



**Aanvullend onderzoek naar  
mogelijke risico's en gevolgen van  
de opsporing en winning van  
schalie- en steenkoolgas in  
Nederland  
Eindrapport onderzoeksvragen  
A en B**







**Ministerie van Economische Zaken  
Directie Energiemarkt**

**Aanvullend onderzoek naar mogelijke risico's en gevolgen van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland  
Eindrapport onderzoeksvragen  
A en B**

referentie	projectcode	status
GV1106-1/klb2/234	GV1106-1	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
drs.ing. P.T.W. Mulder	ir. F.J. Kaalberg	16 augustus 2013

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs.ing. P.T.W. Mulder	



<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>blz.</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>5</b>
<b>KERNRAPPORT</b>	<b>9</b>
<b>1. AANLEIDING, DOEL EN AFBAKENING</b>	<b>11</b>
1.1. Aanleiding	11
1.2. Doel	11
1.3. Afbakening	11
1.4. Leeswijzer rapport	13
<b>2. VERANTWOORDING EN METHODIEK</b>	<b>15</b>
2.1. Consultatie en klankbordgroep	15
2.2. Werkwijze onderzoek	15
<b>3. BEVINDINGEN</b>	<b>19</b>
3.1. Vergelijking niet-conventionele gas en conventionele gaswinning	19
3.2. Manieren van opsporing	20
3.3. Manieren van winning	21
3.4. Mogelijke gevolgen	21
3.5. Mogelijke veiligheidsrisico's voor mens, natuur en milieu	23
3.6. Preventie of mitigatie van de effecten	24
3.7. Wet- en regelgeving	25
3.8. Conclusies	25
3.9. Kennislacunes	26
<b>DEEL A: SAMENVATTING STATUSRAPPORT</b>	<b>29</b>
<b>4. PRAKTIJKERVARING VEILIGHEID (A.1)</b>	<b>31</b>
4.1. Europese en Nederlandse wet- en regelgeving (A.1.1)	31
4.2. Methode van boren (A.1.2)	32
4.3. Methode van fraccen (A.1.3)	32
4.4. Veiligheid bij de winning van conventioneel gas in Nederland (A.1.4)	34
<b>5. OPSPORING EN WINNING VAN ONCONVENTIONEEL GAS (A.2)</b>	<b>37</b>
5.1. Karakteristieken van opsporing en winning van onconventioneel gas (A.2.1)	37
5.2. Verschillen in opsporing en winning (A.2.2)	39
5.3. Enhanced Coal Bed Methane (A.2.3)	39
5.4. Klimaatvoetafdruk van schaliegas (A.2.4)	40
<b>6. RISICOBEBEERSING EN BORGING VAN VEILIGHEID (A.3)</b>	<b>43</b>
6.1. Risico's van schaliegas (A.3.1)	43
6.2. Closed loop systematiek (A.3.2)	43
6.3. Onconventioneel gas: experimenteel of bewezen technologie? (A.3.3)	44
6.4. Integriteit van een boorgat (A.3.4)	45
<b>DEEL B: SAMENVATTING ONDERZOEKSVRAGEN</b>	<b>49</b>
<b>7. EFFECTEN VAN WATERGEBRUIK (B.1)</b>	<b>51</b>
7.1. Waterverbruik voor fraccen en boren bij schalie- of steenkoolgas (B.1.1.1)	51

7.2.	Oorsprong van het water voor fraccen en boren (B.1.1.2)	52
7.3.	Impact waterverbruik op waterhuishouding, natuur en milieu (B.1.1.3)	55
7.4.	Technieken voor beperken waterverbruik (B.1.1.4)	57
<b>8.</b>	<b>PROCESSEN EN EFFECTEN IN DE ONDERGROND (B.2)</b>	<b>59</b>
8.1.	Effecten van mijnbouwactiviteiten op de omgeving (B.2.1)	59
8.2.	Autonome gasmigratie (B.2.2)	60
8.3.	Migratie gas of vloeistoffen naar bovenliggende lagen (B.2.3)	60
8.4.	Aantasting afsluitende lagen door chemicaliën (B.2.4)	61
8.5.	Geologische impact van gefracte lagen op omgeving (B.2.5)	61
8.6.	Voorkomen lekkage bij doorboren lagen (B.2.6)	62
8.7.	Verschillen met conventioneel gas en veiligheidsrisico's (B.2.7)	62
8.8.	Mitigatie risico's bij opsporen en winnen (B.2.8)	63
8.9.	Mitigatie risico's bij aanwezigheid boorgaten (B.2.9)	63
<b>9.</b>	<b>EMISSIES EN AFVALSTROMEN (B.3)</b>	<b>65</b>
9.1.	Emissies van methaan (B.3.1)	65
9.2.	Emissies, risico's en mitigatie (B.3.2)	66
9.3.	Samenstelling boorspoeling (B.3.3)	68
9.4.	Samenstelling frac-vloeistof en proppants (B.3.4)	70
9.5.	Natuurlijk voorkomende stoffen in schaliegas (B.3.5)	71
9.6.	Samenstelling retourwater en invloed op watersysteem (B.3.6)	71
9.7.	Achterblijvende stoffen in diepe ondergrond (B.3.7)	73
9.8.	Beleid ten aanzien van affakkelen (B.3.8)	74
9.9.	Licht en geluidbelasting (B.3.9)	75
<b>10.</b>	<b>MECHANISCHE EFFECTEN AAN HET OPPERVLAK (B.4)</b>	<b>79</b>
10.1.	Wet- en regelgeving bodembeweging (B.4.1)	79
10.2.	Monitoringstechnieken bodembeweging (B.4.2)	81
10.3.	Toezicht op risico's van bodembeweging (B.4.3)	83
10.4.	Representativiteit Bowland case voor Nederland (B.4.4)	85
10.5.	Bodembewegingen als gevolg van fraccen (B.4.5)	86
10.6.	Relatie tussen fraccen en aardbevingen in Nederland (B.4.6)	87
10.7.	Geïnduceerde aardbevingen in Nederland en de relatie met fraccen (B.4.7)	87
10.8.	Gevolgen van aardbevingen voor trillingsgevoelige gebouwen (B.4.8)	89
10.9.	Risico's van aardbevingen voor gaswinning (B.4.9)	90
10.10.	Relatie tussen bodemtypen en aardbevingen (B.4.10)	92
10.11.	Risico's bij herinjectie van productiewater (B.4.11)	93
10.12.	Schatting en gevolgen compactie gesteentevolume (B4.12 en B4.13)	93
10.13.	Gevolgen van bodemdaling voor de waterhuishouding (B.4.14)	95
<b>11.</b>	<b>REGELGEVING MET BETREKKING TOT VEILIGHEID (B.5)</b>	<b>97</b>
11.1.	Nederlandse wet- en regelgeving mijnbouw in relatie tot schaliegas (B.5.1)	97
11.2.	Wet- en regelgeving voor horizontale boringen en boringsvrije zones (B.5.2)	99
11.3.	Wet- en regelgeving voor monitoring (B.5.3)	99
11.4.	Berekeningsmethoden voor risico's van gaswinning (B.5.4)	100
11.5.	Wet- en regelgeving gebruik water en chemicaliën bij mijnbouw (B.5.5)	102
11.6.	Wet- en regelgeving voor verlaten mijnbouwwinningslocaties (B.5.6)	104
<b>12.</b>	<b>KOSTENINSCHATTING (ONDERZOEKSVRAAG D)</b>	<b>107</b>
	<b>REFERENTIES</b>	<b>109</b>

<b>BEGRIPPENLIJST</b>	<b>111</b>
laatste bladzijde	<b>114</b>
<b>BIJLAGE</b>	<b>aantal blz.</b>
I      Onderzoeksvragen	736





## **SAMENVATTING**

Het Ministerie van Economische Zaken heeft het consortium Witteveen+Bos, Arcadis en Fugro opdracht gegeven voor een onderzoek naar mogelijke risico's en gevolgen van opsporen en winnen van schaliegas (en steenkoolgas) in Nederland. De hoofdvragen van het onderzoek zijn uitgewerkt in 55 onderzoeksvragen, die in achtergrondnotities zijn beantwoord. Deze samenvatting bevat de belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek.

### **Conventioneel versus onconventioneel gas**

Onconventioneel gas en conventioneel gas bestaan beiden voornamelijk uit methaan. Conventioneel gas bevindt zich in gesteente met een hoge porositeit, dat goed doorlatend is. Onconventioneel gas zoals schalie- en steenkoolgas is gas dat nog in het moedergesteente zit opgesloten. De slechte doorlatendheid van dit moedergesteente is de reden dat het gas nog niet ontsnapt is. Technieken zoals horizontaal boren en fraccen zijn nodig om het methaan uit de schalie en steenkool te winnen. Frac technieken worden sinds de jaren '60 toegepast en de horizontale boringen zijn ook al routine, maar in het spraakgebruik is de terminologie conventioneel versus onconventioneel gebleven.

Voor opsporing van zowel conventioneel als onconventioneel gas wordt kennis verzameld met een bureaustudie aangevuld met seismisch onderzoek. Als er potentie voor olie- of gas is, worden er proefboringen uitgevoerd. Bij schaliegas wordt met een boring specifiek gekeken of er genoeg gas aanwezig is en of in welke mate het gesteente te fraccen is. Fraccen (Engels: hydraulic fracturing of fracking) is het onder hoge druk injecteren van fracvloeistof om scheuren (Engels: fractures of fracs) in het gesteente te maken. Bij schalie- of steenkoolgas wordt de laag horizontaal aangeboord, zodat er een zo groot mogelijk volume kan worden bereikt. Om het gas naar de put toe te laten stromen wordt het gesteente in het horizontale deel van de boring gefract.

### **Ruimtebeslag en hinder**

Het belangrijkste effect op de omgeving, in vergelijking met conventionele gaswinning, is dat het meer ruimte in beslag neemt. Ook zijn er per boorlocatie meer industriële activiteiten. De hinder die dit oplevert is voor een groot deel afhankelijk van de locatiespecifieke omstandigheden. Locatiespecifiek onderzoek is daarom nodig om deze hinder te bepalen en specifieke mitigerende maatregelen voor te schrijven.

### **Methaanemissies en klimaatvoetafdruk**

Methaan kan tijdens verschillende fasen van de opsporing en winning vrijkomen. Methaan kan tijdens het fraccen met het retourwater mee naar het oppervlak komen. In de Verenigde Staten wordt dit water vaak in open bassins opgeslagen en kan daarmee vrij aan de lucht ontsnappen. Het methaan ontsnapt in Nederland niet, omdat het retourwater verplicht wordt opgeslagen in tanks. Als het methaan vervolgens wordt afgevangen is de klimaatvoetafdruk per gewonnen hoeveelheid gas vergelijkbaar of iets groter dan die van conventionele gaswinning in Nederland. Door de intensievere logistiek, het langer boren en het fraccen vindt er namelijk meer CO<sub>2</sub> uitstoot plaats dan bij conventionele gaswinning.

### **Bodembewegingen**

Aardbevingen kunnen bij schalie- of steenkoolgaswinning mogelijk ontstaan door het onder hoge druk injecteren van fracvloeistof in of nabij een actieve breukzone in een seismisch actief gebied. Het fraccen zelf levert trillingen op met een magnitude kleiner dan één die niet gevoeld kunnen worden. De mogelijk geïnduceerde aardbevingen zijn niet groter dan magnitude 3. Via het werkprogramma en meetplan dat in het mijnbouwbesluit is vastgelegd kan de mijnbouwonderneming worden verplicht de kans op induceren van aardbevingen te

bepalen en mogelijke aardbevingen te monitoren. Bij winning van schalie- en steenkoolgas treedt geen compactie op en dit zal dan ook niet leiden tot bodemdaling.

### **Watergebruik**

Voor het boren en fraccen is proceswater nodig. Per put wordt er gemiddeld ongeveer 20.000 m<sup>3</sup> in de grond gebracht. Een kwart tot de helft van de boor- en frac-vloeistof komt terug als afvalwater. Tijdens de productiefase produceert een put water tot 100 m<sup>3</sup> per dag. Dit is formatie- en condens water dat als gevolg van het fraccen en produceren vrijkomt. Het water dat geproduceerd wordt per put is vele malen groter dan de totale waterbehoefte per put. Een deel van het geproduceerde water kan hergebruikt worden voor het fraccen van andere putten.

### **Frac-vloeistof**

De vloeistof die gebruikt wordt voor het fraccen bevat voornamelijk water met daarin hulpstoffen en proppant (vulmiddel, vaak is dit zand). De hulpstoffen worden in hoge concentraties aangevoerd en op locatie met het water en proppant gemengd tot frac-vloeistof. Een aantal van deze hulpstoffen kan, in hoge concentraties, schadelijk zijn, waardoor het transport en de opslag hiervan een mogelijk risico vormt. Het fraccen in de ondergrond gebeurt in lage concentraties met minder dan 2 % aan hulpstoffen.

### **Veiligheid**

Het geaccumuleerde operationele veiligheidsrisico per boorlocatie is naar verwachting groter dan bij conventionele gaswinning door de grotere hoeveelheid putten per locatie, het langer boren en de grotere aan- en afvoer. Aan de andere kant ontbreekt bij onconventionele winning het risico op blowouts, wat bij conventionele gaswinning het allergrootste risico is. De risico's van bovengrondse activiteiten kunnen berekend worden met beschikbare risicomodellen. Deze zijn nog niet in de wet- en regelgeving voor aardgasproductie-installaties opgenomen, maar worden daarvoor wel al gebruikt.

### **Grondwater**

Een mogelijk risico van schalie- en steenkoolgaswinning is vervuiling van het grondwater door lekkage van frac-vloeistof en methaan. Dit kan op drie manieren:

1. grondwatervervuiling kan ontstaan door falen van de boorgatintegriteit. Dit betekent dat er vloeistof of methaan door of langs de verbuizing kan gaan lekken. Dit risico is groter dan bij conventionele gaswinning omdat er relatief meer putten geboord worden en er door het herhaald fraccen de verbuizing hogere drukken te verwerken krijgt. Het bewaken en in stand houden van de boorgatintegriteit is dus een van de belangrijkste zaken om dit risico te mitigeren. In Nederland zijn deze risico's beheersbaar, omdat de formaties op grote diepte liggen, er hoge eisen worden gesteld worden aan kwaliteit van de boorput en er vanuit de wetgever toezicht en handhaving is;
2. ook zou vervuiling kunnen ontstaan door migratie van vloeistof of methaan, enerzijds direct vanuit de schalie- of steenkoollaag, anderzijds via een andere bestaande put. Het risico voor migratie vanuit de schalie- of steenkoollaag is te verwaarlozen vanwege de grote diepte waarop het schalie- of steenkoolgas wordt gewonnen. In Nederland zijn de locaties van verlaten en actieve putten goed bekend. Een goed verlaten put hoeft op zich geen risico te vormen;
3. vervuiling van bodem, ondiep grondwater en oppervlaktewater kan optreden door morsingen of lekkages op de boorlocatie. Dit risico wordt in Nederland tot een minimum beperkt, omdat dit water moet worden opgeslagen in tanks die op vloeistofdichte vloeren staan opgesteld. Een manier om het effect van eventuele vervuiling te voorkomen is hulpstoffen te gebruiken die minder schadelijk zijn voor mens, natuur en milieu.

### **Relatie met huidige mijnbouwwetgeving**

De huidige mijnbouwwetgeving in Nederland maakt gebruik van doelstellende bepalingen, waarmee kan worden ingespeeld op onverwachte gebeurtenissen in Nederland en de rest van de wereld. In artikel 67 van het mijnbouwbesluit staat dat 'schade moet worden voorkomen'. In tegenstelling tot andere landen biedt dit de toezichthouder in Nederland de mogelijkheid zelf maatregelen in te zetten of voor te schrijven. In de regelgeving wordt het fraccen niet als aparte werkzaamheid benoemd, maar beschouwd als onderdeel van hetzij de aanleg van een boorgat hetzij het onderhoud van het boorgat. Een voorstel voor aanpassing van wetgeving is hiervoor in de maak. In de praktijk worden bijzondere werkzaamheden (zoals fraccen) bij de toezichthouder echter al gemeld. Deze kan vervolgens een werkprogramma vereisen waarin het fraccen en het gebruik van chemicaliën specifiek wordt uitgewerkt.

Om de effecten op mens, natuur en omgeving (waaronder aardbevingen) op lokaal niveau te inventariseren is ook locatiespecifiek onderzoek nodig, bijvoorbeeld in de vorm van een milieueffectrapportage.



## **SUMMARY**

The Dutch Ministry of Economic Affairs has given the consortium consisting of Witteveen+Bos, Arcadis and Fugro an assignment to investigate the possible risks and effects of exploration and exploitation of shale gas and coal bed methane in The Netherlands. The main questions of the research have been outlined in 55 research question that have been answered in the shape of technical notes. This summary contains the most important findings of this research.

### **Conventional versus unconventional gas**

Unconventional gas and conventional gas consist both mainly out of methane. Conventional gas is trapped in reservoir rock with a high porosity and permeability. Gas that is still trapped in the source rock (shale and coal) is called unconventional gas. The low permeability of this source rock is the reason that the gas has not escaped. Techniques such as horizontal drilling and hydraulic fracturing ('fracking' or 'fracking') are required to release the methane from the shale or coal beds. Frac techniques have already been used since the '60's and horizontal borings are also routine, but the terminology 'conventional' versus 'unconventional' has remained.

Both the exploration for conventional and unconventional gas relies on desk study and geophysical (seismic) survey. After the discovery of a hydrocarbon prospect, test borings may be carried out to verify its potential. For shale gas the purpose of the test boring is to verify the amount of gas that is present and whether the shale rock can be fractured. Hydraulic fracturing is the technique to inject fracking fluid under high pressure into the shale or coal formation to create fractures from the well. The shale or coal formation is drilled horizontally to allow fracking of a large volume. The rock is fractured from the horizontal part of the well in order to allow as much of the trapped gas to flow from the formation.

### **Footprint and nuisance**

Compared to conventional gas extraction, the areal footprint of the activities is larger. Per drilling site, there are also more industrial activities. Any inconvenience this creates is to a large extent dependent on site-specific conditions. Location specific investigations are therefore necessary in order to determine this nuisance and to specify mitigating measures.

### **Methane emissions and climate footprint**

Methane can be released during different phases of exploration and winning. Methane can be transported with the flowback water to the surface during the fracking process. In the United States the flowback water is often stored in open basins and the methane can thus freely escape to the air. This is not possible in The Netherlands since the flowback water has to be stored in closed tanks where the methane can be contained and captured. If the methane is captured the carbon footprint is similar or somewhat larger than the conventional gas winning in The Netherlands. In general, there is a higher CO<sub>2</sub> footprint, because of the higher intensity of the logistics, the longer duration of the drilling and the energy required for the fracking.

### **Earthquakes and subsidence**

Earthquakes can occur due to the injection of fracturing fluids under high pressure in or near active fault zones in a seismic active area. The fracking itself generates vibrations with a magnitude smaller than 1, which cannot be felt at the surface. The possible induced earthquakes will not be larger than magnitude 3. With the Work Plan and the Survey Plan that is specified in the Dutch mining law the mining company can be required to determine the likelihood of induced earthquakes and monitor possible earthquakes. During production

of gas from the shale or coal beds there is no compaction taking place. This will therefore not result in surface subsidence.

### **Water usage**

For drilling and fracking, process water is required, an average of about 20,000 m<sup>3</sup> per well. A quarter to a half of the drilling and fracking fluid returns as wastewater (flowback water). During the production phase, a well produces up to 100 m<sup>3</sup> of water per day. This is formation and condensation water, generated by the gas production. The water produced by a well is many times greater than the total water requirements for each well. Part of the produced water can be reused for the hydraulic fracturing of other wells.

### **Fracking fluid**

The fluid used for hydraulic fracturing consists mainly of water with proppant (often sand) and additives. These additives are transported in high concentrations to the site and are mixed with the water and proppant, on site, as fracking fluids. In high concentrations, some of these additives may be harmful. The transportation and storage can therefore pose a risk. Fracking in the subsurface with the fracking fluid is with low concentrations, with less than 2% additives.

