodellen. Deze zijn echter nog niet in de wet- en regelgeving voor aardgasproductie-installaties opgenomen (A.3.2).

Onder andere in de factsheet 'De risico's van onconventioneel gas' [ref. 1.] zijn aanbevelingen opgenomen om regelgeving, die niet is toegesneden op niet-conventionele winning, aan te vullen. Voor het aanvullen van wet- en regelgeving kan een verdeling worden gemaakt in:

1. monitoringsinspanning: de onder 3.2.2 opgenomen monitoring inspanning kan in wet- en regelgeving worden verankerd;
2. toezicht: het borgen van handhaving door eisen aan frequentie en wijze van toezicht houden;
3. preventieve maatregelen: toegestane methodiek en/of gebruikte stoffen inkaderen in wetgeving, met eisen aan toepassen van Best Available Technique. De omvang/reserves van het bedrijf moeten in verhouding staan tot de kosten bij calamiteiten.

De aanvullende kosten ten behoeve van het verscherpen van de wet- en regelgeving zijn in dit onderzoek alleen meegenomen in de monitoringskosten. De extra kosten benodigd om overige aanbevelingen door te voeren zijn niet opgenomen.

2.2.6. Incident response management

De impact van een calamiteit bij niet-conventionele winning is naar verwachting groter dan bij conventionele winning. De inspanning voor 'incident response management' zal dan groter zijn. In een onderzoek naar schaliegas in Groot Brittannië is geconcludeerd dat op dit moment nog onvoldoende statistische gegevens beschikbaar zijn van incidenten en ongevallen bij schaliegas activiteiten om op basis daarvan een betrouwbare uitspraak over de risico's te kunnen doen (A.3.1). Omdat deze gegevens niet beschikbaar zijn, is het niet mogelijk een uitspraak te doen over de kosten in het geval van een incident. Wanneer een incident plaatsvindt zijn de kosten om de effecten van dit incident te mitigeren waarschijnlijk erg groot. Het is van belang dat de winnende maatschappij in staat is de financiële middelen op te brengen die gemoeid zijn bij een incident.

2.3. Kosten

2.3.1. Boorgatintegriteit

Zowel voor conventionele als niet-conventionele winning worden maatregelen getroffen om lekkage te voorkomen. Bij bestudering van een representatieve conventionele winning [ref. 5.] blijkt dat ook hier gebruik gemaakt wordt van minimaal vier casings en nagenoeg

volledige cementering. De kosten voor boorgatintegriteit zijn daarom verhoogd ten opzichte van een conventionele winning.

2.3.2. Monitoring

Vanwege het gebruik van chemicaliën is de monitoring inspanning van een niet-conventionele winning groter dan bij conventionele winning. De kosten voor het monitoren van het grondwater zijn op basis van expert judgement ingeschat op EUR 25.000,00 voor de plaatsing van vijf diepe peilbuizen (tot 80 m met twee filters) en EUR 18.000,00 per jaar voor bemonstering (uitgaande van vier rondes). De bemonsteringskosten voor het gezuiverde flowback en formatiewater bedragen per jaar EUR 2.500,00 (uitgaande van twee monsters, vier rondes).

Voor het meten van de methaan uitstoot van een installatie kan op verschillende manieren gemeten worden. De kosten hiervoor liggen op ongeveer EUR 20.000,00-40.000,00 per jaar (uitgaande van vier meetperioden).

Indien in de nabijheid bestaande breuklijnen aanwezig zijn met een potentie om te falen, kan een aanvullend meetsysteem voor seismische activiteiten op lokale schaal worden gerealiseerd. De kosten hiervoor liggen in de orde van 100.000,00 dollar [ref. 4.] (ongeveer EUR 77.000,00) per locatie.

Wanneer uitgegaan wordt van een levensduur van 15 jaar voor een gemiddelde schaliegasboring komen de totale monitoringskosten uit op ongeveer 1 M€. Wanneer meerdere putten gecombineerd worden op één locatie (pad), kan monitoring van de verschillende putten mogelijk gecombineerd worden waardoor de totale kosten lager uitvallen.

2.3.3. Zuiveren water

Voor het inschatten van de zuiveringskosten van het water uit de back-flow is uitgegaan van een gemiddeld waterverbruik voor één boorput van 7.500-30.000 m³ [ref. 2.]. De kosten om 1 m³ water te zuiveren zijn op basis van expert judgement, afhankelijk van het zoutgehalte en gebruikte chemicaliën, ingeschat tussen de EUR 6,00 en EUR 32,00. Dit betekent dat de zuivering van het waterverbruik van één boorput globaal tussen de EUR 50.000,00 en EUR 950.000,00 ligt.

2.3.4. Afsluiten put na gebruik

De kosten voor het afsluiten van een put na gebruik liggen in de Verenigde Staten in de orde grootte 10.000 tot 100.000 dollar. Dit is ongeveer EUR 8.000,00 tot EUR 77.000,00 [ref. 7.].

2.3.5. Wet- en regelgeving

Wijzigingen in wet- en regelgeving is voor dit onderzoek afgebakend tot een verzwaring van de monitoringsverplichting en is opgenomen onder de kostenpost van 3.3.2.