### **Safety**

The accumulated operational safety risk per location is likely higher than conventional gas exploration and production due to the larger number of wells, the longer drilling and the large transport volumes. However, unconventional gas exploration does not suffer the high risk of blowouts, which is the highest risk during conventional gas exploration and production. The risks of surface activities can be calculated with the available risk models. These risk models are not yet required in the present legislation for natural gas production installations, but have already been used for this purpose.

### **Ground water**

A possible risk associated with shale gas and coal bed methane is pollution of ground water through leakage of fracking fluid and methane. This can occur in three ways:

1. Ground water pollution can occur due to failure of the wellbore integrity. This means that production fluids or methane can leak via the well casing or cementation. This risk is larger than during conventional gas exploration and production since relatively more wells are drilled and the casing experiences larger pressures due to the fracking. Monitoring and maintaining the wellbore integrity is therefore one of the most important measures to control and mitigate this risk. In The Netherlands, these risks are manageable, because the formations are at large depths, there are strict requirements to the quality of the wellbore and there is adequate supervision and enforcement.
2. Pollution can also be created due to the migration of fluids or methane directly from the shale or coal bed or via another existing well. The risk of migration from the shale layer or coal bed is very small due the large depths at which the shale or coal occurs. Location of abandoned wells in The Netherlands are well known. If the well is abandoned in a proper fashion, this does not need to be a risk.
3. Pollution of soil, shallow groundwater and surface water can occur due to spillage or leakage at the drill site. This risk is minimized in The Netherlands because the process water need to be stored in closed tanks situated on watertight floors. Another way to mitigate the effect of possible pollution is to use additive that are less harmful for people, nature and the environment.

### **Relation with current legislation**

The current mining legislation in The Netherlands makes use of goal-setting provisions, with which can be reacted to unexpected occurrences in The Netherlands and abroad. In

Article 67 of the Mining Decree it is stated that 'damage shall be prevented'. This gives the Dutch State Supervision of Mines (SSM) the possibility to implement or specify additional measures. Hydraulic fracturing is not specifically mentioned in the Dutch mining legislation as a separate activity, but is considered part of well construction or well maintenance. A proposal to revise the current legislation is under way to take this omission into account. However, current practice is that special activities (such as fracking) are already reported to the SSM. In turn, the SSM can subsequently request from the mining company a Work Programme in which the fracking and use of additives is specified.

To determine the local effects on people, nature and environment location-specific investigations are needed, for instance in the form of an environmental impact assessment.





## KERNRAPPORT



## 1. AANLEIDING, DOEL EN AFBAKENING

### 1.1. Aanleiding

Het kabinet wil de Nederlandse gasvoorraden maximaal benutten en kijkt in dat verband ook naar onconventioneel gas, zoals schaliegas en steenkoolgas. Schalie- en steenkoolgas zijn koolwaterstoffen die zich bevinden in slecht doorlatend gesteente in de diepe ondergrond. Alleen met behulp van meerdere horizontale putten kan winning plaatsvinden, waarbij in het geval van schalie- en steenkoolgas het gesteente gefract (zie begrippenlijst) wordt.

Schalie- en steenkoolgaswinning is een maatschappelijk gevoelig dossier. Initiatieven op het gebied van schaliegaswinning hebben vragen en bezorgdheid opgeroepen bij verschillende partijen, waaronder de Tweede kamer. Deze (maatschappelijke) vragen zijn door het Ministerie van Economische Zaken geïnventariseerd en gebundeld [ref. 1.]. Voor de volledigheid zijn deze onderzoeksvragen ook bijgevoegd in dit rapport in bijlage I.

Het Ministerie van Economische Zaken heeft opdracht gegeven voor een onderzoek, waarvan doel en reikwijdte als volgt zijn geformuleerd:

In kaart brengen van mogelijke risico's en gevolgen van opsporen en winnen van schaliegas (en steenkoolgas) in Nederland in termen van veiligheid voor natuur, mens en milieu. Met de aanvullende vraag op welke wijze de Nederlandse wet- en regelgeving de risico's en gevolgen adresseert en mitigeert.

### 1.2. Doel

Het doel van het onderzoek is het helder en duidelijk in kaart brengen wat de mogelijke risico's en gevolgen van opsporen en winnen van schaliegas en steenkoolgas in Nederland zijn. De hoofdvragen waarop het onderzoek antwoord geeft zijn:

1. waarin verschillen van nature vormen van onconventioneel gas van conventioneel gas?
2. hoe vertalen die verschillen zich in andere manieren van opsporing en winning?
3. hoe vertalen die andere manieren van opsporing en winning zich in effecten op de omgeving?
4. hoe uiten die effecten zich in termen van veiligheidsrisico's voor mens, natuur en milieu?
5. welke methodieken en technieken bestaan er voor preventie of mitigatie van die effecten?
6. welke onvolkomenheden bevat de huidige wet- en regelgeving om de veiligheid van opsporing en winning van onconventioneel gas te waarborgen?

Deze hoofdvragen zijn uitgewerkt in specifieke onderzoeksvragen. In totaal zijn 55 vragen aan de specialisten van het consortium van Witteveen+Bos, Arcadis en Fugro voorgelegd. In dit eindrapport is de beantwoording van de onderzoeksvragen opgenomen en zijn bovenstaande hoofdvragen beantwoord (zie hoofdstuk 3 bevindingen). De achtergrondnotities bevatten de analyse en beantwoording van de onderzoeksvragen. Deze notities zijn opgenomen in het bijlagenrapport.

### 1.3. Afbakening

Het Ministerie van Economische Zaken heeft de uit zeven consultaties voortgekomen onderzoeksvragen gebundeld en gerubriceerd (zie bijlage I). De lijst van deelnemers aan deze consultatierondes staan in het tekstblok hieronder weergegeven. De onderzoeksvragen

zijn in vier categorieën opgedeeld. Een algemeen deel A, het zogenaamde statusrapport, een deel B met onderzoeksvragen, deel C met vragen ter beantwoording door de Rijks-overheid en een deel D met vragen die buiten de reikwijdte van het onderzoek vallen.

De reikwijdte van dit onderzoek heeft zich beperkt tot de onderzoeksvragen uit de categorieën A en B<sup>1</sup>. Deel A geeft een overzicht van de thans gangbare werkwijze, beschikbare technologieën en wijze van risicobeheersing bij opsporen en winnen van schalie- en steenkoolgas. Deel B gaat in op de beantwoording van de meer gedetailleerde technische en juridische vragen, waarbij wordt ingegaan op risico's en gevolgen voor natuur, mens en milieu.

#### **Deelnemers aan de consultatierondes**

Actiegroep Stop Steenkoolgas  
Aviko B.V.  
bewoner nabij boorlocatie in Boxtel (bewoner)  
Brabantse Milieufederatie (BMF)  
Commissie Ruimtelijke Ordening Lennisheuvel (CROL)  
EBN  
Gemeente Boxtel  
Gemeente Haaren  
Gemeente Lochem  
Gemeente Zutphen  
Gemeenteraad Boxtel  
Greenpeace  
Milieudefensie  
NOGEPA  
Provincie Flevoland  
Provincie Gelderland  
Provincie Limburg  
Provincie Noord-Brabant  
Provincie Overijssel  
Provincie Zeeland  
Rabobank Nederland (Rabobank)  
Schaliegasvrij Boxtel (SB)  
Statenscommissie Ecologie & Handhaving van de provincie Noord-Brabant  
Stichting Landschapsbeheer Nederland  
Stichting natuur en milieu  
Stichting schalieGASvrij Haaren (SSH)  
Vewin  
Waddenvereniging

Het onderzoek bouwt voort op al aanwezige (internationale) kennis en ervaring op dit gebied. De reikwijdte en het schaalniveau van het onderzoek zijn vastgesteld op Nederland. Dit betekent niet dat buitenlandse bronnen worden uitgesloten. De meeste literatuur en data over het onderwerp komt namelijk van buitenlandse bronnen. In het onderzoek is echter een vertaalslag gemaakt van de buitenlandse bronnen naar de Nederlandse situatie. Aangezien het schaalniveau van het onderzoek (geheel) Nederland betreft, zijn geen locatie-

---

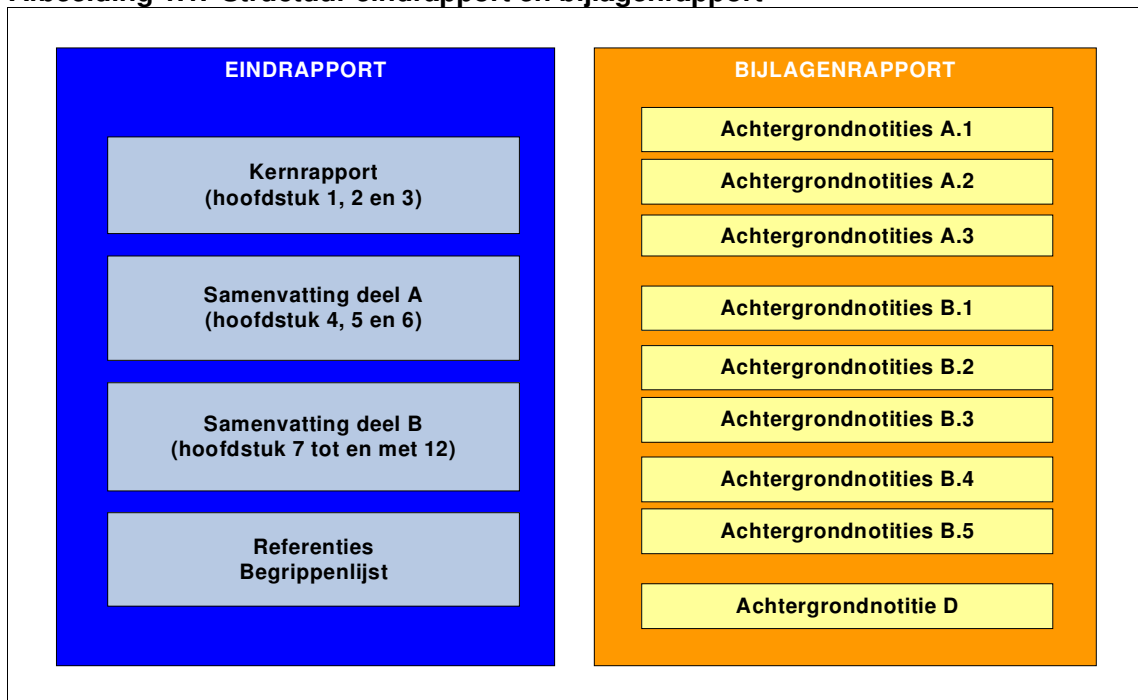
<sup>1</sup> Met uitzondering van één vraag uit onderdeel D over kosteninschatting van mitigerende maatregelen, die wel is beantwoord. Zie hoofdstuk 12 van dit rapport.

specifieke afwegingen gemaakt. Locatiespecifieke afwegingen kunnen onder andere in een milieu effect rapportage aan de orde komen.

#### 1.4. Leeswijzer rapport

De resultaten van het onderzoek zijn gerapporteerd in dit eindrapport en in een bijlagenrapport. In onderstaande afbeelding zijn de onderdelen van het rapport weergegeven. Vervolgens worden de verschillende onderdelen toegelicht.

**Afbeelding 1.1. Structuur eindrapport en bijlagenrapport**



#### **Kernrapport**

Het kernrapport is een weergave van de belangrijkste uitgangspunten en bevindingen van het onderzoek. In hoofdstuk 1 zijn aanleiding en doel van het onderzoek beschreven. Hoofdstuk 2 schetst een beeld van de aanpak en methodiek. Hoofdstuk 3 geeft de bevindingen weer. In dit laatste hoofdstuk van het kernrapport worden de hoofdvragen van het onderzoek beantwoord. Om de context van de bevindingen te begrijpen wordt de lezer doorverwezen naar de samenvattingen van deel A en deel B.

#### **Samenvattingen deel A en B**

Het eindrapport kent een samenvatting van deel A (hoofdstuk 4 tot en met 6) en een uitgebreide samenvatting van deel B (hoofdstuk 7 tot en met 12). Hierin worden de belangrijkste conclusies uit de achtergrondnotities in leesbare taal samengevat.

In deel A (status rapport) wordt uiteengezet wat de algemene ervaringen en de best beschikbare technieken zijn en hoe die - in elk geval technisch en logistiek - van toepassing zouden kunnen zijn op de Nederlandse situatie. De volgende onderwerpen komen in deel A onder andere aan de orde:

- wet- en regelgeving in Nederland en Europa;
- boor- en frac methoden;
- innovaties in boor- en frac methoden;
- karakteristieken opsporing en winning schalie- en steenkoolgas;

- klimaatvoetafdruk;
- risico's en veiligheid op hoofdlijnen;
- monitoring.

In deel B (onderzoeksvragen) gaat het om effecten en risico's voor natuur, mens en milieu. Hierbij is zoveel mogelijk gekeken naar oorzaak-gevolg relaties. Dat betekent, dat eerst de processen in de ondergrond zijn beschreven, voordat een vertaling naar effecten en risico's is gemaakt. De volgende onderwerpen komen in deel B onder andere aan de orde:

- waterverbruik;
- effecten op beschermde gebieden;
- methaanemissies;
- effecten op (ondiepe) grondwatersystemen en drinkwatervoorziening;
- bodembeweging: bodemdaling en aardbevingen;
- wet- en regelgeving over veiligheid.

Voor de volledigheid is de oorspronkelijke onderzoeksvraag aan het begin van elke paragraaf herhaald in een tekstblok.

### **Achtergrondnotities**

Het doel van de achtergrondnotities is de beantwoording van elke onderzoeksvraag te rapporteren. De nadruk hierbij ligt op een consistente rapportering, waarbij de wetenschappelijke onderbouwing en herleidbaarheid van de bronnen een belangrijk aspect is. De lezer die de 'ins en outs' over een bepaald onderwerp wil weten kan de achtergrondnotities in het bijlagenrapport lezen.

### **Referenties en begrippenlijst**

Referenties en begrippenlijst staan aan het eind van dit rapport. De referenties slaan niet op de bronnen die in de achtergrondnotities zijn gebruikt. Deze staan in de achtergrondnotities zelf vermeld.

## 2. VERANTWOORDING EN METHODIEK

Initiatieven op het gebied van de opsporing en ontwikkeling van schalie- en steenkoolgas hebben vragen en bezorgdheid opgeroepen bij verschillende partijen. Het ministerie van Economische Zaken heeft alle partijen in consultaties de gelegenheid gegeven om hun vragen over de opsporing en ontwikkeling van schalie- en steenkoolgas te stellen. Voor de begeleiding van het onderzoek is uit de betrokken partijen een klankbordgroep gevormd. Een toelichting op de consultaties en de klankbordgroep volgt in paragraaf 2.1.

De opdracht was om de vragen zo zorgvuldig mogelijk te beantwoorden. Bij het beantwoorden van de vragen is een zorgvuldige aanpak gehanteerd, zodat een objectief en reproduceerbaar antwoord kon worden geformuleerd. In deze aanpak zijn de meest relevante wetenschappelijke bronnen en expertises geraadpleegd. De vragen zijn beantwoord door een team van specialisten uit het consortium. In paragraaf 2.2. wordt de in het onderzoek gehanteerde werkwijze toegelicht.

### 2.1. Consultatie en klankbordgroep

Vragen voor het onderzoek zijn - op uitnodiging van het ministerie van Economische Zaken - gesteld in zeven consultatierondes met burgers, bedrijven, regionale en nationale belangenorganisaties, overheden en andere belanghebbenden. De volledige lijst van deelnemers aan deze consultatierondes is gegeven in paragraaf 1.3.

Voor en tijdens de consultatiebijeenkomsten is aan alle betrokkenen duidelijk gemaakt wat de reikwijdte van het toegezegde onderzoek is. Wel stond het alle betrokkenen uiteraard vrij om alle vragen te stellen die zij naar voren wilden brengen. De gestelde vragen zijn door het ministerie van Economische Zaken samengebracht en gecategoriseerd (zie bijlage I). Een groot deel van de geïnventariseerde vragen is in dit onderzoek beantwoord (zie leeswijzer in hoofdstuk 1).

#### **Klankbordgroep**

Voor de begeleiding van het onderzoek van het consortium is uit de betrokken partijen een klankbordgroep (KBG) gevormd. In overleg hiermee is het definitieve onderzoeksplan opgesteld [ref. 2.]. Vanaf juni 2012 is de KBG vier keer bijeengekomen. De laatste bijeenkomst met de KBG heeft plaatsgevonden in juli 2013. Tijdens deze bijeenkomst zijn de bevindingen van het onderzoek gepresenteerd.

### 2.2. Werkwijze onderzoek

#### **Aanpak op hoofdlijnen**

Bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen (deel A en B) is een zodanige aanpak gehanteerd, dat een objectief en reproduceerbaar antwoord kan worden geformuleerd. Voor een efficiënte, doelgerichte en zorgvuldige aanpak is een onderzoeksmethodiek gevolgd die bestaat uit de volgende stappen:

1. afbakening van de onderzoeksvraag vanuit de geografische en politieke context;
2. afbakening van de onderzoeksvraag in termen van wetenschappelijke en inhoudelijke diepgang;
3. bepaling en afstemming van raakvlakken: veel vragen en onderzoeksonderwerpen hebben raakvlakken met elkaar en onderzoekers hebben inhoudelijk afgestemd;
4. bronnenonderzoek: literatuuronderzoek, consultatie van experts en data analyse;
5. rapportage in (achtergrond)notities;
6. review van de rapportages (intern en extern).

Onderstaand zijn de stappen nader toegelicht.

### **Afbakening van de onderzoeksvragen (stap 1 en 2)**

Om per onderzoeksvraag te komen tot een antwoord dat enerzijds wetenschappelijk acceptabel is, maar anderzijds ook bevredigend is voor de vragensteller en opdrachtgever, is er ruime aandacht geweest voor de afbakening van de onderzoeksvragen.

#### *Afbakening van de bestuurlijke en juridische context*

De onderzoeksvragen zijn door verschillende stakeholders gesteld. De stakeholders hebben niet allemaal dezelfde belangen en zorgen, maar de onderzoeksvragen hebben allen betrekking op de mogelijke risico's en gevolgen van schalie- en steenkoolgaswinning. De (maatschappelijke) gevoeligheid van het onderwerp schalie- en steenkoolgas is groot.

De meeste ontwikkelingen van schalie- en steenkoolgas vinden plaats in de Verenigde Staten. De bestuurlijke en juridische context in de Verenigde Staten is zo sterk afwijkend van de Nederlandse, dat sommige van de onderwerpen en problemen die in de VS relevant zijn in Nederland niet aan de orde zijn.

#### *Afbakening van de geografische context*

De vragen zijn beantwoord vanuit de Nederlandse context. De meeste bronnen over het onderwerp komen uit het buitenland. Vooral uit de Verenigde Staten waar de meeste ervaring is met schalie- en steenkoolgas. Deze ervaringen zijn, voor zover mogelijk, specifiek gemaakt voor de Nederlandse situatie. In sommige gevallen zijn de geologische, geografische of klimatologische aspecten echter zo sterk afwijkend van de Nederlandse situatie dat de resultaten niet bruikbaar zijn. In deze gevallen is aangegeven welk aanvullend onderzoek nodig zou zijn om bruikbare informatie op te leveren. De antwoorden zijn generiek voor de Nederlandse situatie beantwoord, tenzij sprake is van een sterke geografische beperking. In de achtergrondnotities is globaal weergegeven met welke risico's rekening gehouden dient te worden.

#### *Afbakening van de diepgang*

Om tot een objectief en wetenschappelijk verantwoord antwoord te komen op de onderzoeksvragen is een bepaalde diepgang noodzakelijk. Dit onderzoek heeft zich beperkt tot presentatie en interpretatie op basis van beschikbare bronnen aangevuld met het deskundig oordeel van de onderzoeker.

Als een bepaalde vraag niet te beantwoorden is, omdat de vereiste kennis, inzichten of gegevens niet beschikbaar of betrouwbaar zijn, dan is dit expliciet vermeld in de achtergrondnotitie. In dit geval is een beschrijving gegeven van aanvullend onderzoek wat benodigd is om de vraag wel te kunnen beantwoorden.

Het kan ook zijn dat er zeer verschillende inzichten bestaan die elkaar tegenspreken. In dit geval is het aan de onderzoeker overgelaten om op basis van een deskundig oordeel hier uitsluitsel over te geven. De afwegingen van de onderzoeker zijn hierbij inzichtelijk gemaakt.

### **Afstemming raakvlakken (stap 3)**

Met 55 onderzoeksvragen en ongeveer 20 experts in het team is het belangrijk om een consistente inhoudelijke kwaliteit van de notities te waarborgen en verschillende inzichten over overeenkomstige onderwerpen te vermijden. Om de raakvlakken te kunnen beheersen zijn van tevoren alle raakvlakken tussen de onderwerpen en expertises geïdentificeerd.



Onderzoeksvragen die min of meer over hetzelfde onderwerp gaan, zijn door het ministerie van Economische Zaken al logisch gebundeld in verschillende hoofdthema's (A.1, A.2, A.3, B.1 tot en met B.5 en D). Dit vergemakkelijkt het identificeren van raakvlakken tussen de verschillende onderzoeksvragen.

Er zijn ook raakvlakken te herkennen in de vragen tussen de verschillende hoofdthema's. Bij sommige onderzoeksvragen waren specifieke deelaspecten geformuleerd die overlap vertonen met deelaspecten van andere onderzoeksvragen. Zowel in de achtergrondnotities als in de samenvattingen zijn zoveel mogelijk onderlinge verwijzingen opgenomen op de plekken waar raakvlakken met andere onderzoeksvragen zijn geconstateerd.

#### **Bronnenonderzoek (stap 4)**

Het bronnenonderzoek dat in dit project is uitgevoerd om de beantwoording van de vragen te onderbouwen bestaat uit de volgende onderdelen:

- a. consultatie van organisaties en experts;
- b. data analyse;
- c. literatuuronderzoek.

De nadruk in het bronnenonderzoek lag op literatuuronderzoek aangevuld met eigen expertise, dat wil zeggen het evalueren van bestaande (wetenschappelijke) literatuur en onderzoeksrapporten op basis van 'expert judgement'. Met relevante wetenschappelijke bronnen wordt bedoeld 'peer reviewed' artikelen en publicaties. Er is daarnaast ook veel relevante informatie te vinden in rapporten van overheden, instituten en bureaus. Bij het ontbreken van 'peer-reviewed' onderzoek zijn deze bronnen meegenomen. Hierbij is aangegeven dat deze informatie niet wetenschappelijk geverifieerd is.

Consultatie van organisaties en experts was bedoeld om aanvullende data en informatie te krijgen die niet publiekelijk toegankelijk of ontsloten zijn. Persoonlijke meningen en adviezen van de externe experts zijn niet meegenomen in het onderzoek om vooringenomenheid te voorkomen.

Voor een beperkt aantal vragen is data analyse gebruikt om op basis van bestaande data aanvullende informatie te verkrijgen die nog niet aanwezig is.

#### **Rapportage in achtergrondnotities (stap 5)**

Voor de rapportage van de beantwoording van iedere onderzoeksvraag is gebruikt gemaakt van een standaard opbouw. In elke achtergrondnotitie komen de volgende onderdelen aan de orde:

1. vraagstelling: letterlijk citaat van de gestelde onderzoeksvraag, afbakening van de vraag en eventuele onderverdeling in deelvragen;
2. aanpak: beschrijving van de gebruikte onderzoeksmethodiek en verantwoording van de gebruikte bronnen;
3. analyse: toelichting en beantwoording van de onderzoeksvraag en de eventueel deelvragen;
4. conclusies: samenvatting van de beantwoording van de onderzoeksvraag, inclusief eventuele aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

#### **Review van de achtergrondnotities (stap 6)**

Om de kwaliteit van de achtergrondnotities te waarborgen zijn twee interne toetsrondes ingebouwd: een eerste toetsing door een deskundige vakinhoudelijke collega en een tweede toetsing op leesbaarheid, consistentie en algemene kwaliteit door de projectleiders.

Bij de eerste toetsing is gecontroleerd of de onderzoeksvragen op een wetenschappelijke en objectieve wijze beantwoord zijn en of gebruik is gemaakt van de juiste bronnen (met correcte bronverwijzingen). In de eerste toetsronde is de achtergrondnotitie tevens inhoudelijk gecontroleerd op juistheid en volledigheid.

In de tweede toetsingsronde is de achtergrondnotitie gecontroleerd op:

- de logische navolgbaarheid van keuzes;
- begrijpelijkheid en leesbaarheid van de tekst;
- de volledigheid van (bron)verwijzingen;
- consistentie met andere achtergrondnotities;
- spelfouten en grammatica.

Om de wetenschappelijke en inhoudelijke kwaliteit binnen het onderzoek te waarborgen is door het ministerie van Economische Zaken de commissie MER om advies gevraagd. Deze externe review vindt plaats nadat het onderzoek aan de minister is aangeboden.

### 3. BEVINDINGEN

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen op hoofdlijnen van dit onderzoek op de zes hoofdvragen uitgewerkt. Deze hoofdvragen zijn:

1. waarin verschillen van nature vormen van onconventioneel gas van conventioneel gas?
2. hoe vertalen die verschillen zich in andere manieren van opsporing en winning?
3. hoe vertalen die andere manieren van opsporing en winning zich in effecten op de omgeving?
4. hoe uiten die effecten zich in termen van veiligheidsrisico's voor mens, natuur en milieu?
5. welke methodieken en technieken bestaan er voor preventie of mitigatie van die effecten?
6. welke onvolkomenheden bevat de huidige wet- en regelgeving om de veiligheid van opsporing en winning van onconventioneel gas te waarborgen?

Voor een verdere uitwerking van de 55 onderzoeksvragen wordt verwezen naar betreffende hoofdstukken van dit rapport en de achtergrondnotities in het bijlagenrapport.

#### 3.1. Vergelijking niet-conventionele gas en conventionele gaswinning

##### Samenstelling en verschillen

Er is geen wezenlijk verschil tussen de samenstelling van onconventioneel gas en conventioneel gas. Beiden betreffen aardgas, waarvan methaan ( $\text{CH}_4$ ) de belangrijkste component is. Schalie en steenkool is het moedergesteente waarin methaan is gevormd uit het aanwezige organische materiaal. Een gedeelte van dit methaan kan zijn gemigreerd naar bovenliggende (doorlatende) gesteentelagen. Een deel van dit methaan zit vaak nog gevangen in het moedergesteente.

In het maatschappelijk debat wordt veelal gesproken over conventioneel en onconventioneel gas. De verschillen zitten niet in de samenstelling, maar in de manier waarop het gas opgesloten zit en daarmee de manier waarop het gewonnen wordt. In de olie- en gaswereld wordt dit onderscheid vaak bepaald op basis van doorlatendheid van het reservoirgesteente. De reden waarom dit 'onconventioneel' is genoemd is omdat er onconventionele technieken moesten worden toegepast (zoals horizontaal boren en fraccen) om het gas eruit te krijgen. Ondertussen zijn de frac technieken sinds de jaren '50 van de vorige eeuw zo ver ontwikkeld en zo vaak al toegepast dat dit geen onconventionele technieken meer zijn. De terminologie is echter wel gehandhaafd. Deze definitie is echter niet eenduidig, want deze technieken worden ook regelmatig toegepast om gas uit reservoirgesteente te halen met een relatief hoge doorlatendheid, dus eigenlijk conventioneel gas. Volgens deze definitie is zogenaamd 'tight gas'<sup>1</sup> ook onconventioneel gas, terwijl de meningen daarover verschillen.

##### Winningsdiepte

Conventioneel gas wordt in Nederland meestal gewonnen op een diepte van ongeveer 3 km. De potentiële formaties in Nederland waar schaliegas uit gewonnen kan worden zijn de Posidonia schalie (gemiddeld 3 km diepte) en de Geverik schalie (gemiddeld 4 km diepte). Deze potentiële schaliegas formaties moeten bovendien nog meerdere kilometers horizontaal worden aangeboord om een voldoende groot volume te kunnen winnen. De optimale diepte waarop steenkoolgas gewonnen kan worden is 1.500 m. Dit beperkt in Nederland de mogelijkheden voor steenkoolgaswinning aanzienlijk.

---

<sup>1</sup> 'Tight gas' is dat in relatief ondoorlatend gesteente zit opgesloten, bijvoorbeeld zandsteen.

### **Conventioneel gas**

Het belangrijkste verschil tussen onconventioneel en conventioneel gas is de manier waarop het in de diepe ondergrond opgesloten is. Conventioneel gas bevindt zich in reservoirgesteente met een hoge porositeit, dat goed doorlatend is, bijvoorbeeld zandsteen of kalksteen. Het gas stroomt hierbij vanzelf naar de put toe. Bovendien zit conventioneel gas opgesloten in een geologische structuur, bijvoorbeeld in een anticlinale structuur (plooïing), een afgesloten breukblok of onder een slecht doorlatende bovenliggende laag zoals steenzout. Dit gas is naar een reservoirgesteente gemigreerd vanuit een moedergesteente, meestal steenkool of schalie met een hoog gehalte aan organische bestanddelen.

### **Onconventioneel gas**

Er zijn verschillende definities voor conventioneel en onconventioneel gas. De wetenschappelijke definitie van onconventioneel gas is gas dat nog in het moedergesteente zit opgesloten en geen gas-watercontact heeft. De slechte doorlatendheid van dit moedergesteente is de reden dat het gas nog niet ontsnapt is. Bij schalie zit het gas vrij in de poriën samen met wat kerogeen. Bij steenkool is het gas geadsorbeerd door de kooldeeltjes.

In tegenstelling tot conventioneel gas, kan de gehele schalie- of steenkoollaag in eerste instantie te winnen zijn. Pas bij verdere exploratie en winning kunnen de rendabele productielocaties ('sweet spots') worden geïdentificeerd.

## **3.2. Manieren van opsporing**

### **Studie**

Voor opsporing van zowel conventioneel als onconventioneel gas is kennis van de ondergrond nodig. De studie begint met een bureau studie, waar alle beschikbare gegevens en informatie bestudeerd wordt. Door geologische studies over het moedergesteente, het reservoir en (voor conventioneel gas) de afdichtende lagen weet men waar de grootste kans op succes is. Vervolgens wordt in de meeste gevallen een seismisch onderzoek gestart wat uiteindelijk de structurele opbouw van de diepe ondergrond weergeeft. Bij het opsporen van conventioneel gas wordt gezocht naar specifieke geologische structuren die het gas opgesloten kunnen houden, in combinatie met dieper gelegen moedergesteente als bron van het gas. Door middel van een proefboring wordt getest of er inderdaad ophoping van gas heeft plaatsgevonden. Bij het opsporen van schalie- en steenkoolgas zijn er geen specifieke geologische structuren nodig zoals bij conventioneel gas. De gehele schalielaag is in eerste instantie exploitabel.

### **Boren en boorgatmetingen**

Parameters van de gesteenten zelf kunnen met boringen worden achterhaald. Die gegevens komen niet alleen uit boorkernen, maar ook uit boorgatmetingen. Om te bepalen of er gas zit in schalie- of steenkoollagen zijn onder andere de inkolingsgraad en porositeit van belang. De mate waarin het gesteente te fraccen is bepaald mede de winbaarheid. Deze gegevens zijn te verkrijgen uit boorkernen, die tijdens proefboringen naar boven kunnen worden gehaald. De inkolingsgraad is te extrapoleren op basis van geologische studies met op seismiek gebaseerde kaarten.

### **Productietesten**

Als het voorkomen dat is aangeboord voldoende potentie heeft, worden bij conventionele voorkomens productietesten gestart. Door het gas vrij in de put te laten stromen en te meten kan het gasvolume en productiecapaciteit worden bepaald. Bij onconventionele voorkomens moet eerst horizontaal geboord en gefract worden om het volume en de productiecapaciteit aan te tonen.

### 3.3. Manieren van winning

Het belangrijkste verschil tussen winning van conventioneel gas enerzijds en van schalie- en steenkoolgas anderzijds is de manier waarop de gashoudende laag wordt aangeboord. Bij de winning van conventioneel gas wordt er meestal vertikaal aangeboord. Door de relatief hoge doorlatendheid, in combinatie met de hoge druk in het reservoir, stroomt het gas vanzelf naar de put toe.

Bij schalie- en steenkoolgas stroomt het gas door de lage doorlatendheid niet vanzelf naar de put toe. Daartoe wordt het gesteente eerst gefract. Fraccen is het creëren van scheuren in het gesteente door het onder hoge druk inspuiten van water met hulpstoffen en 'proppants' (vulmiddel, vaak bestaande uit zand). De hulpstoffen maken het frac proces mogelijk en de 'proppants' zorgen ervoor dat de scheuren open blijven staan. Hiermee wordt de doorlatendheid van het gesteente vergroot. Door het grote drukverschil stroomt het gas vervolgens de put in, net als bij conventionele winning. Het fraccen wordt toegepast in het horizontale deel van de boring.

Bij schalie- of steenkoolgas wordt de laag horizontaal aangeboord zodat er een zo groot mogelijk volume kan worden bereikt. Bij steenkool- en schaliegaswinning moeten meer putten geboord worden om een zo groot mogelijk volume te kunnen winnen. Bij conventionele gaswinning volstaan in de regel minder putten voor het winnen.

Fraccen wordt ook toegepast in conventionele gaswinning om de toestroming van gas te stimuleren. In Nederland is de techniek sinds de jaren '60 al meer dan 200 keer toegepast. De drukken en volumes van deze frac operaties zijn in de regel kleiner dan bij schalie- en steenkoolgaswinning omdat het gesteente volume dat gefract moet worden kleiner is.

### 3.4. Mogelijke gevolgen

#### Ruimtebeslag en hinder

Het belangrijkste effect op de omgeving is het grotere ruimtebeslag en de daarmee gepaard gaande hinder bij schalie- of steenkoolgaswinning in vergelijking met conventionele gaswinning. Er zijn immers meer boorlocaties nodig en het maken van de put duurt langer. Bovendien vereist het fraccen meer activiteiten op de boorlocatie en meer aan- en afvoer naar de locatie. De hinder van een boorlocatie kan zich ondermeer uiten in licht en geluid. De meeste hinder is tijdens het boren. Na het boren is tijdens de productiefase de hinder voor een groot deel verdwenen. Ook is tijdens de productiefase het ruimtebeslag minder. Voor schaliegas neemt het boren, afwerken en fraccen van een put maximaal een jaar in beslag.

#### Watergebruik

Voor het fraccen, noodzakelijk bij winning van schalie- of steenkoolgaswinning, is per put tussen de 7.000 en 30.000 m<sup>3</sup> productiewater nodig. Voor het boren zelf is ongeveer 900 tot 2.400 m<sup>3</sup> water nodig. Een deel van de frac-vloeistof komt retour als afvalwater. De hogere boorintensiteit in de opsporingsfase maakt hergebruik als proceswater mogelijk. Ook tijdens de productiefase produceert een put water, tot 95 m<sup>3</sup> per dag. Gezien de samenstelling kan het afval- en productiewater niet direct geloosd worden of verwerkt door bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties. Het afvalwater moet dus worden afgevoerd en verwerkt.

#### Frac-vloeistof

De vloeistof die gebruikt wordt voor het fraccen bevat water, hulpstoffen en 'proppants'. De hulpstoffen worden in hoge concentraties aangevoerd en op locatie met het water en

'proppant' gemengd tot frac-vloeistof. Een aantal van deze hulpstoffen kan, in hoge concentraties, schadelijk zijn voor mens, natuur en milieu.

De frac-vloeistof wordt vervolgens onder hoge druk in de schalie- en steenkoolformaties<sup>1</sup> gepompt. Een gedeelte van deze vloeistof komt, samen met formatie water weer terug naar de oppervlakte waar het als proceswater kan worden hergebruikt of als afvalwater tijdelijk op locatie opgeslagen en elders verwerkt dient te worden. Het andere deel van deze frac-vloeistof blijft achter in de gefracte formatie. Deze vloeistof kan via de fracs in theorie migreren naar omliggende formaties. De veiligheidsrisico's hiervan worden in paragraaf 3.5 besproken.

Door lekkage of morsing van frac-vloeistof op de boorlocatie kan in theorie vervuiling van het ondiepe grondwater, oppervlaktewater en (water)bodem optreden. De veiligheidsrisico's hiervan worden in paragraaf 3.5 besproken.

### **Boorgruis**

Er worden meer putten gemaakt die ook nog eens horizontaal over grotere afstanden worden doorgezet dan bij conventionele winning. Hierdoor worden grotere hoeveelheden boorgruis gegenereerd. Het boorgruis van de schalieformaties kan bovendien mineralen bevatten die licht radioactief zijn. Als het boorgruis boven de norm van het Besluit stralingsbescherming (Bs) valt dan wordt het als radioactief beschouwd. In dat geval moet het gecontroleerd worden opgeslagen en/of afgevoerd. Boorgruis van conventionele boringen kan ook licht radioactieve mineralen bevatten omdat ook door schalielagen geboord kan worden. De ervaring in Nederland is dat de mate van radioactiviteit vrijwel nooit boven de norm van het Besluit stralingsbescherming (Bs) komt.

Tijdens de productie kunnen verrijkingen plaatsvinden van radioactieve mineralen in de 'scales' (aanslag of aankroeringen) in verbuizingen, afsluiters of verbindingelementen of in het slib van de tanks. Als deze 'scales' of slib de norm overschrijden moeten dit gecontroleerd worden afgevoerd en verwerkt.

### **Gasemissies**

Methaan kan tijdens verschillende fasen van de opsporing en winning vrijkomen. Methaan kan tijdens de opsporing bij het fraccen met het retourwater mee naar het oppervlak komen. In de Verenigde Staten wordt het zogenaamde 'flowback water' vaak in open bassins opgeslagen. Het methaan dat hierin zit kan daarmee vrij aan de lucht ontsnappen. Het retourwater moet in Nederland worden opgeslagen in tanks, waardoor ontsnapping van methaan wordt voorkomen. Normaal gesproken wordt dit methaan afgefakkeld, maar bij een bestaande gasinfrastructuur kan dit gas aan de hoofdstroom worden toegevoegd. Methaan kan theoretisch gezien ook via de fracs ontsnappen naar direct bovengelegen formaties. De veiligheidsrisico's hiervan worden in paragraaf 3.5 besproken.

### **Klimaatvoetafdruk**

De klimaatvoetafdruk van schaliegaswinning per gewonnen hoeveelheid gas is gelijk of groter dan conventionele gaswinning. Voor schaliegas vinden in de levenscyclus nagenoeg dezelfde stappen plaats als voor conventioneel aardgas, met uitzondering van extra activiteiten, zoals het horizontaal boren en het fraccen. Net zoals bij conventioneel aardgas komt bij al deze stappen in de levenscyclus CO<sub>2</sub> vrij door het gebruik van energie. Een belangrijk verschil is de relatief geringe opbrengst van schaliegas per winput. Ook kan methaan vrij-

---

<sup>1</sup> In sommige steenkoolformaties zitten van nature al veel barsten en scheuren, zodat het in dit geval niet gefract hoeft te worden.

komen door het terugvloeien van water (de 'flowback') na het fraccen. Methaan is een sterker broeikasgas dan CO<sub>2</sub>. In Nederland moet het retourwater in afgesloten tanks worden opgeslagen en het methaan kan hiermee gecontroleerd worden afgevangen. Als het gas wordt afgefakkeld levert dit nog steeds CO<sub>2</sub> op, maar dit heeft minder impact op de klimaatvoetafdruk dan methaan. Overigens wordt tijdens productietesten voor conventionele gasvelden methaan ook afgefakkeld.