2.4. Common practice

Alle genoemde maatregelen worden reeds toegepast in conventionele winningen en zijn daarom common practice. Daarbij is in alle gevallen de uitwerking en opzet situatie-specifiek, maar zijn methodes algemeen toegepast.

3. CONCLUSIES

Zowel bij conventionele als bij niet-conventionele winning is sprake van activiteiten die mogelijk tot ongewenste effecten leiden. Daarvoor kunnen maatregelen genomen worden om de risico's te beperken. In dit onderzoek is gekeken naar de onderscheidende risico's van niet-conventionele winning ten opzichte van conventionele winning. Het betreft:

- vergroot risico op verontreiniging van (grond)water/bodem verontreiniging bij lekkage, als gevolg van het gebruik van chemicaliën;
- verschil in risico op micro-seismische activiteit;
- een verhoogd veiligheid risico als gevolg van de hoeveelheid boorlocaties;
- een verhoogde (methaan)emissie.

Risico is een product van kans en gevolg. Uit de literatuur blijkt dat in de Nederlandse situatie de kans op het optreden van deze effecten, als gevolg van de diepte van de boring, relatief gering is.

Maatregelen, die specifiek bij niet-conventionele winning ingezet (zouden moeten) worden om de genoemde risico's te beperken zijn:

- technische oplossingen om de kans op lekkage te verkleinen;
- extra controleslagen door middel van een verzwaard/uitgebreid monitoringsprogramma, met name gericht op de toegepaste chemicaliën;
- een nadere toespitsing/aanscherping binnen bestaande wet- en regelgeving om toegestane methodiek in te kaderen.

Naast de maatregelen om risico's te beperken geldt, aanvullend ten opzichte van een gemiddelde conventionele winning, een zuiveringsinspanning voor het flow-back water. Tot slot vergt het afsluiten van boorputten na het stoppen van de winning een grotere inspanning bij niet-conventionele winning, gezien het aantal boorgaten per veld.

Uit de risico's volgt een overzicht van aanvullende of nieuwe maatregelen die ingezet (moeten) worden bij niet-conventionele winning. De kosten zijn op basis van bestaande literatuur en expert judgement in deze fase nog niet te bepalen. Wel is getracht een indicatie te geven. In tabel 3.1 is dit samengevat. Om de gegeven kosten in perspectief te zien is een vergelijking gemaakt met de kosten die gepaard gaan met het plaatsen van een boorput.

Janzen [ref. 6.] geeft aan dat de totale kosten voor het maken van een schaliegasput ongeveer 10 M€ zijn (hierin zijn niet de kosten voor frac-vloeistof en de kosten per frac-stage meegenomen). De extra kosten om de risico's te beperken liggen in de ordegrootte van 1 à 2 M€. Dit is 10 % à 20 % van de totale kosten van het maken van een put.

Tabel 3.1. Indicatie van kosten gemoeid bij extra inspanningen om risico's winning schaliegas te beperking

	1	2	3	4	kosten per boorgat (10 ³ €*)	common practice?
boorgatintegriteit	x			x	0	reeds gebruikte techniek, verzwaard toegepast ten opzichte van conventioneel
monitoring	x	x		x	1.000	reeds gebruikte techniek, verzwaard toegepast ten opzichte van conventioneel
zuivering water	x				50-950	reeds gebruikte techniek

	1	2	3	4	kosten per boorgat (10 ³ €*)	common practice?
afsluiten put				x	50-80	reeds gebruikte techniek, grotere inspanning als gevolg van het aantal putten
wet- en regelgeving	x	X	x	x	niet meegenomen	toespitsen/aanvullen wetgeving
incident response management					niet meegenomen	er is te weinig informatie beschikbaar, maatregelen dienen nog ontwikkeld te worden voor de Nederlandse situatie

1 (Grond)water.

2 Seismische activiteit.

3 Veiligheid.

4 (Methaan) emissies.

* Kosten zijn ten opzichte van conventionele winning.

4. REFERENTIES

- [ref. 1.] Factsheet-Milieudefensie-over-Schaliegas-September-2011- Staten, V., Rijks-overheid, D., Limited, C. R., Company, Q. G., Peel, D., Energy, H., & Mijnbouw-wet, N. (n.d.). De risico's van onconventioneel aardgas, 1-12.
- [ref. 2.] Royal Haskoning, 'Schaliegas in Nederland, op basis van Shale gas report voor House of Commons' september 2011.
- [ref. 3.] Pater, H., & Baisch, S. (2011). Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity - Synthesis Report. StrataGen Delft BV and Q-con GmbH (87 pages).
- [ref. 4.] California Institute of technology, <http://csn.caltech.edu/data/>, 2013.
- [ref. 5.] TNO, Ministerie van economische zaken, 'Nederlands olie en gasportaal', <http://www.nlog.nl/nlog/requestData/nlogp/allBor/metaData.jsp?table=BorLocation&id=106505709,106505719,106505729,106505734,106505684,106505714,106505724,106505694,106505689,106505704,106505699,106512338,108610818> (bezoekt op 29-4-2012).
- [ref. 6.] M.R. Janzen, Hydraulic fracturing in the Dutch Posidonia Shale, TU Delft, december 2012.
- [ref. 7.] T. Dutzik, E. Ridlington, F. Group, and J. Rumpler, 'The Costs of Fracking The Costs of Fracking,' 2012.