### **Aardbevingen en bodemdaling**

Conventionele gaswinning kan leiden tot geïnduceerde aardbevingen en bodemdaling. Het mechanisme dat de aardbevingen induceert is echter volkomen anders dan bij schalie- en steenkoolgas winning. Aardbevingen kunnen hier onder bepaalde omstandigheden worden geïnduceerd door het onder hoge druk injecteren van frac-vloeistof in of nabij een actieve breukzone. De maximum te verwachten kracht is naar verwachting lager dan bij conventionele gaswinning en zal niet hoger zijn dan Magnitude 3,0. Het fraccen zelf levert overigens ook trillingen op. Deze zijn in de regel lager dan Magnitude 1,0 en aan het oppervlak niet voelbaar. Voor de preventie en mitigatie van de effecten van geïnduceerde aardbevingen zie paragraaf 3.6. Hierbij zijn de locatiespecifieke omstandigheden maatgevend. Bij winning van schalie- en steenkoolgas treedt geen compactie op in het gesteente of in de steenkool. Daarom zal de winning ook niet leiden tot bodemdaling.

## **3.5. Mogelijke veiligheidsrisico's voor mens, natuur en milieu**

In deze paragraaf worden de veiligheidsrisico's benoemd die te maken kunnen hebben met schalie- en steenkoolgaswinning. Hierbij wordt weer de vergelijking gemaakt met conventionele gaswinning omdat de aard van de risico's vergelijkbaar zijn. De maatregelen voor de preventie en mitigatie van deze risico's worden beschreven in paragraaf 3.6.

### **Blowouts**

Het gas in conventionele reservoirs staat vaak onder hoge druk. Het aanboren van een gasvoorkomen dient daarom zorgvuldig te gebeuren om het ongecontroleerd instromen van gas in het boorgat te voorkomen. Dit kan namelijk resulteren in een 'gas kick' of 'blow out' wat ernstige gevolgen kan hebben. Ook bij het doorboren van de lagen boven het gasvoorkomen kan gas worden aangeboord wat onder hoge druk staat. In Nederland is dit, na het boren van ongeveer 3.000 op land geboorde putten, één keer voorgekomen<sup>1</sup>. Gas in steenkool- of schalie formaties staat ook onder hoge druk, maar vanwege de lage permeabiliteit en porositeit is het risico op een 'gas kick' of 'blow out' door instromend gas nagevoeg afwezig.

### **Veiligheidsrisico's voor de mens**

De veiligheidsrisico's voor de mens zijn bij het boren van een put voor schalie- en steenkoolgas niet veel anders dan boringen voor conventioneel gas. Deze risico's hebben voornamelijk te maken met operationele risico's, zoals bedrijfsongevallen of verkeersongelukken. Gezien het grotere aantal putten dat per boorlocatie zal worden gemaakt kan het cumulatieve interne en externe risico per boorlocatie echter wel groter zijn. Ook de grotere aan- en afvoer van materieel en hulpstoffen naar een boorlocatie brengt meer veiligheidsrisico's met zich mee. Bij conventionele gaswinning is echter de productietijd in de regel langer en worden er grotere hoeveelheden gas geproduceerd. Dit levert voor de conventionele winning weer grotere veiligheidsrisico's.

---

<sup>1</sup> Het enige incident was in december 1965 nabij Sleen ('t Haantje), maar dit kwam door het aanboren van een ondiep gasvoorkomen, waardoor de ondergrond verweekte en de boorstelling in de grond verdween.

## Veiligheidsrisico's voor natuur en milieu

### *Risico op vervuiling van grondwater door boorgat falen*

Een mogelijk risico voor natuur en milieu is vervuiling van het grondwater in watervoerende pakketten waar doorheen geboord is. Dit kan gebeuren als de boorgatintegriteit faalt, waardoor procesvloeistoffen (boorvloeistof, frac-vloeistof en retourwater) in contact komen met grondwater. Ook bestaat er de mogelijkheid dat methaan via een lekkende boorgatafdichting in het grondwater terecht komt. De ervaring met het boren van ruim 3.000 putten op land voor conventionele olie- en gaswinning in Nederland leert dat de veiligheidsrisico's hiervoor zeer klein zijn. Door het herhaaldelijk fraccen bij schaliegaswinning en het daarvoor mogelijk aantasten van de boorgatafdichting zou het risico op lekkage wel bevorderd kunnen worden. Het relatief grote aantal putten dat voor de schaliegaswinning geboord moet worden is ook belangrijk punt van aandacht, vooral voor de drinkwatervoorziening.

### *Risico op vervuiling van grondwater door migratie*

De achterblijvende frac-vloeistof kan via de fracs in de schalie- of steenkoolformatie in theorie migreren naar omliggende formaties. De frac-vloeistof heeft echter geen aanleiding om naar de oppervlakte te stromen, omdat de aandrijvende kracht (druk- of dichtheidsverschil) ontbreekt. Mede gezien de diepte<sup>1</sup> is de kans dat procesvloeistof of methaan vanuit de gemaakte fracs in de schalie- of steenkool laag migreert naar kwetsbare grondwaterlagen te verwaarlozen. Het methaan zou wel via een ander nabijgelegen bestaand boorgat naar het grondwater kunnen migreren, maar bij een goed afgewerkte put is ook dit risico zeer klein.

### *Risico van morsingen en lekkages*

Als morsingen of lekkages optreden is dit voornamelijk te wijten aan ondeugdelijke operationele zaken en menselijk falen. Dit kan ook optreden bij conventionele olie- en gaswinning. Het cumulatieve risico per boorlocatie kan groter zijn, gezien het grotere aantal putten. Bij schaliegaswinning treden bovendien mogelijke veiligheidsrisico's op door morsen en lekkage van frac-vloeistoffen of mijnbouwhulpstoffen. Deze frac-vloeistoffen worden bij conventionele boringen soms ook gebruikt.

## 3.6. Preventie of mitigatie van de effecten

In de voorgaande paragraaf werden de veiligheidsrisico's benoemd. De maatregelen ter voorkoming of ter mitigatie van deze risico's worden in deze paragraaf beschreven.

### **Boorgat integriteit**

Het bewaken en in stand houden van de boorgatintegriteit is tijdens de opsporing en winning een van de belangrijkste aangrijpingspunten om risico's voor mens, natuur en milieu te minimaliseren. Dit kan gedaan worden door een goede monitoring van het boorproces, het correct volgen van regelgeving inclusief industrierichtlijnen voor gebruik van best beschikbare technieken ('best-practice protocols'). Menselijke fouten kunnen worden beperkt door goede training en kwaliteitsbewaking enerzijds en adequate toezicht en handhaving anderzijds.

### **Proceswater**

Lekkage of morsingen van procesvloeistoffen kan leiden tot verontreiniging van grondwater, oppervlaktewater en bodem. Risico's bij de opslag van proceswater in Nederland worden tot een minimum beperkt, doordat dit water moet worden opgeslagen in tanks die op

---

<sup>1</sup> In Nederland liggen de typische schalieformaties gemiddeld op 3000 meter (Posidonia) of 4000 meter (Geverik) onder maaiveld.



vloeistofdichte vloeren staan opgesteld. Dit in tegenstelling tot de Verenigde Staten, waar het proceswater vaak in open bassins wordt opgeslagen. Een manier om het effect van eventueel vervuiling te voorkomen is het veranderen ('vergroenen') van de samenstelling van de frac-vloeistof of door mijnbouwhulpstoffen te gebruiken die minder schadelijk zijn voor mens, natuur en milieu.

### **Bufferzones**

Er dient ook voldoende rekening gehouden te worden met andere functies van de ondergrond zoals drinkwaterwinning, industriële waterwinning, geothermie, koude- en warmteopslag en bestaande olie- en gaswinning. Via de opsporingsvergunning en het winningsplan wordt hier rekening mee gehouden. Concreet vastgelegde bufferzones bestaan echter niet. Het nu lopende STRONG<sup>1</sup> programma zal hiervoor aanbevelingen doen.

De Nederlandse locaties van verlaten en actieve putten zijn goed bekend en er dient voldoende rekening gehouden te worden met deze putten om migratie van methaan en frac-vloeistof te verhinderen. Een adequaat verlaten (afgewerkte) put hoeft op zich geen risico te vormen.

### **Mitigeren van lokale effecten**

Hierbij moet in eerste instantie vanuit geologisch oogpunt bekeken worden of er in een seismisch actief gebied geboord gaat worden en of er (actieve) breuken nabij de fraclocatie aanwezig zijn. Ook is het aan te bevelen om een zogenaamde 'site-response analyse'<sup>2</sup> uit te voeren en een inventarisatie te maken van trillingsgevoelige gebouwen, infrastructuur en apparatuur. Door het monitoren van aardbevingen tijdens het fraccen kunnen in het geval van verhoogde seismiciteit de frac activiteiten (tijdelijk) worden stopgezet. Dit is het 'verkeerslicht-' of 'hand-aan-de-kraan'-principe.

## **3.7. Wet- en regelgeving**

De huidige wetgeving op het gebied van mijnbouw in Nederland maakt gebruik van doelstellende bepalingen, waarmee ingespeeld kan worden op onverwachte gebeurtenissen in Nederland en de rest van de wereld. In de context van dit onderzoek is artikel 67 van het mijnbouwbesluit van betekenis. Hierin staat dat 'schade moet worden voorkomen'. In tegenstelling tot andere landen kan de toezichthouder in Nederland hiertoe ook zelf maatregelen inzetten of voorschrijven. In de praktijk wordt vaak gebruik gemaakt van middelvoor-schriften, bijvoorbeeld het opstellen van een werkprogramma zoals gedefinieerd in hoofdstuk 8 van de Mijnbouwregeling. Volgens artikel 8.2.1 van de mijnbouwregeling worden bijzondere werkzaamheden (zoals fraccen) wel bij SodM<sup>3</sup> gemeld. SodM kan een werkprogramma eisen waarin het fraccen en het gebruik van chemicaliën specifiek wordt uitgewerkt.

## **3.8. Conclusies**

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen van het onderzoek aan de hand van de zes hoofdvragen behandeld. De basis voor deze bevindingen is de beantwoording van de 55 onderzoeksvragen. Deze paragraaf beperkt zich tot een opsomming van de belangrijkste conclusies. De volgende paragraaf (3.9) gaat in op de kennislacunes die zijn geïdentificeerd.

---

<sup>1</sup> Structuurvisie Ondergrond.

<sup>2</sup> Site-response analyse is het bepalen van de reactie van de ondiepe ondergrond op aardbevingen op basis van de lokale grondopbouw en de schuifgolfsnelheden van de ondiepe grondlagen.

<sup>3</sup> SodM: Staatstoezicht op de Mijnen.

### **Milieurisico's**

De risico's op grond- en drinkwatervervuiling door methaan en frac-vloeistof zijn in Nederland klein en beheersbaar, omdat de schaliegasformaties op grote diepte liggen, er hoge eisen worden gesteld worden aan kwaliteit van de boorput en er vanuit de wetgever toezicht en handhaving is.

Het risico op gasdoorslag naar watervoerende lagen via een lekkende boorgatafdichting is weliswaar niet schaliegas specifiek, maar zou door de werking van het (herhaaldelijk) fraccen en het daardoor aantasten van de boorgatafdichting bevorderd kunnen worden. Monitoring en aanvullende boorgatmetingen zijn nodig om dit risico te kunnen beheersen.

Voor de bepaling van de risico's op ondergrondse verspreiding van frac- en boorvloeistof kan een reservoir- en operatie specifieke analyse gedaan worden. De risico's op ondiep grondwater-, oppervlaktewater- en bodemvervuiling door morsingen en lekkages zijn in Nederland klein en beheersbaar, omdat er op de boorlocatie vloeistofdichte vloeren en opslag van proceswater in tanks vereist zijn.

### **Risico's van bovengrondse activiteiten**

Het geaccumuleerde operationele veiligheidsrisico per boorlocatie is groter dan bij conventionele gaswinning, omdat er per locatie meer putten worden geboord en er per put langer geboord moet worden. Hierdoor is er meer activiteit en is er meer aan- en afvoer van materieel, water en hulpstoffen nodig. Het ruimtebeslag en hinder zijn hierdoor ook groter dan bij conventionele gaswinning. De risico's van bovengrondse activiteiten kunnen berekend worden met beschikbare risicomodellen.

### **Waterbehoefte**

De waterbehoefte voor het boren ligt tussen de 900 en 2.400 m<sup>3</sup> per put. De waterbehoefte voor fraccen ligt tussen de 7.000 en 30.000 m<sup>3</sup> per put. Uiteindelijk komt ongeveer de helft van de frac-vloeistof weer terug naar het oppervlak. Een put kan vervolgens tot 95 m<sup>3</sup> per dag aan water produceren. Het water dat geproduceerd wordt per put is vele malen groter dan de totale waterbehoefte per put. Een deel van het geproduceerde water kan hergebruikt worden voor het fraccen van andere putten.

### **Bodemdaling, blowouts en aardbevingen**

Bij schalie- en steenkoolgaswinning is er geen kans op bodemdaling, omdat er geen compactie in de schalie- of steenkoollaag optreedt. Ook is er geen kans op een 'blowout' (ongecontroleerde gasontsnapping) zoals bij conventionele gaswinning. Het fraccen zelf levert niet voelbare trillingen op. Het injecteren van frac-vloeistof in of nabij actieve breuken in gebieden waar eerder aardbevingen zijn voorgekomen, kan aardbevingen induceren. Deze aardbevingen zullen in kracht niet hoger zijn dan Magnitude 3,0. Via het werkprogramma en meetplan dat in het mijnbouwbesluit is vastgelegd kan de mijnbouwonderneming worden verplicht om de kans op induceren van aardbevingen te bepalen en om mogelijke aardbevingen te monitoren.

## **3.9. Kennislacunes**

In de regelgeving wordt het fraccen niet als aparte werkzaamheid benoemd, maar beschouwd als onderdeel van hetzij de aanleg van een boorgat hetzij het onderhoud van het boorgat. Dit heeft als gevolg dat voor het fraccen in het kader van het onderhoud van een boorgat de uitvoerder niet verplicht is voor aanvang van het fraccen een werkprogramma in te dienen bij de toezichthouder (SodM). Hierdoor is, anders dan op vrijwillige basis, controle vooraf op de uitvoering van het fraccen en bij het fraccen te gebruiken hulpstoffen niet mogelijk. De gangbare praktijk is wel dat de toezichthouder een werkprogramma vereist

waarin het fraccen en de gebruikte mijnbouwhulpstoffen moet worden gemeld. Een voorstel voor aanpassing van wetgeving is hiervoor in de maak.

De risico's van bovengrondse activiteiten met milieugevaarlijke vloeistoffen kunnen berekend worden met beschikbare risicomodellen. Deze zijn nog niet in de wet- en regelgeving voor aardgasproductie-installaties opgenomen, maar worden daarvoor wel al gebruikt.

Er bestaan in Nederland nog geen industrierichtlijnen of 'best-practice' protocollen voor schalie- en steenkoolgaswinning en fraccen in het bijzonder. Hoewel uit de technische vergelijking van conventionele gaswinning en onconventionele gaswinning blijkt dat er weinig tot geen verschillen zijn aan te geven ligt het voor de hand de technische richtlijnen ('best practices') aan te vullen met fraccen.

Om de effecten op mens, natuur en omgeving op lokaal niveau te inventariseren is locatie-specifiek onderzoek nodig, bijvoorbeeld in de vorm van een milieu effect rapportage. Locatiespecifiek onderzoek is ook nodig voor het bepalen van hinder zoals geluid- en lichtoverlast en het bepalen van de kans op het induceren van aardbevingen.

Bufferzones met andere gebruikers van de boven- en ondergrond zijn niet in de wet- en regelgeving vastgelegd. In de mijnbouwwetgeving staat alleen dat er rekening moet worden gehouden met andere gebruikers. Het is vrij lastig om bufferzones generiek vast te leggen. Ook dit vergt in veel gevallen locatie-specifiek onderzoek. Het programma STRONG (structuurvisie ondergrond) geeft hier op dit moment richting aan.



## DEEL A: SAMENVATTING STATUSRAPPORT



## 4. PRAKTIJKERVARING VEILIGHEID (A.1)

In het eerste deel van het onderzoek is vanuit het oogpunt van veiligheid een overzicht opgesteld van de relevante Nederlandse en Europese wet- en regelgeving, van de methoden van boren en fraccen, en van de winning van conventioneel gas in Nederland. Voor de volledigheid is de oorspronkelijke onderzoeksvraag aan het begin van elke paragraaf herhaald in een tekstblok.

### 4.1. Europese en Nederlandse wet- en regelgeving (A.1.1)

Geef een overzicht van de relevante Nederlandse en Europese wet- en regelgeving.

Het overzicht van de Europese en Nederlandse wet- en regelgeving is onderverdeeld in de opsporing en de winning van koolwaterstoffen. Daarbinnen is onderscheid aangebracht tussen niet gevoelig gebied en gevoelig gebied. Dit volgens de definitie uit het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm).

Bij de opsporing van koolwaterstoffen zijn drie fasen te onderscheiden:

1. de aanleg van het terrein waar in een later stadium de mobiele installatie geplaatst wordt die het boorgat maakt;
2. de aanleg (inclusief testen en eventueel fraccen) en de afsluiting van het boorgat;
3. het buiten gebruik stellen van het terrein (nu mijnbouwwerk).

Bij de winning van koolwaterstoffen zijn vier fasen te onderscheiden:

1. de (her)inrichting van een mijnbouwwerk waar in een eerder stadium opsporingsactiviteiten hebben plaatsgevonden of de aanleg en inrichting van een terrein als mijnbouwwerk voor winning;
2. de aanleg (inclusief eventueel fraccen en testen) van de benodigde boorgaten voor de winning van koolwaterstoffen (productieputten);
3. het gebruik van het mijnbouwwerk voor de winning en het onderhoud en eventuele reparaties van de productieputten met behulp van een mobiele installatie;
4. het buiten gebruik stellen van het mijnbouwwerk (waaronder het afsluiten van de productieputten) en het opleveren van het terrein in de door de eigenaar van het terrein (of de betreffende gemeente) gewenste staat.

Relevante Europese wet- en regelgeving zijn onder meer de Richtlijn betreffende de voorwaarden voor het verlenen en het gebruik maken van vergunningen voor de prospectie, de exploratie en de productie van koolwaterstoffen, de Richtlijn betreffende het beheer van afval van winningsindustrieën en houdende wijziging van Richtlijn 2005/35/EG, de Richtlijn betreffende de bescherming van grondwater tegen verontreiniging veroorzaakt door de lozing van bepaalde gevaarlijke stoffen en de verordening inzake registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH).

Relevante Nederlandse wet- en regelgeving zijn onder meer de Flora- en faunawet, Natuurbeschermingswet 1998 (natuur), Arbowet, Wet milieubeheer, Activiteitenbesluit, Mijnbouwwet, Mijnbouwregeling (op en buiten mijnbouwwerk), Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, Wet bodembescherming, Wet geluidhinder, Wet luchtverontreiniging (milieu). Ook zijn enkele vergunningen vereist, zoals opsporingsvergunning op grond van de Mijnbouwwet, Wabovergunning (milieu), en Waterwetvergunning (in geval van lozen van stoffen).

De Minister van Economische Zaken (EZ) is het bevoegd gezag voor de Mijnbouwwet. EZ is ook gemandateerd voor de milieuwetgeving door het ministerie van I&M en voor de Arbowet door het ministerie van SZW als het mijnbouwactiviteiten betreft. De Minister kan in-

dien gewenst regelgeving en beleid ontwikkelen inzake toegestane methoden voor de winning van schalie- en steenkoolgas.

#### 4.2. Methode van boren (A.1.2)

Geef inzicht in de methode van het boren. Geef hierbij tevens aan wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen boringen naar conventionele aardgas bronnen, gas in schalies, gas in steenkool en bijvoorbeeld geothermie. Geef aan of er incidenten gerapporteerd zijn bij de gezette boringen in Nederland. Wat is er bij deze incidenten gebeurd en welke effecten hebben deze gehad op de veiligheid voor mens, natuur en milieu?

Het vertikaal boren van een put naar een olie- of gasreservoir gebeurt met een draaiende beitel die door het gewicht van de boorinstallatie daarboven met de tanden in de gesteenten wordt gedrukt. Er is een circulatiesysteem voor de boorspoeling, waarmee de boorspoeling tijdens het boren naar boven wordt gepompt om het boorgruis af te voeren. Wanneer de oppervlaktelocatie zich schuin boven het olie- of gasreservoir bevindt, wordt gedevieerd (met een hellingshoek) geboord. Dan wordt de boorbeitel aangedreven met behulp van een turbinemotor. De met een turbinemotor aangedreven beitel kan gestuurd worden doordat het voorste gedeelte van de boorbuis in een bepaalde hoek gezet kan worden. Als het gat in een horizontale rechte lijn geboord moet worden, dan kan de beitel weer in het verlengde van de boorbuis worden teruggezet. Op deze wijze worden horizontale putten geboord.

Om het boorgat tijdens het boren te beschermen tegen beschadiging en vervorming, is het noodzakelijk om verbuizingen ('casing') aan te brengen. Deze worden aan de boorgatwand vastgezet met cement dat in de ringruimte tussen verbuizing en boorgatwand wordt geperst. Door de verbuizing aan te brengen wordt de reeds doorboorde bodemlaag beschermd tegen binnendringen van boorspoeling en wordt instroming voorkomen van vloeistof of gas uit poreuze gesteenten naar het boorgat.

De boormethode voor het winnen van conventioneel gas is van toepassing voor alle vormen van winning van gas en dus ook voor schalie- en steenkoolgas. De te hanteren veiligheidsmaatregelen, de gebruikte apparatuur, het aanbrengen van 'casings', gedevieerd en horizontaal boren komen allemaal voor bij het boren naar andere ondergrondse energiebronnen. Er zijn geen verschillen in de methode van boren.

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft in het kader van 'activiteiten in boorgaten' in de afgelopen vijf jaar zes incidenten geregistreerd bij boringen op land in Nederland. Bij twee incidenten is een proces-verbaal opgemaakt (beide incidenten vóór 24 juni 2009). De incidenten zijn wisselend van aard. Bij drie van de zes incidenten zijn milieueffecten opgetreden. Bij geen van de incidenten is sprake van effecten op de veiligheid.

#### 4.3. Methode van fraccen (A.1.3)

Geef inzicht in de methode van het fraccen (hoeveel fracs per put, welke druk wordt toegepast etc.). Geef hierbij tevens aan wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen fracs in conventionele aardgas bronnen, in schalies, in steenkool en bijvoorbeeld geothermie. Geef aan of er incidenten gerapporteerd zijn bij de uitgevoerde fracs in Nederland. Wat is er bij deze incidenten gebeurd en welke effecten hebben deze gehad op de veiligheid voor mens, natuur en milieu?

Hydraulisch fraccen van gesteentelagen is een methode om de productie van fossiele brandstof uit laagpermeabele gesteentes mogelijk te maken dan wel te vergroten. Bij fraccen wordt een mengsel van water, zand en hulpstoffen onder hoge druk geïnjecteerd in



een boorgat, met als doel om scheuren in het gesteente te veroorzaken waaruit het gas kan worden gewonnen. Deze methode wordt al meer dan 60 jaar toegepast en is doorontwikkeld in de jaren negentig van de vorige eeuw, mede door de opkomst van de schaliegaswinning in de Verenigde Staten. In de Verenigde Staten zijn in totaal al meer dan 150.000 horizontale gefracte putten. In 2013 komen hier nog 19.000 putten bij. Wereldwijd is ongeveer 2,5 miljoen keer gefract. De meest gebruikte methode is de zogenaamde 'Plug and Perf-methode'. Een meer recente methode is de 'Continuous Pumping-methode'.

Bij de 'Plug and Perf-methode' wordt het horizontale boorgat verbuisd en worden intervallen van de verbuizing geperforeerd, waarna de fracking-operatie wordt uitgevoerd. Beginnende bij het uiteinde van de pijp wordt telkens na iedere frac job onder hoge druk een ballon opgeblazen in de pijp, waarmee een barrière ontstaat (bridge-plug) zodat het volgende interval geperforeerd en gefract kan worden. Zo kan een vrij groot aantal (6-20) intervallen behandeld worden, waarna tenslotte één voor één de bridge-plugs verwijderd worden. Deze methode vergt ongeveer twee weken per put.

De 'Continuous Pumping-methode' is wat gecompliceerder. Het horizontale gat wordt onverbuisd gelaten. Vervolgens wordt een pijp ingebracht die op afstanden, bepaald door het gewenste aantal fracs, omhuld wordt door opblaasbare packers. In de pijp bevinden zich schuiven verbonden aan de trechtervormige binnenbuizen. Door een bal in de buis te pompen schuiven trechter en schuif wat naar voren zodat nu gaten in de pijp geopend worden. Het betreffende interval kan nu worden gefract. Vanaf het uiteinde van de pijp hebben de trechters een steeds toenemende binnendiameter. Er wordt dus een serie ballen ingebracht met toenemende diameter. Zo kan interval na interval worden gefract tot wel meer dan 20 fracs. Na het fraccen worden de ballen verwijderd door de put in productie te brengen. De stroom van vloeistof en gas die dan op gang komt, neemt de ballen mee. Deze methode is aantrekkelijk omdat de tijdsduur voor de totale uitvoering veel korter is dan bij de 'Plug and Perf-methode'. Het is mogelijk om in een aantal dagen meer dan 20 intervallen te fraccen.

De drukken die nodig zijn om de formatie te fraccen worden voornamelijk bepaald door de diepte en treksterkte van het gesteente. De treksterkte van het gesteente kan in het laboratorium worden bepaald of met in-situ boorgat testen. Bij het fraccen van schalies voor gaswinning wordt de druk tot 1.000 bar opgevoerd. Vanwege het gebruik van hoge drukken tijdens het fraccen is het zaak om bijzondere zorg te besteden aan het cementeren van de 'casing' van de put. Er is een aantal controlemethoden beschikbaar om de kwaliteit van 'casing' en cement te meten.

Voor frac jobs is altijd veel water nodig, hoewel er grote verschillen bestaan tussen fracking van brosse gesteenten waarin al breuken zitten en zachte formaties. Watervolumes per put variëren sterk en hangen af van de diepte, de heersende drukken, de lengte van de horizontale boring en de hoeveelheid fracs. De tendens is om de vloeistof zoveel mogelijk opnieuw te gebruiken. Een overzicht van de waterbehoefte per put is gegeven in tabel 4.1.

**Tabel 4.1. Waterbehoefte per schaliegas put over de gehele levensduur**

activiteit	hoeveelheden
boren (boorvloeistof)	900-2.400 m <sup>3</sup> (1.650 m <sup>3</sup> gemiddeld)
fraccen (frac-vloeistof)	7.000-30.000 m <sup>3</sup> (18.500 m <sup>3</sup> gemiddeld)

Omdat bij het laten zakken van de vloeistofdruk de scheur zich weer zou sluiten, worden korrelige materialen meegepompt die gedeeltelijk in de scheur achterblijven. Deze zogenaamde 'proppants' houden de scheur open. Hiervoor zijn verschillende materialen in gebruik zoals zand, keramische korrels, zand met kunstharsfilm ('resin coating') en stukjes walnootdop. Per frac job wordt 50 tot 200 ton 'proppant' gebruikt. Uitgaande van ongeveer 20 frac jobs per put is 1.000 tot 4.000 ton nodig per put. Om de 'proppants' op hun plek te houden moet de frac-vloeistof stroperig gemaakt worden. Dit gebeurt met afbreekbare po-

lymeren. Verder is er een reeks hulpstoffen mogelijk. Op deze hulpstoffen en hun samenstelling wordt nader ingegaan in deel B. In deel B wordt ook verder ingegaan op het totale waterverbruik, de verwachte afvalwaterproductie en de hoeveelheden in relatie tot andere gebruikers.

Het monitoren van de propagatie en dimensie van de gemaakte scheuren is mogelijk met een serie gefoons in een nabijgelegen put. Hiermee kunnen ook mogelijk geïnduceerde aardbevingen gemonitord worden. Het fraccen zelf kan aan de oppervlakte niet gevoeld worden. Het is zelfs moeilijk met gefoons aan het oppervlak het fraccen te monitoren, vandaar dat meestal in een nabijgelegen boorgat gemeten wordt. Mogelijk geïnduceerde aardbevingen kunnen in bepaalde gevallen wel gevoeld worden (zie B.4.7).

Er is geen wezenlijk verschil tussen frac jobs in verticale gaten en horizontale gaten. De aantallen frac jobs per put zullen bij fraccen van verticale boorgaten veel kleiner zijn dan bij fraccen van horizontale boorgaten. De gebruikte vloeistoffen worden aangepast aan de eigenschappen van de formatie. Bij het fraccen van zowel conventionele reservoirs, steenkollagen als schalies zijn altijd de gesteentemechanische eigenschappen en de heersende spanningen bepalend voor de te gebruiken drukken en frac-vloeistoffen.

In de afgelopen vijf jaar zijn er in Nederland onshore door Northern Petroleum en de Nederlandse Aardolie Maatschappij in totaal 16 frac jobs gedaan. De frac jobs werden uitgevoerd in winningsputten voor conventioneel aardgas, niet in putten voor de opsporing en winning van schaliegas en steenkoolgas. Er zijn bij de uitgevoerde fracs geen incidenten opgetreden die gevolgen hebben gehad voor de veiligheid van mens, natuur en milieu.

#### 4.4. Veiligheid bij de winning van conventioneel gas in Nederland (A.1.4)

Geef een overzicht met betrekking tot de veiligheid bij de winning van conventioneel gas in Nederland (on- en offshore). Bespreek de bijzondere gevallen.

De meeste geregistreerde ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn vrijgekomen, zijn gasontsnappingen, gedeeltelijk veroorzaakt door corrosie in verouderde installaties. De statistieken laten zien dat in Nederland jaarlijks gemiddeld iets meer dan 30 gaslekkages gemeld worden. Na het optreden van een gasontsnapping treden veiligheidsmaatregelen in werking. Bij de geregistreerde ongevallen zijn in de afgelopen vijf jaar geen mensen gewond geraakt of omgekomen (zie ook vragen A.1.2 en A.1.3). In aanvulling van wat er in de achtergrondnotities staat, moet nog vermeld worden dat bij een ongeluk in Warffum van zeven jaar geleden twee doden zijn gevallen. Ook zijn er zeer recent bij onderhoudswerkzaamheden offshore, op 14 juni 2013 twee doden gevallen.

Op internationale schaal zijn de laatste jaren incidenten geëscaleerd, met dodelijke slachtoffers tot gevolg. In het strategie- en programmadocument van SodM is een aantal kenmerkende ongevallen in het buitenland met dodelijke gevolgen beschreven. Ondanks dat het veiligheidsniveau in Nederland mogelijk hoger is dan in de landen waar zich deze ongevallen zich hebben voorgedaan, worden de lessen uit deze gebeurtenissen in het Nederlandse veiligheidsbeleid en in het toezichtbeleid van SodM opgenomen. Voorbeelden daarvan zijn programma's voor het terugdringen van gasontsnappingen, controle van booractiviteiten door een onafhankelijk deskundige.

De veiligheid van de Nederlandse aardgaswinning hangt voor een groot deel af van het vermogen van de industrie en de toezichthouder om te leren van incidenten die zich elders hebben voorgedaan. Ongevalonderzoek en het anticiperen op gevaarlijke situaties kan in-

voering van effectieve veiligheidsmaatregelen mogelijk maken. Er zijn methoden beschikbaar om deze maatregelen werkend te houden en de integriteit van installaties te waarborgen. De aandacht van de overheid is erop gericht dat mijnbouwondernemingen deze methoden toepassen, ook al vergt dat meer inspanningen naarmate installaties ouder worden.



## 5. OPSPORING EN WINNING VAN ONCONVENTIONEEL GAS (A.2)

Dit hoofdstuk gaat in op de karakteristieken van de opsporing en winning van onconventioneel gas, de verschillen met conventioneel gas, en de klimaatvoetafdruk van schaliegas en andere energiebronnen. Als aanvullende techniek wordt ingegaan op Enhanced Coal Bed Methane.

### 5.1. Karakteristieken van opsporing en winning van onconventioneel gas (A.2.1)

Van belang is dat vooraf fysiek en logistiek realistische scenario's door de tijd gedefinieerd zijn voor de uitvoering van opsporing en winning van schaliegas en van steenkoolgas in voor Nederland representatieve situaties. Daartoe dienen karakteristieken benoemd te zijn voor: aantal van en afstand tussen locaties, footprint (ook ecologisch), duur en aard van deelactiviteiten, fysieke omvang van terreinen en installaties, beschrijving van faciliteiten en infrastructuur voor gas, water management, logistiek fraccen, etc. Per geval moet duidelijk gespecificeerd en aangegeven worden, wat de relatie met veiligheid voor mens, natuur en/of milieu is. Hierbij moet ook duidelijk zijn, wat de verschillen en overeenkomsten zijn van een ontwikkeling van schaliegas of steenkoolgas met de conventionele gaswinning in een voor Nederland karakteristieke situatie. Deze moeten afgezet worden tegen andere industriële (inclusief landbouw) activiteiten en andere vormen van aardgaswinning.

Indien mogelijk en beschikbaar zullen voor Nederland representatieve ontwikkelingsscenario's aangeleverd worden, waarna de resterende vragen beantwoord dienen te worden. Indien de ontwikkelingsscenario's niet voorhanden zijn, dan maakt het ontwikkelen van deze scenario's onderdeel uit van het onderzoek.

Geef de voor- en nadelen van Multi well pads (ruimtebeslag, transport, veiligheid, duur activiteiten) in vergelijking met single wells.

In publicaties en rapporten worden uiteenlopende strategieën voor de opsporing en winning van onconventioneel gas genoemd. Karakteristieken van opsporing en winning van onconventioneel gas, die voor Nederland relevant zijn, zijn: aantal boor- en winlocaties, aantal putten, ruimtebeslag van installatie, faciliteiten en infrastructuur, watermanagement, logistiek van hydraulisch fraccen, en de aard en duur van activiteiten van gasopsporing en -winning. De in deze paragraaf beschreven karakteristieken zijn gebaseerd op een case study die voor EBN is uitgevoerd.

#### **Aantallen en ruimtebeslag van een installatie**

Het aantal boor- en winlocaties is in eerste instantie afhankelijk van de gasvoorkomens. Het aantal locaties wordt mogelijk beperkt door de bovengrondse aspecten, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van bebouwing, infrastructuur, natuurgebied of andere gebruikers. De ruimtelijke relatie en het ruimtebeslag van boor- en productielocaties zijn afhankelijk van lokale engineering en 'compliance'-beperkingen. Het aantal bronnen dat kan worden geboord vanuit een locatie is afhankelijk van lokale bovengrondse en ondergrondse karakteristieken. In zijn algemeenheid kan het aantal bronnen dat wordt geboord vanuit 1 bovengrondse locatie door gebruik te maken van onconventionele horizontaal boortechnieken variëren van 1 tot meer dan 30 ('multi well pad'). De toegepaste techniek om meerdere bronnen vanuit één bovengrondse locatie aan te boren levert een reeks voordelen ten opzichte van gas winning door toepassing van 'single well pad' boren. Te denken valt aan: efficiënter boren door maar een keer op- en afbouwen van de boortoren, minimalisatie van het ruimtebeslag, lagere bouwkosten, minder verstoring en fragmentatie van de oppervlakte, minder wegen, etc.

De schaliegaswinningsite en -installaties bestaan uit aanvoerwegen, boorgebieden, wateropslaggebieden, en verschillende technische onderdelen. Een typische boorlocatie, zoals

toepasbaar voor Nederlandse omstandigheden, heeft een ruimtebeslag van tussen de 2 en 3 ha (dat zijn vier tot zes voetbalvelden) tijdens putboor- en ontwikkelingsactiviteiten. De duur van deze fase varieert, maar is ongeveer een jaar. Dit ruimtebeslag blijft gelijk, maar het gebruikte oppervlak wordt uiteindelijk teruggebracht naar 0,2 tot 0,3 ha voor de levensduur van de put. De levensduur van een puttencluster is 10 tot 30 jaar.

### Beschrijving van faciliteiten en infrastructuur

Faciliteiten en infrastructuur voor de productie en verkoop van aardgas en geassocieerde vloeistoffen omvatten zowel de bovengrondse als de ondergrondse faciliteiten. Bovengrondse installaties op productielocaties (na het afronden van het boorproces) zijn vaak beperkt tot de put-kop ('well head'), vloeistofscheidingsapparatuur, opslagtanks, compressors aangedreven door verbrandingsmotoren, electromotoren en bovengrondse pijpleidingen. Vloeistoffen uit opslagtanks worden over het algemeen verwijderd met behulp van tankwagens voor transport naar raffinage- of verwerkingsfaciliteiten. Compressoren worden gebruikt om het aardgas op druk te brengen voor de pijpleiding. Het verzamel- en transportsysteem voor aardgas is nodig voor de economische distributie van aardgas.

### Watermanagement

Om economische en milieu redenen verdient het ontwikkelen van een robuust waterwinning-, management-, recycling- en hergebruik-plan aandacht bij elk gaswinningsproject. Het watergebruik voor het boren van een typische schaliegasput kan worden onderverdeeld in water dat nodig is voor het boren (boorvloeistof) en water dat nodig is voor het fraccen (frac-vloeistof). De hoeveelheden zijn gegeven in tabel 4.1 De hoeveelheid geproduceerd water uit de put kan oplopen tot 95 m<sup>3</sup> per dag en over de gehele levensduur van de put kan dit tot ver boven de 100.000 m<sup>3</sup> per put stijgen. In Nederland is voldoende water beschikbaar om onconventionele gasproductie door hydraulisch fraccen te bewerkstelligen. Een deel van de frac-vloeistof stroomt terug als 'flowback' water. Waar mogelijk kan dit water en ook het productiewater hergebruikt worden.

### Logistiek van hydraulisch fraccen

Hydraulisch fraccen volgt een standaard activiteitenpatroon dat meermaals kan worden herhaald gedurende de fracking van de put. Een geschikte waterbron (kwantiteit en kwaliteit van water) moet voorhanden zijn. Het water voor de frac-vloeistof kan worden aangevoerd met pijpleidingen of vrachtwagens en wordt vervolgens opgeslagen in opslagtanks dicht bij de locatie. De grootte en hoeveelheid aan frackingapparatuur, inclusief de hogedruk-/capaciteitpompen, zijn afhankelijk van het gewenste resultaat en de formatiekenmerken.

Hydraulisch fraccen bestaat uit één of meer fasen, afhankelijk van de lengte van de horizontale boorschacht en het gewenste resultaat van de hydraulisch fraccen. Na afronding van het fraccen wordt de put afgesloten, de fracking apparatuur verwijderd en flowback apparatuur geplaatst.

### Aard en duur van activiteiten

De aard, volgorde en duur van activiteiten van schaliegasopsporing en -winning, zoals van toepassing voor Nederlandse omstandigheden, zijn weergegeven in tabel 5.1.

**Tabel 5.1. Aard en duur van deelactiviteiten bij schaliegaswinning**

activiteit	potentiële duur
exploratie *)	enkele jaren
planning en vergunningen	2-3 jaar
boorlocatie voorbereiding	6-18 maanden

(proef)boren, dataloggen, casing/cementeren	2-6 maanden (per put)
bron voltooiing en installatie van productiefaciliteiten	1-3 maanden (per put)
hydraulisch fraccen en terugstroom van vloeistoffen	4-6 weken (per put)
productie uitvoering	10-30 jaar
afsluiting en restauratie	6-9 maanden

\*) Exploratie omvat bureau studie en geofysische onderzoek, maar nog geen boring.

## 5.2. Verschillen in opsporing en winning (A.2.2)

Geef aan de hand van die scenario's aan, waar deze scenario's wezenlijk verschillen in termen van activiteiten, werkwijzen en schaal van opereren van de situatie bij de opsporing en winning van conventioneel gas.

Wat betreft de opsporing zijn weinig relevante verschillen te noemen tussen conventioneel en onconventioneel gas. De verschillen die er zijn hebben geen invloed op de risico's bij winning. Hieronder worden de verschillen besproken.

De eerste is de aanwezigheid van een afdekkende laag ('deksel'). Deze moet fysisch gezien aanwezig zijn voor conventionele gaswinning (immers het gas hoopt zich hieronder op). Echter voor een schalie- en steenkoolgaswinning is deze laag niet noodzakelijk. Voor conventionele gasformaties zijn er in de meeste gevallen al veel exploratieboringen gemaakt en zijn de typische gasformaties goed bekend. Van de typische schaliegas formaties in Nederland is wel voldoende kennis, maar zijn nooit specifiek op deze schalie formaties gerichte exploratieboringen gemaakt.

Bij de winning van schalie- en steenkoolgas versus conventionele winningen zijn twee grote verschillen te noemen. Bij schalie- en steenkoolgaswinningen worden veel vaker dan bij conventionele gaswinningen horizontale boringen uitgevoerd en vindt er altijd putstimulatie plaats door fraccen, in tegenstelling tot conventionele gaswinningen waar dit minder vaak wordt toegepast. Ook zijn de opbrengsten per put van al uitgevoerde schalie- en steenkoolgaswinningen tot nu toe altijd lager dan conventionele winningen.

## 5.3. Enhanced Coal Bed Methane (A.2.3)

Geef inzicht in de techniek en de stand van zaken van Enhanced Coalbed Methane en in de mate van toepassing van deze techniek in de wereld. Geef, indien mogelijk, een indicatie van de milieu- en veiligheidsaspecten aangaande deze techniek.

Enhanced Coal Bed Methane (ECBM) is een techniek om met behulp van CO<sub>2</sub> injectie methaan uit steenkoollagen te halen. Bij het gebruik van Coal Bed Methane (CBM) technieken wordt onderdruk toegepast om het geadsorbeerde methaan vrij te maken. Beide technieken zijn technieken om steenkoolgas te winnen.

Enhanced Coal Bed Methane en Coal Bed Methane technieken worden in de Verenigde Staten veelvuldig toegepast en de winningstechnieken kunnen als volwassen worden beschouwd. Wereldwijd zijn aanzienlijke voorraden steenkoolgas aanwezig en het is de verwachting dat (E)CBM zal groeien in bijvoorbeeld Rusland en China. In vergelijking met andere vormen van onconventionele gaswinning zijn de milieu- en veiligheidsaspecten vergelijkbaar en wijken niet significant af.

(E)CBM heeft in de regel een kleinere schaalgrootte in vergelijking met schaliegas. De productiefaciliteit is kleiner, de gasproductie ligt lager, de boringen zijn minder diep en de be-

nodige waterhoeveelheden zijn ook kleiner. Het productiewater van (E)CBM is meestal ook minder verontreinigd en kan eenvoudiger worden hergebruikt.

Om te bepalen of de exploitatie van (E)CBM in Nederland vanuit technisch oogpunt een haalbare zaak is, moet worden gekeken naar de aanwezigheid van geschikte steenkoollagen. Op basis van de geraadpleegde bronnen blijkt dat er weinig tot geen geschikte steenkoollagen tot een diepte van 1.500 m aanwezig zijn. De hoeveelheid geadsorbeerd methaan is een functie van temperatuur en druk en bereikt een optimum op een diepte van 1.500 m. Dieper dan 1.500 m neemt de adsorptie capaciteit zeer sterk af. De steenkoollagen die er zijn (Zuid-Limburg en de Peelhorst) hebben een zeer geringe dikte (gemiddeld 50 cm met uitschieters tot 2 m). Geconcludeerd kan worden dat met de beschikbare kennis over aanwezige steenkoollagen, exploitatie van (E)CBM in Nederland vanuit de huidige technische kennis en vanuit economisch oogpunt niet haalbaar is.

#### 5.4. Klimaatvoetafdruk van schaliegas (A.2.4)

Ga na wat van de totale klimaatvoetafdruk is van de opsporing, winning en verwerking van schalie- of steenkoolgas, en vergelijk deze met de klimaatvoetafdruk van andere energiebronnen. Geef hierbij aan welke stoffen (waaronder CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, fijnstof) vrijkomen bij deze mijnbouwactiviteiten en hoe deze stromen kunnen worden geminimaliseerd. Gebruik hiervoor verschillende scenario's, waarbij ook de kans op incidenten (lekkages) wordt meegenomen. Geef tevens aan hoe deze klimaatvoetafdruk zich in de verschillende scenario's verhoudt tot nationale en Europese wet- en regelgeving en convenanten.

Voor schaliegas vinden in de levenscyclus bij benadering dezelfde stappen plaats als voor conventioneel aardgas, met uitzondering van enkele extra activiteiten, zoals het horizontaal boren en hydraulisch fraccen. De klimaatvoetafdruk van schaliegas is qua opbouw en samenstelling vergelijkbaar met die van conventioneel aardgas. Net zoals bij conventioneel aardgas komt bij al deze stappen CO<sub>2</sub> vrij door het gebruik van energie. De belangrijkste verschillen zijn:

- de relatief geringe opbrengst van schaliegas per winput;
- meer energieverbruik door het fraccen per gewonnen eenheid gas;
- het vrijkomen van methaan tijdens het voorbereiden van de winput door het terugvloeien van water (de 'flowback') na het hydraulisch fraccen. Deze flowback kan de klimaatvoetafdruk van schaliegas vergroten ten opzichte van conventioneel aardgas, tenzij deze wordt afgefakkeld<sup>1</sup> of afgevangen.

De totale klimaatvoetafdruk van schaliegas is afhankelijk van de bepalingsmethode en onzeker door de beperktheid van het aantal gegevens. Wanneer gebruik wordt gemaakt van de conventionele vergelijkingsbasis lopen de schattingen uiteen van 7,5 tot 32,5 g CO<sub>2</sub>e per MJ op basis van een 'well to gate'-benadering. De meest voorkomende inschatting is overigens tussen 12,5 en 15,0 g CO<sub>2</sub>e per MJ verbrandingswarmte en dit is vergelijkbaar met de klimaatvoetafdruk van conventioneel gas. Vanuit een analyse op basis van verschillen kunnen we concluderen dat de klimaatvoetafdruk van schaliegas in principe (i.e. zo goed als zeker) groter is dan die van conventioneel aardgas. Hoeveel groter wordt voornamelijk bepaald door de emissies van methaan tijdens de voorbereiding van de winning.

In de Verenigde Staten wordt het 'flowback water' vaak in open bassins opgevangen. Hierdoor kan het methaan aan de lucht vrijkomen. De Nederlandse regelgeving (Barmm) staat

---

<sup>1</sup> Het affakkelen levert uiteraard weer CO<sub>2</sub> op, maar dit is minder schadelijk dan de uitstoot van methaan.



dit niet toe en vereist opslag ervan in tanks. Het methaan dat mogelijk met het 'flowback water' is meegekomen kan vervolgens gecontroleerd worden opgevangen of afgefakkeld.

In deze analyse zit de verbranding van het gas zelf zit hier nog niet in, omdat dit niet relevant is voor de vergelijking met conventioneel aardgas. Met de verbranding van het gas wordt de uiteindelijke aanwending van het gewonnen gas bedoeld, niet het affakkelen van het gas uit het 'flowback water'.

De emissies van methaan bij de winning (vrijkomend bij de flowback) zijn relevant voor het uiteindelijke klimaateffect per MJ verbrandingswarmte. Deze component van de voetafdruk zal verminderd worden door het vrijkomend methaan af te vangen en af te fakkelen of nuttig toe te passen<sup>1</sup>. Dit verlaagt de klimaatvoetafdruk in eerste instantie (bij affakkelen) doordat het vrijkomende broeikasgas (CH<sub>4</sub>) wordt omgezet in een minder sterk broeikasgas (CO<sub>2</sub>) en in tweede instantie doordat er bij nuttig gebruik géén extra broeikasgassen vrijkomen.

---

<sup>1</sup> In de Nederlandse praktijk zal dat het geval zijn, aangezien het Barmm gevolgd moet worden waarin dit staat voorgeschreven.



## 6. RISICOBEBEERSING EN BORGING VAN VEILIGHEID (A.3)

In dit hoofdstuk staan risicobeheersing en veiligheid centraal. Aan de orde komen de risico's van schaliegas en andere energiebronnen, de integriteit van een boorgat en de 'closed loop' systematiek. Tenslotte wordt ingegaan op de vraag of niet-conventionele gaswinning kan worden beschouwd als een experimentele of bewezen technologie.

### 6.1. Risico's van schaliegas (A.3.1)

Welke risico's zijn verbonden aan de opsporing en winning van schalie- of steenkoolgas (lekkages (zowel boven- als ondergronds), blow-out)? Geef aan in hoeverre de veiligheidsrisico's bij deze activiteiten anders zijn dan bij conventioneel gas en geothermie en hoe deze zich verhoudt tot de vigerende wet- en regelgeving.

Welke bedrijfsscenario's en risicoanalyses worden gehanteerd? Welke 'worst case' wordt daarbij gehanteerd, en wie beoordeelt die? Wat is het effect van een dergelijk incident?

Bereken de kans op het optreden van deze risico's. Geef aan hoe ieder individueel risico tot een aanvaardbaar niveau kan worden teruggebracht.

De opsporing en winning van schaliegas brengt vergelijkbare risico's met zich mee als de exploratie en productie van conventioneel gas. Dit geldt zeker voor de acute gezondheidsrisico's voor de mens. 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 de verwachte wettelijke risiconormen zullen voldoende zijn om de risico's voor mensen in de omgeving van schaliegasinstallaties in te schatten en effecten te kunnen beheersen.

Een veiligheidsrisico is de gasdoorslag naar watervoerende lagen via een lekkende boorgatafdichting. Dit risico is weliswaar niet schaliegas specifiek, maar zou door de werking van het (herhaaldelijk) hydraulisch fraccen en het daardoor aantasten van de cementen boorgatafdichting bevorderd kunnen worden. Aanvullende boorgatmetingen zullen nodig zijn om dit risico te kunnen mitigeren.

In het publieke debat overheersen de mogelijke milieueffecten het risicobeeld van de schaliegaswinning. Er is frac-vloeistof nodig die op locatie gemengd wordt. De daarmee verbonden opslag en logistiek brengen aanvullende risico's met zich mee. De risico's van bovengrondse activiteiten met milieugevaarlijke vloeistoffen kunnen berekend worden met beschikbare risicomodellen. Deze zijn nog niet in de wet- en regelgeving voor aardgasproductie-installaties opgenomen, maar worden daarvoor wel al gebruikt. Voor de bepaling van de risico's voor ondergrondse verspreiding van fraccing vloeistoffen moet een reservoir- en operatie specifieke analyse gedaan worden.

### 6.2. Closed loop systematiek (A.3.2)

Er is behoefte aan een transparante 'closed loop' systematiek, waarbij de reële veiligheidsrisico's in kaart worden gebracht en daarop een gericht monitoringsprogramma wordt vastgesteld. Welke informatie is noodzakelijk binnen een 'closed loop' procedure. Hoe en op welke momenten kan die informatie worden verkregen in de diverse fasen van de ontwikkeling van een typisch schaliegas- of steenkoolgasproject:

- vooronderzoek regionale studies/geologisch en geofysisch onderzoek;
- boorfase boren en boorgatmetingen/monsters in lab;
- testfase fraccen en productie tests;
- productiefase productiegegevens/surface monitoring;
- nazorgfase.

Er is behoefte aan inzicht in de veiligheidsrisico's van de gehele keten van opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas. Dit keteninzicht wordt ook wel 'closed loop' systematiek genoemd. De keten bestaat uit: vooronderzoek, boorfase, testfase, productiefase en nazorgfase.

In de gehele keten is de wet- en regelgeving er op gericht om de gevaren en risico's in kaart te brengen voordat een geplande activiteit start. Mijnbouwondernemingen die in Nederland actief zijn, zijn verplicht om veiligheidsrisico's met een gestructureerde aanpak te beheersen. De Nederlandse wet- en regelgeving zorgt ervoor dat toezichthouders gedurende de gehele keten van een project op de hoogte kunnen zijn van de voortgang van de risicobeheersing en van de werking van de veiligheidsmaatregelen en -voorzieningen.

De bestaande structuren voor risicobeheersing en rapportage zijn ook geschikt voor de informatie-uitwisseling tussen toezichthouder, onderneming en andere stakeholders rondom (schalie)gasrisico's. Door de bijzondere risico's van migratie van gas en frac-vloeistof zal de nadruk van het toezicht liggen op het aanbrengen van de boorgatafdichting en de kwaliteit van het cementeren. Vanwege het gebruik van chemicaliën is er ook bij het publiek behoefte aan informatie over stofeigenschappen, opslaghoeveelheden en verpakkingen. Hierbij kan worden teruggevallen op de in de industrie gebruikelijke regels van de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen. Op het gebruik van deze chemicaliën is de REACH verordening van toepassing (zie ook B.5.5).

### 6.3. Onconventioneel gas: experimenteel of bewezen technologie? (A.3.3)

In hoeverre zijn door de industrie aangeprezen oplossingen voor de ontwikkeling van onconventioneel gas experimenteel of bewezen technologie? Geef aan welke relevante innovaties de afgelopen jaren gemaakt zijn op het gebied van boren en fraccen, en welke voor- en nadelen deze in zich dragen. Kunnen bepaalde methoden worden afgedwongen dan wel worden afgekeurd en welk bevoegd gezag kan dat doen?

In de Nederlandse wetgeving (Mijnbouwwet en de onderliggende besluiten) wordt niet verwezen naar 'bewezen technieken of technologieën', en er wordt ook geen definitie gegeven van deze terminologie. In beschikbare winningplannen wordt vaak wel gesteld dat iets wel of geen 'bewezen techniek' is, maar er wordt ook hier geen definitie van gegeven.

Volgens de in dit onderzoek gebruikte definitie is een techniek bewezen wanneer deze succesvol wordt uitgevoerd met acceptabele prestaties en betrouwbaarheid, binnen de vooraf gedefinieerde criteria. Deze definitie is afkomstig van de API (American petroleum Institute), en is afgeleid van het Technology Readiness Level (TRL) 7 (proven technology). De API is de standaarden zettende organisatie voor de Amerikaanse olie-industrie.

De beschikbare bronnen verschillen van mening of de gebruikte technieken voor het winnen van schalie- en steenkoolgas bewezen technologie zijn, of dat zeer binnenkort gaan worden. Uit de bronnen blijkt dat de meeste van deze technieken sinds lange tijd over de hele wereld gebruikt worden in de conventionele winning. Daarnaast worden ze ook op grote schaal toegepast voor schaliegaswinning in de Verenigde Staten. Wereldwijd is ongeveer 2,5 miljoen keer gefract en er zijn tienduizenden horizontale boringen uitgevoerd in de afgelopen 60 jaar waarbij commerciële winning van schaliegas mogelijk is gebleken. Schaliegaswinning kan daardoor gerekend worden tot bewezen technologie.

De technologie van het winnen van onconventioneel gas staat niet stil. De meest belangrijke innovaties voor het commercieel winnen van schaliegas zijn het toepassen van horizontale boringen, het combineren van meerdere boringen op één locatie<sup>1</sup> en het toepassen van steeds meer stadia van fraccen. Daarnaast wordt het type frac-vloeistof steeds verder verbeterd zodat minder water nodig is, minder schadelijke stoffen gebruikt hoeven te worden en steeds beter de juiste vloeistof gebruikt kan worden bij de juiste put.

#### 6.4. Integriteit van een boorgat (A.3.4)

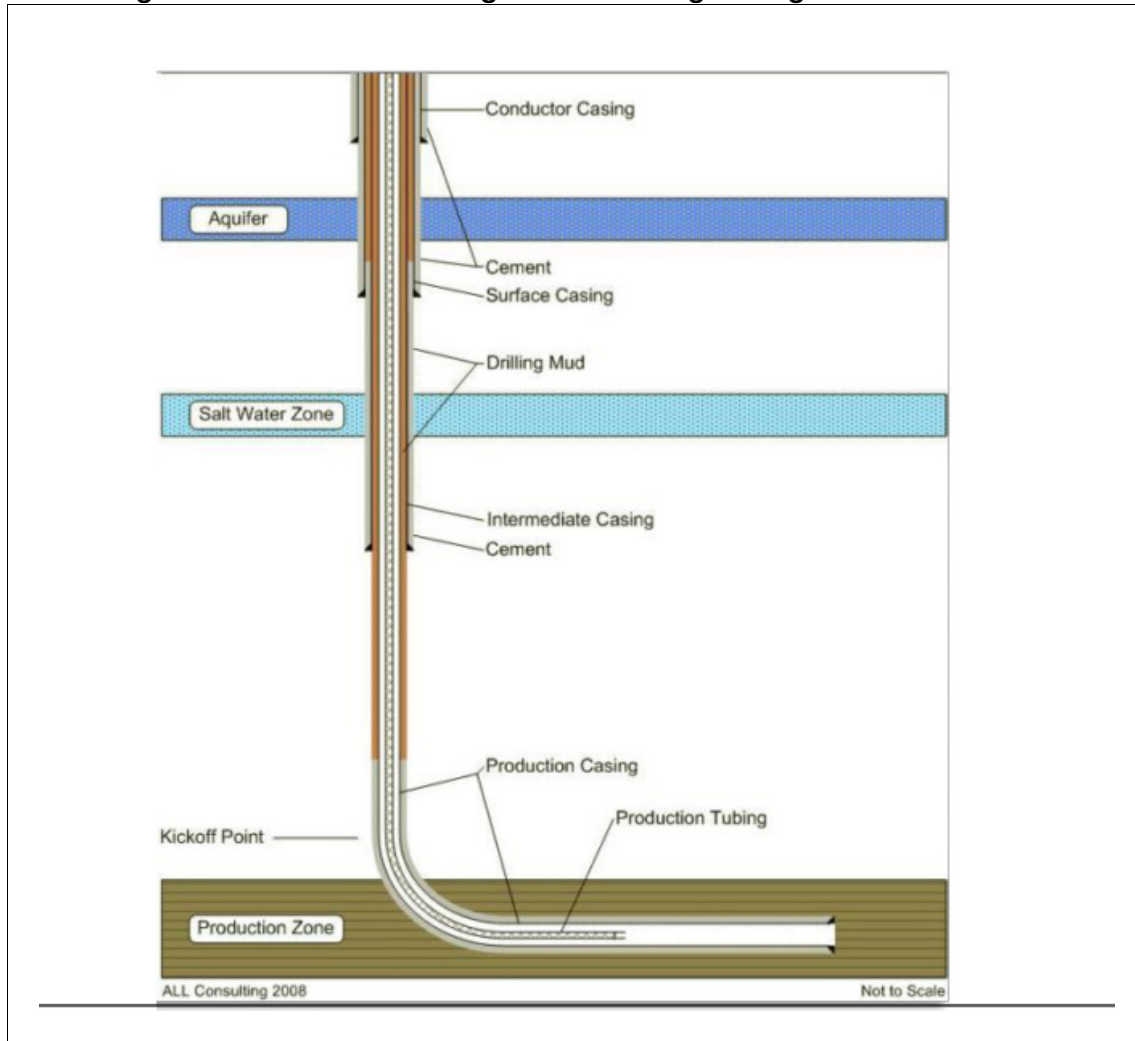
Hoe wordt de integriteit van een boorgat gegarandeerd, zowel bij aanleg, in bedrijf en bij en na buiten bedrijf stellen? Welke risico's kunnen zich voordoen? Hoe worden risicofactoren tijdens het boren en fraccen gemonitord? Welke maatregelen zijn voorbereid om de gevolgen van deze risico's te minimaliseren? Hoe worden risico's na het verlaten van de boorlocatie voorkomen, beheerst en gemonitord?

Bij de aanleg van het boorgat zijn plaatsing en cementering van de verbuizingen het belangrijkste. Hierbij is het essentieel dat de oppervlakteverbuizing en cementatie zorgt voor een goede scheiding tussen de watervoerende pakketten en het boorgat en dat de middelste verbuizing en cementatie in combinatie met een afsluitend pakket zorgt voor een afscheiding tussen het productiegesteente en de bovenliggende watervoerende pakketten. Plaatsing, monitoring en afsluiting van een boorgat dienen te gebeuren onder de beschikbare 'best practices'. Ten slotte is de plaatsing van een 'blowout-preventer' (BOP) belangrijk.

---

<sup>1</sup> Er zijn hier ook verschillende oplossingen mogelijk, zoals: pad drilling (meerdere putten vanaf een locatie), stacked wells (vanuit een vertikaal boorgat meerdere schalielagen of dikkere schalielagen aanboren) of multilateral drilling (vanuit een vertikaal boorgat twee of meer horizontale putten in verschillende richtingen aanboren).

**Afbeelding 6.1. Schematische weergaven van boorgat integriteit**



Bron: J. Broderick and A. Footitt, 'Shale gas : an updated assessment of environmental and climate change impacts, Tyndall institute, university of Manchester, 2011.

Om boorgatintegriteit te kunnen garanderen is het belangrijk de richtlijnen na te leven. Het optreden van calamiteiten kan echter nooit worden uitgesloten. Het grootste risico als gevolg van tekortkomingen in de boorgatintegriteit is het optreden van (grootschalige) verontreiniging van bodem en grond- en oppervlaktewater. Daarnaast is er een risico voor direct omwonenden en medewerkers voor explosies. De optredende risico's kunnen opgedeeld worden in het ontstaan van lekstromen, 'blowouts', verhoogde risico's als gevolg van (herhaaldelijk) fraccen (zie ook A.3.1) en risico's als gevolg van verlaten putten. Het risico op het ontstaan van lekstromen is vrijwel gelijk aan conventionele winningen. Het risico op 'blowouts' is bij schaliegas kleiner omdat het gas niet vanzelf de put in stroomt. Het cumulatieve risico van schaliegaswinningen kan groter zijn, omdat er meerdere putten op één locatie geboord worden.

De definitie van een risico is de kans op het optreden van een calamiteit maal het effect hiervan. De kans op falen van een boorput wordt berekend op basis van het aantal geboorde putten ten opzichte van het aantal gefaalde putten. Op basis hiervan is de kans op optreden van een calamiteit meestal zeer klein, terwijl juist als gevolg van het falen hiervan de grootste calamiteiten kunnen ontstaan. Met andere woorden, wanneer de boorgatintegriteit optimaal is, is de kans op een calamiteit erg klein, maar het effect groot. Met regel-

geving en handhaving is het mogelijk een zo goed mogelijke boorgatintegriteit af te dwingen.

Tijdens de aanleg en productiefase van een boorput zijn verschillende methoden beschikbaar om de boorgatintegriteit te monitoren. Het is belangrijk deze methoden toe te passen en verder te ontwikkelen, omdat het garanderen van een goede boorgatintegriteit calamiteiten voorkomt.

De maatregelen die genomen worden om de optredende gevolgen te minimaliseren zijn afhankelijk van de calamiteit die optreedt. Vooraf worden wel allerlei maatregelen genomen en wordt nagedacht, opgeschreven en geoefend hoe te handelen indien er een calamiteit zich voordoet. Om de gevolgen van incidenten en calamiteiten te mitigeren staat mijnbouwondernemingen een aantal maatregelen ter beschikking, zoals nood- en calamiteitenplannen. Bij de vergunningaanvraag moet een boor- en calamiteitenplan worden overgelegd. Voor de risicobepaling en monitoren van bodembewegingen (bodemdaling en aardbevingen) biedt het mijnbouwbesluit de mijnbouwonderneming de mogelijkheid dit in het werkprogramma en meetplan op te nemen.





## DEEL B: SAMENVATTING ONDERZOEKSVRAGEN



## 7. EFFECTEN VAN WATERGEBRUIK (B.1)

Onderzoeksvraag B.1 heeft als onderwerp de effecten van watergebruik. In vraag B.1.1 wordt ingegaan op de relatie tussen fraccen en waterverbruik. Binnen vraag B.1.1 zijn meerdere vragen gesteld. Om deze deelvragen goed te kunnen afbakenen en beantwoorden zijn de vragen verdeeld over vier achtergrondnotities. In dit hoofdstuk worden de deelvragen per achtergrondnotitie beantwoordt (zie bijlagenrapport).

### 7.1. Waterverbruik voor fraccen en boren bij schalie- of steenkoolgas (B.1.1.1)

Geef aan hoeveel water er gemiddeld gebruikt wordt op een schalie- of steenkoolgaslocatie; indelen per activiteit (fraccen-boren, etc.).

Alvorens deze vraag te beantwoorden is het noodzakelijk inzicht te hebben in de factoren die het waterverbruik bepalen. De belangrijkste factoren die de benodigde hoeveelheid water tijdens boren en fraccen beïnvloeden zijn:

- de diepte van de put, de lengte en het aantal van gefractureerde segmenten ('laterals'). Hoe dieper de put en hoe langer de 'laterals' hoe meer water er nodig is;
- de geologische karakteristieken van de schalie zoals porositeit en laagdikte.

Uit de bovenstaande factoren blijkt dat lokale omstandigheden sterk bepalend zijn voor het te verwachten waterverbruik in de Nederlandse situatie. Daarom is de analyse in eerste instantie beperkt tot het beschikbare scenario voor Nederland (zie ook paragraaf 5.1 en 9.2).

Uitgaande van een scenario dat een put een levensduur van zeven jaar heeft en er per locatie maximaal 10 putten gemaakt worden, kan er op basis van gemiddeld watergebruik en retourwater volumes per put (tabel 4.1) een overzicht gegeven worden van de totale volumes voor dit scenario. Dit overzicht is gegeven in tabel 7.1. Hierbij is uitgegaan van het boren naar een diepte van 3.500 m en een laterale lengte van 2.500 m per put.

**Tabel 7.1. Gemiddeld watergebruik en retourwater per put en locatie**

scenario: 10 putten per locatie, 7 jaar productie	gebruik per put (m <sup>3</sup> )	retour per put (m <sup>3</sup> )	gebruik per locatie (10 putten) (m <sup>3</sup> )	retour per locatie (10 putten) (m <sup>3</sup> )
boren	1.650	250	16.500	2.500
fraccen	18.500	9.250 <sup>*)</sup>	185.000	92.500 <sup>*)</sup>
productiewater		243.747		2.437.470
totaal	20.150	253.247	201.500	2.532.470

<sup>\*)</sup> Hierbij wordt er van uitgegaan dat uiteindelijk 50 % van de frac-vloeistof terugkomt. Initieel is dat 15-35 %, dus gemiddeld 25 %.

Als vervolgens wordt uitgegaan van het scenario voor Noord-Brabant dan worden er 13 locaties ontwikkeld over een periode van 15 tot 25 jaar. Gebaseerd hierop hebben we te maken met jaarlijkse waterstromen als weergegeven in tabel 7.2. Hierbij is er overigens nog niet van uitgegaan dat een deel van het afvalwater wordt hergebruikt.

Gemiddeld komt 15-35 % frac-vloeistof direct na het fraccen als 'flowback' terug. Later in het proces kan 50 % teruggelanceerd kunnen worden. Ongeveer de helft van de frac-vloeistof blijft dus achter in de ondergrond. Na behandeling kan een deel worden hergebruikt (zie ook de beantwoording van onderzoeksvraag B.3.6).

**Tabel 7.2. Waterstromen totaal en per jaar voor 13 locaties (zonder hergebruik)**

scenario: 13 locaties	totaal		over 15 jaar ontwikkeling		over 25 jaar ontwikkeling	
	benodigd volume water (m <sup>3</sup> )	volume afvalwater(m <sup>3</sup> )	benodigd (m <sup>3</sup> /jaar)	afvalwater (m <sup>3</sup> /jaar)	benodigd (m <sup>3</sup> /jaar)	afvalwater (m <sup>3</sup> /jaar)
boren	214.500	32.500	14.300	2.167	8.580	1.300
fraccen	2.405.000	1.202.500	160.333	80.167	96.200	48.100
productiewater		31.687.110		2.112.474		1.267.484
totaal	2.619.500	32.922.110	174.633	2.194.807	104.780	1.316.884

De hoeveelheid water die wordt gebruikt bij boren met een boorspoeling op oliebasis ('oil based mud'=OBM) is minder groot. Als men naar het Carboon boort op plaatsen waar Zechsteinzout aanwezig is, zou men OBM kunnen gebruiken.

Er wordt continu gezocht naar mogelijkheden om watergebruik bij fraccen te beperken. Eén van de mogelijkheden is het inzetten van andere vloeistoffen zoals propaan. Deze technieken zijn echter nog in ontwikkeling.

## 7.2. Oorsprong van het water voor fraccen en boren (B.1.1.2)

Geef aan hoe men aan het water komt? Hoe beïnvloedt de waterkwaliteit de noodzaak voor de toepassing en de samenstelling van de frac-vloeistof?  
Is er voldoende water van de gewenste kwaliteit doorgaans beschikbaar? Wat zijn de mogelijke bronnen?

Om antwoord te kunnen geven op de vraag hoe men aan water komt voor boren en fraccen zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. welke waterkwaliteitseisen worden gesteld aan frac-vloeistof?
2. welke gebruikelijke en alternatieve waterbronnen zijn beschikbaar voor frac-vloeistof?

### Waterkwaliteitseisen voor fraccingwater

Er zijn twee frac methodes die worden gebruikt in de praktijk, soms wordt ook een combinatie van de twee methodes gebruikt:

- 'slick water fraccen';
- 'cross-linked gel fraccen'.

'Slick water fraccing' is gekenmerkt door relatief grote watervolumes van per put. De chemische samenstelling van 'slick water' is relatief eenvoudig. De belangrijkste component van de 'slick water' frac-vloeistof is het frictie verlagend middel. Het grote voordeel is dat zout of brak water gebruikt kan worden.

'Cross-linked gel fraccen' is gekenmerkt door kleinere watervolumes dan 'slick water' fraccen. De chemische samenstelling van 'cross-linked' frac-vloeistof is echter veel complexer en houdt in onder andere de toepassing van gels als frictie verlagende middelen.

Het is momenteel niet volledig duidelijk welke methode in Nederland toegepast zou worden. De volgende waterkwaliteit parameters zijn van belang voor de frac-vloeistof en toe te passen frac methode:

- zwevende stof (SS = Suspended Solids);
- zout concentratie (TDS=Total Dissolved Solids);
- aanslag ('scaling') vormende ionen;
- organische stof;
- microbiologische waterkwaliteit.

In de achtergrondnotitie B.1.1.1 (zie bijlagenrapport) is per parameter en frac methode aangegeven wat de grenzen zijn. Een te hoge concentratie/aanwezigheid van de parameters impliceert de behoefte om voorzuivering van het water toe te passen.

### **Gebruikelijke en alternatieve waterbronnen voor fraccen**

Er kan onderscheid gemaakt worden in gebruikelijke en alternatieve waterbronnen die in aanmerking komen voor boor- en fracactiviteiten. De gebruikelijke bronnen zijn grondwater, oppervlaktewater en drinkwater. De alternatieve bronnen zijn effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties, effluent van industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties, brak grondwater en zeewater.

Onderstaand wordt per waterbron beschreven wat de beschikbaarheid is. Ook wordt gekeken naar de specifieke waterkwaliteit van deze bronnen, en hoe deze de noodzaak voor toepassing en samenstelling van chemische hulpstoffen voor boor- en fracactiviteiten beïnvloedt.

#### *Grondwater*

Grondwater is kwalitatief gezien over het algemeen een geschikte bron voor het bereiden van frac-vloeistof volgens beide toegepaste methodes, 'slick water fracing' en 'cross-linked gel fracing'. Echter, gezien de lokale beperkte beschikbaarheid en het feit dat provinciaal beleid in Nederland gericht is op langdurige bescherming van kwetsbare grondwaterwinningsgebieden zal zoet grondwater hoogst waarschijnlijk niet overal als bron voor schaliegaswinning kunnen worden gebruikt.

#### *Oppervlaktewater*

Oppervlaktewater (uit bekkens, rivieren, meren) is in Nederland in principe in voldoende hoeveelheden beschikbaar om schaliegaswinning te ondersteunen. De beschikbaarheid van oppervlaktewater kan in droge zomers beperkt zijn. Kwalitatief gezien zijn de verschillende oppervlaktewateren in Nederland variabel. Er zou per geval bekeken moeten worden wat de mogelijkheden zijn. Het is in die zin minder geschikt dan grondwater, en vereist mogelijk de inzet van voorzuivering in de zin van filtratie (zwevend stof verwijdering) en desinfectie (toepassen van biocides of UV straling voor beperking van bacteriologische activiteit). Dit vereist investering in en bouw van zuiveringsinstallaties. Een andere, mogelijk meer geschikte aanpak is inzet van mobiele zuiveringsinstallaties, die per put verplaatst kunnen worden.

#### *Drinkwater*

Nederlandse drinkwaterbedrijven produceren en leveren zowel drinkwater als 'ander' water. De zakelijke markt vertegenwoordigt ongeveer 30 % van het totaal geproduceerde drinkwater.

Capaciteittechnisch is levering van drinkwater voor de aanmaak van frac-vloeistof uitvoerbaar. In het Halliburton scenario dat voor EBN is uitgewerkt, zou gebruik van drinkwater voor deze doeleinden op minder dan 1 % van wat nu wordt geleverd aan de zakelijke markt door Brabant Water uitkomen. Vergelijkbare getallen gelden in het geval dat schaliegaswinning uit het Geverikpakket technisch/economisch haalbaar wordt bewezen, en water voor boor- en frac activiteiten door bijvoorbeeld Waterbedrijf Evides geleverd zou worden.

Het gebruik van drinkwater als bron voor frac-vloeistof wordt mogelijk een discussiepunt bij grootschalige implementatie van schaliegaswinning en/of in combinatie met een hoog waterverbruik per locatie. Dit uit oogpunt van provinciaal en landelijk beleid met betrekking tot onttrekking van grondwater voor deze doeleinden, de technische beschikbaarheid (vol-

doende productiecapaciteit), de locatie en het bestaande distributienet die de extra levering aan moet kunnen.

Kwalitatief gezien is drinkwater de meest geschikte bron voor schaliegaswinning. De potentieel belemmerende stoffen en organismen die het fracking proces negatief kunnen beïnvloeden zijn namelijk al uit het water verwijderd.

Als de netto vraag in de orde van grootte van maximaal 50-100 m<sup>3</sup> per uur ligt, is het gebruik van drinkwater voor boor- en frac activiteiten mogelijk. Dit op voorwaarde dat hergebruik wordt toegepast en niet gelijktijdig op meerdere locaties zal worden gefract zodat piekbelasting wordt voorkomen.

#### *Effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties*

Gezien de continue beschikbaarheid, goede spreiding, relatief goede waterkwaliteit en lagere kosten ten opzichte van andere potentiële bronnen (vooral drinkwater), is effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland een potentieel goede alternatieve bron voor het aanmaken van frac-vloeistof ten behoeve van schaliegaswinning. Aanvullende zuivering door middel van filtratie en desinfectie zal zeer waarschijnlijk nodig zijn. Dit vereist ook investering in en bouw van zuiveringsinstallaties. Inzet van mobiele zuiveringsinstallaties die per put verplaatst kunnen worden is mogelijk een goed alternatief.

#### *Effluent van industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties*

Gezuiverd industrieel afvalwater in Nederland moet voldoen aan een reeks strenge lozings-eisen, en is daarmee eveneens kwalitatief geschikt. Een geschikte waterbron voor schaliegaswinning moet in staat zijn om binnen een bepaald tijdsbestek continu aanzienlijke hoeveelheden water te kunnen leveren. Dit impliceert dat er per geval gekeken moet worden naar grotere industriewater lozers in de nabijheid van toekomstige schaliegaswinningen. De behoefte voor aanvullende voorzuivering voor gebruik van dit water voor frac-vloeistof doeleinden is afhankelijk van de specifieke kwaliteit. Ook hier zou aanvullende zuivering door middel van filtratie en desinfectie zeer waarschijnlijk nodig zijn.

#### *Brak grondwater*

Gebruik van brak grondwater zou uit kwantitatief en kwalitatief oogpunt een optie kunnen zijn voor schaliegaswinning. Uit kwalitatief oogpunt is het minder aantrekkelijk gezien de hogere zoutconcentratie. Daarnaast moeten er maatregelen getroffen worden om menging van zoet en brak grondwater te voorkomen door onttrekking dicht bij de zoetwaterlagen. Om deze redenen zou er uit de diepere lagen onttrokken moeten worden. De lozingsmogelijkheden van het brakke water zijn beperkt.

#### *Zeewater*

De potentie voor zeewatergebruik is kwantitatief onbeperkt voor schaliegaswinning in de kustgebieden. De hoge zoutconcentratie en concentratie van aanslagveroorzakende ionen (Ca, Mg, etc.) maakt zeewater minder geschikt voor 'cross-linked gel fracking' en meer geschikt voor 'slick water fracking'. Gebruik van zeewater voor aanmaak van frac-vloeistof vereist de inzet van filtratie (ten behoeve van verwijdering van zwevend stof en plankton) en desinfectie (biocides of UV-straling ten behoeve van beperking de bacteriologische activiteit in het water). Net zoals bij oppervlaktewater en effluent van riool- en afvalwater zuiveringsinstallaties vereist dit aanzienlijke investeringen.

### 7.3. Impact waterverbruik op waterhuishouding, natuur en milieu (B.1.1.3)

Wat is de impact op de waterhuishouding, natuur en het milieu, indien dusdanig hoeveelheden worden onttrokken? Geef aan hoe deze impact gemeten en gemonitord kan worden.

Zet deze hoeveelheden af tegen de hoeveelheden die gebruikt worden bij andere vormen van aardgaswinning en andere industriële activiteiten (waaronder landbouw).

Hoewel er voor het boren en fraccen bij schaliegaswinning grote volumes water nodig zijn, vertegenwoordigt het totale waterverbruik een relatief klein percentage van de potentieel inzetbare waterbronnen in een land als Nederland. Berekeningen laten zien dat het watergebruik voor het boren en fraccen per schaliegas voorkomen tussen de 0,1 % tot 0,8 % van de beschikbare waterbron kan uitkomen. Hoewel de hoeveelheden relatief beperkt zijn kan dit in bepaalde gebieden of in bepaalde droge periodes extra druk op de beschikbare hoeveelheden grond- en/of oppervlaktewater uitoefenen. Om dit in beeld te brengen zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. wat is de impact van grondwateronttrekking voor boor- en frac activiteiten op de waterhuishouding, de natuur en het milieu?
2. hoe kan de impact van deze grondwateronttrekking gemeten en gemonitord worden?
3. hoe verhouden de hoeveelheden voor boor- en frac activiteiten zich ten opzichte van de hoeveelheden die gebruikt worden bij andere vormen van aardgaswinning en andere industriële activiteiten (waaronder landbouw).

#### **Impact van grondwateronttrekking op waterhuishouding, natuur en milieu**

Grond- en/of oppervlaktewater kan voor verschillende maatschappelijke doeleinden gebruikt worden, zoals landbouw, industrie, drinkwaterwinning, natuur. Bij winning van grote hoeveelheden grondwater kan de waterbalans van het watervoerende pakket verstoord worden, met verlaging van de grondwaterstand op lokaal- en regionaal niveau en verzilting van grondwater als potentieel negatieve effecten.

De hoeveelheden in sommige waterstromen kunnen verlaagd worden door rechtstreeks onttrekken van grotere hoeveelheden oppervlaktewater, of door een verminderde toestroom van grondwater. Wateronttrekking gedurende periodes met beperkte stroming in het oppervlaktewater (seizoen- of activiteitengebonden) kan vissen en ander aquatisch leven beïnvloeden, net als daaraan gerelateerde recreatieactiviteiten. Onttrekking van grond- en/of oppervlaktewater kan ook negatieve invloed op gemeenschappelijke en industriële watervoorziening hebben.

Onttrekking van water voor verschillende doeleinden is in Nederland door de overheid sterk gereguleerd. Rijkswaterstaat, provincies en waterschappen zien er op toe dat wateronttrekking in Nederland uit zowel grond- als oppervlaktewater op een gecontroleerde manier gebeurt, waardoor de impact op natuur en milieu wordt beperkt en geminimaliseerd.

#### **Metten en monitoren van de impact van wateronttrekking**

Het inschatten en voorspellen van effecten van wateronttrekking voor boor- en frac-activiteiten is onderdeel van Milieu Effect Rapportages (MER), waarbij soms ook Life Cycle Analysis (LCA) studies uitgevoerd worden. Dit is bij de start van het vergunningentrajec.

Het werkelijk meten en monitoren van de effecten van wateronttrekking voor boor en frac-activiteiten zal in principe onderdeel worden van al bestaande meet- en monitoring-programma's van de waterbron. Ook het betreffende gaswinningbedrijf kan verplicht worden om continu of periodiek specifieke metingen uit te voeren, en data-logs van deze ge-

gevens aan het bevoegd gezag beschikbaar te stellen. Indien nodig biedt artikel 67 van het mijnbouwbesluit ('schade moet voorkomen worden') hiervoor de ruimte. Het gaat hier bijvoorbeeld over afnamevolume/-debietmetingen en resulterende effecten op waterstanden (verlaging van grond- of oppervlaktewaterstand) en -kwaliteit (grondwaterverziltting, impact op de water- flora en fauna). De door de wet gereguleerde meet- en monitoring programma/strategieën hebben als doel de lange termijn bescherming van gebruikte waterbronnen en -voorraden, en bescherming van mens, milieu en natuur.

### Vergelijking watergebruik boor- en frac activiteiten met watergebruik andere activiteiten

De benodigde hoeveelheid water voor boor- en frac activiteiten varieert per locatie en is vooral afhankelijk van de diepte van de put en het aantal gefracte segmenten ('laterals'). De gemiddelde benodigde hoeveelheid water voor het boren en fraccen van een put is gegeven in tabel 4.1.

In het beschreven scenario bedraagt de totaal benodigde hoeveelheid water voor boren en fraccen naar schatting 2,6 miljoen m<sup>3</sup> (zie tabel 7.2) Dit is minder dan 4 % van de jaarlijkse industriewater levering (67 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) van Brabant Water. Verspreid over een ontwikkelperiode van 15 jaar zouden er ongeveer 175.000 m<sup>3</sup> water per jaar nodig zijn; dit bedraagt minder dan 1 % van de jaarlijkse industriewater levering van Brabant Water.

Ondanks het benodigde watervolume, wordt schaliegaswinning met hydraulisch fraccen ingeschaald als één van de minst water intensieve energiebronnen; het vereist relatief weinig water per gegenereerde energie unit in vergelijking met conventionele en onconventionele oliewinning, (kolen)mijnbouw en biobrandstoffen, maar meer dan conventionele gaswinning, zonne-energie en windenergie (zie tabel 7.3).

**Tabel 7.3. 'Water intensiteit' van verschillende energiebronnen**

Water Intensity of Different Energy Sources	Gallons/MMBTU (Million Metric British Thermal Units)
<b>coal</b>	
surface mining	2
underground mining	9
<b>natural gas</b>	
conventional	0
<b>shale gas</b>	
vertical wells	6,9
horizontal wells (hydraulic fracturing)	4,3
<b>oil</b>	
primary	1,5
oil shale	5,5
conventional flooding	14
oil sand	35
enhanced recovery	62
<b>solar</b>	
photovoltaic	4
<b>wind</b>	
turbine	0
<b>biofuels</b>	
ethanol from irrigated corn	11.000
biodiesel from soy	60.000



Water Intensity of Different Energy Sources	Gallons/MMBTU (Million Metric British Thermal Units)
biodiesel from rape seed	68.000

Bron: United States Environmental Protection Agency (USEPA). Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources - Progress Report. December 2012.

Een vergelijking van de benodigde hoeveelheden water voor boor- en frac activiteiten met de benodigde hoeveelheden water voor andere industriële toepassingen toont aan dat de waterbehoefte voor de boor- en frac activiteiten in de laagste verbruikerscategorie zouden vallen, vergelijkbaar met de papierindustrie. Met een ruim geschatte behoefte van 2,6 Mm<sup>3</sup>/15 jaar is de benodigde hoeveelheid water voor boor- en frac activiteiten grofweg 1.000 keer minder dan het landelijke watergebruik in de land- en tuinbouwsector (166 Mm<sup>3</sup>/in 2010). Dit is nog zonder rekening te houden met hergebruik.

Op dit moment is het nog niet duidelijk op welke schaal schaliegaswinning in Nederland uitgevoerd zou kunnen worden. Dit is afhankelijk van de resultaten van proefboringen. Alleen op basis daarvan kunnen de daadwerkelijke waterbehoefte bepaald worden, en kan er een gedegen watermanagement plan opgesteld worden.

#### 7.4. Technieken voor beperken waterverbruik (B.1.1.4)

Welke technieken zijn voorhanden om het watergebruik te beperken? Kan de toepassing van dergelijke technieken afgedwongen worden? Zo ja, door wie?

Beperking van het watergebruik is voornamelijk mogelijk door hergebruik van frac-vloeistof. De waterkwaliteitseisen voor hergebruik van hydraulisch frac-vloeistof variëren met:

- fracing methode/technieken;
- eisen van het olie- en gasbedrijf of het servicebedrijf;
- karakteristieken van het gasveld en chemische samenstelling van het water;
- fracing additieven of chemicaliën (frictie verlagende middel, polymeren, etc.)

Mijnbouwondernemingen kiezen bij voorkeur efficiënte oplossingen voor het watergebruik bij fracing doeleinden. Dit houdt in dat alleen waterbehandeling wordt toegepast om de kwaliteit van teruggewonnen frac-vloeistof ten behoeve van het hergebruik op te waarderen. In plaats van behandeling wordt dit water ook wel aangevuld met extra water uit de gebruikte bron (grond-, oppervlakte-, drink- of andere waterbron), of wordt het afgevoerd naar een externe waterbehandeling of geïnjecteerd in een diepe put. Diepe waterinjectie is in Nederland overigens niet geoorloofd. Alleen onder strikte voorwaarden, en met vergunning kan water worden geïnjecteerd in diepe putten (zie landelijk afvalbeheersplan, LAP).

Er zijn meerdere technologieën en leveranciers beschikbaar voor de behandeling van water uit schaliegaswinning, er is echter geen enkele technologie die een allesomvattend oplossing biedt voor alle behandelingenbehoefte die bij schaliegas waterbehandeling een rol spelen. Maatwerk is dus geboden.

Frac-vloeistof kan tot verschillende niveaus behandeld worden; dit door inzet van een reeks zuiveringstechnieken, die de kwaliteit van het water in een aantal zuiveringsstappen steeds meer kunnen verbeteren.

Het watermanagement (onttrekking, gebruik en lozing) bij schaliegaswinning is in Nederland (en in andere landen zoals de Verenigde Staten en Canada) onderwerp van MER studies, vooraf aan de werkelijke gasproductie (MER-plichtig).

In de Verenigde Staten zijn er geen directe beperkingen of eisen wat betreft hergebruik van frac-vloeistof. In Canada zijn er in specifieke gevallen wel wettelijke recyclingeisen gesteld. Het recyclen en hergebruik van frac-vloeistof kan dus indirect of direct gereguleerd worden. Dit leidde in recente jaren in de Verenigde Staten en Canada tot het ontwikkelen van een markt voor waterzuiveringinstallaties met een significante groeipotentie.

Een andere manier om watergebruik te beperken en het hergebruik van frac-vloeistof te stimuleren is door middel van contractuele stimulansen, in feite het contractueel belonen van de operator in geval van minimaliseren van zijn watergebruik en het opleggen van boetes bij overschrijdingen van het afgesproken waterverbruik.

## 8. PROCESSEN EN EFFECTEN IN DE ONDERGROND (B.2)

De onderzoeksvragen in deel B.2 hebben betrekking op processen en effecten in de ondergrond. Ten eerste wordt ingegaan op de mogelijke effecten van mijnbouwactiviteiten op de omgeving (onderzoeksvraag B.2.1).

De tweede onderzoeksvraag (B.2.2) gaat over autonome gasmigratie. Om de autonome gasmigratie te kunnen bepalen is een nulmeting van belang. Het gaat enerzijds om concentraties van stoffen die tijdens de winning vrij (kunnen) komen uit het moedergesteente (methaan) en anderzijds om stoffen die als mijnbouwhulpstof worden gebruikt.

Naast autonome gasmigratie kan ook migratie van gas of vloeistoffen plaatsvinden onder invloed van winning. Onderzoeksvragen B.2.3 tot en met B.2.5 hebben betrekking op deze vorm van migratie.

Tot slot wordt de migratie van gas of vloeistoffen langs putten beschreven. Daarbij wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen B.2.6 tot en met B.2.9.

### 8.1. Effecten van mijnbouwactiviteiten op de omgeving (B.2.1)

Geef aan welk beleid wordt gevoerd ten aanzien van het ontwikkelen van mijnbouwactiviteiten in (de nabijheid van) Natura 2000, EHS, beschermde natuurmonumenten en TOP-gebieden, ten aanzien van aardkundige en archeologische waarden. Welke invloed zouden mijnbouwactiviteiten (inclusief gasinfrastructuur) kunnen hebben op bijzondere natuurwaarden en flora en fauna, en hoe kunnen deze mogelijke invloeden worden geminimaliseerd?

Voor de beantwoording is deze vraag uitgewerkt in drie deelvragen:

1. geef aan welk beleid wordt gevoerd ten aanzien van het ontwikkelen van mijnbouwactiviteiten in (de nabijheid van) Natura 2000, EHS, beschermde natuurmonumenten en TOP-gebieden (ecologie);
2. geef aan welk beleid wordt gevoerd ten aanzien van het ontwikkelen van mijnbouwactiviteiten ten aanzien van aardkundige en archeologische waarden;
3. welke invloed zouden mijnbouwactiviteiten (inclusief gasinfrastructuur) kunnen hebben op bijzondere natuurwaarden en flora en fauna, en hoe kunnen deze mogelijke invloeden worden geminimaliseerd?

#### **Mijnbouwactiviteiten in Natura2000, EHS, natuurmonumenten en TOP-gebieden**

Om deze vraag te beantwoorden is de (inter)nationale wetgeving en beleid voor dit thema aangehaald en is ingegaan op mogelijke verplichtingen voortvloeiend uit provinciale en regionale wetgeving en beleid. Binnen Nederland is op verschillende niveaus wetgeving en beleid voor de waarborging van ecologische waarden. Bepaalde gebieden in Nederland zijn uitgesloten voor opsporing en winning van gas (bijvoorbeeld Natura 2000-gebieden). Voor de overige ecologische waardevolle gebieden geldt dat in de planstudiefase voor de gasproductie een (verplicht) milieueffectrapportage zal worden doorlopen. Indien er geen m.e.r.-plicht is, dan is het volgen van een vrijwillige m.e.r. aan te raden.

#### **Aardkundige en archeologische waarden**

Om deze vraag te beantwoorden is (inter)nationale wetgeving en beleid voor dit thema aangehaald en is ingegaan op mogelijke verplichtingen voortvloeiend uit provinciale en regionale wetgeving en beleid. Voor de aardkundig en archeologisch waardevolle gebieden geldt, evenals voor ecologisch waardevolle gebieden, dat een (verplichte of vrijwillige) milieueffectrapportage inzicht kan geven in de effecten.

## Invloed op bijzondere natuurwaarden en flora en fauna

Via een bureaustudie is op hoofdlijnen ingegaan op de mogelijke effecten op het gebied van natuurwaarden en flora en fauna. Hierbij zijn de algemene effecten beschreven, omdat de activiteiten niet gekoppeld zijn aan een locatie. Ook is beschreven op welke manier effecten kunnen worden voorkomen of verzacht. Het bevoegd gezag en vergunningverlener hebben bij besluiten en vergunningen de mogelijkheid om voorwaarden te stellen aan het initiatief, om zo schade aan natuurwaarden en flora en fauna te voorkomen (bijvoorbeeld via de winningsvergunning van de Mijnbouwwet).

### 8.2. Autonome gasmigratie (B.2.2)

Is er sprake van een autonome migratie van methaan boven de schaliegas of steenkoolgas voorkomens? Is ooit onderzoek gedaan naar verhoogde concentraties van methaan in ondiepe lagen in Nederland? Zo ja, wat was toen waargenomen en wat was de vermoedelijke herkomst?

Migratie van methaan vindt van nature plaats langs breuken in de ondergrond of doorlatende lagen. Het migratieproces is afhankelijk van beschikbare wegen in de bovenliggende lagen, daarbij geholpen door zwaartekracht. Migratie van gas wordt verder beïnvloed door de poriëngrootte van de sedimenten, samen met de opwaartse kracht van de onderliggende gaskolom.

Over vrijwel geheel Nederland (dus ook boven schaliegas of steenkoolgasvoorkomens) heeft al miljoenen jaren op grote schaal autonome migratie van methaan plaatsgevonden en deze vindt nog steeds plaats.

Er is onderzoek gedaan naar verhoogde concentraties van methaan in ondiepe lagen in de Nederlandse bodem. Metingen naar methaanconcentratie worden in risicogebieden routinematig uitgevoerd bij drinkwaterwinning en andere diepere grondwateronttrekkingen om explosies te voorkomen.

In het grondwater in Nederland komt algemeen methaan voor in een concentratie die varieert van enkele microgrammen tot circa 65 µg/l. Bij de beschouwing van verhoogde concentraties van methaan in ondiepe lagen in Nederland moet onderscheid worden gemaakt naar biogeen en thermogeen (diepe afkomst) methaan. Afgeleid uit de plaats van voorkomen en geohydrologische achtergrond wordt aangenomen dat dit gas biogeen is en zich vormt en heeft gevormd in toplaag tot circa 25 m onder maaiveld.

Het wijdverspreid voorkomen van biogeen moerasgas is algemeen bekend. Waar gemeten is er sprake van biogeen gas. Er zijn geen metingen bekend van thermogeen gas in het grondwater.

### 8.3. Migratie gas of vloeistoffen naar bovenliggende lagen (B.2.3)

Ga na, of er mechanismen zijn, die verticale dan wel horizontale migratie van gas of vloeistoffen naar overliggende lagen zouden kunnen veroorzaken. Hierbij ook de mogelijk aanwezige natuurlijke breuksystemen beschouwen. Geef aan hoe lang het zou duren voordat chemicaliën in geval van lekkages naar boven komen en in watervoorraden voor drinkwaterbereiding terechtkomen. In welke situaties is het mogelijk dat de fracs tot aan de drinkwatervoerende lagen propageren (gesteente eigenschappen, natuurlijk breuksysteem, natuurlijk spanningsveld waarbij minimal stress van oriëntatie verandert in opwaartse richting)? Is het van invloed, dat er multiple fracs worden uitgevoerd?

De belangrijkste bevinding is dat er via de fracs (scheuren) geen verticale of horizontale migratie van gas of vloeistoffen naar overliggende lagen mogelijk is. In algemene zin kan

worden geconcludeerd dat de theoretische verspreidingsroutes en -mechanismen voor methaan naar overliggende lagen (zie onderzoeksvraag B.2.2) ook van toepassing zijn op frac-vloeistoffen. Echter, de opwaartse druk van deze vloeistoffen is, door hun hogere soortelijk gewicht, gering of niet bestaand, met ander woorden; er is geen aandrijvende kracht. Na een 'fracjob' stroomt deze vloeistof terug naar de put. Hoogstens zou de vloeistof zich via diffusie kunnen verspreiden. Dit vergt echter nog veel meer tijd.

In algemene zin is het onmogelijk een uitspraak te doen over de migratietijd van de gefrac-te laag naar de oppervlakte. Het enige dat kan worden gezegd is dat van een diepte van ongeveer 3.000 m die tijd zeer aanzienlijk is (duizenden jaren of meer), als er al een mogelijke migratieweg aanwezig is. Tevens kan worden geconcludeerd dat het zeer onwaarschijnlijk is dat fracs tot aan de gemiddeld 2.000 m hoger gelegen drinkwatervoerende lagen zullen propageren. 'Multiple fracs' leiden niet tot een grotere kans op verticale migratie, mits er geen natuurlijke breuken worden geraakt.

#### 8.4. Aantasting afsluitende lagen door chemicaliën (B.2.4)

Ga na of de chemicaliën de afsluitende lagen zodanig kunnen aantasten dat er migratieroutes ontstaan. Indien mogelijk, geef dan een indicatie van hoe lang het zou duren voordat de chemicaliën in geval van lekkage naar boven komen en in het drinkwater terechtkomen.

De fysische/geochemische condities in een schalie op grote diepte zijn zodanig dat alleen door het toepassen van mechanisch fraccen een tijdelijke migratieroute kan worden gecreëerd. Toevoeging van chemicaliën optimaliseren dit proces, maar kunnen niet zelfstandig de doorlatendheid van een afsluitende laag beïnvloeden. Opwaartse opstuwung van frac-vloeistof is gezien de poriëndruk in de schalies onder Nederland zeer onwaarschijnlijk. Daarmee is de kans dat chemicaliën via migratieroutes naar boven doorlekken zeer klein.

#### 8.5. Geologische impact van gefrac-te lagen op omgeving (B.2.5)

Ga na wat de mogelijke geologische impact van een gefrac-te schalie- of steenkoolformatie is op lange termijn voor waterhuishouding, bodemkwaliteit, en bodemecologie, alsmede de gevolgen voor mogelijk ander gebruik van de ondergrond, zoals bijvoorbeeld de opslag (van CO<sub>2</sub>, afvalwater, kernafval), geothermie en warmte-koude opslag.

Om deze vraag te beantwoorden is het van belang in te gaan op de geologische situatie in Nederland. De aanwezige schalie van de Posidonia Formatie is prospectief<sup>1</sup> voor de winning van schaliegas met een diepte variërend tussen de 1.000 en 4.000 m, met een significant deel van de bron op een diepte tussen de 2.000 en 4.000 m in Zuid-Nederland. Daarin is de geschiktheid op basis van inkolingsgraad en vitrinietreflectie niet meegenomen.

De Geverik-laag (Formatie van Epen) ligt lokaal dieper, maar het prospectieve deel ligt tussen de 3.000 en 4.600 m en is slecht in beeld. Hier kan het zijn dat winning van schaliegas door middel van fraccen goed mogelijk is.

De meeste van de activiteiten aan maaiveld, maar ook in de ondergrond, beperken zich tot het watervoerend pakket dat ongeveer uit de eerste 500 m bestaat vanaf het oppervlak. Al-

---

<sup>1</sup> Prospectief betekent een mogelijke voorraad: op grond van indirect bewijs wordt aangenomen dat ze bestaan, maar er is nog niet naar geboord. De waarschijnlijkheid dat ze kunnen worden ontwikkeld is daarom onzekerder dan in het geval van voorwaardelijke resources (waarvan het bestaan is aangetoond, maar waarvan het om technologische of economische redenen nog onzeker is of ze daadwerkelijk kunnen worden gewonnen).

leen voor de opslag van stoffen (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>) of geothermische energie winning, kan sprake zijn van activiteiten op vergelijkbare diepten als de potentieel schalierijke formaties in de ondergrond van Nederland.

Praktisch gezien zullen er geen scheuren ontstaan door het fraccen hoger dan 50 m boven de boring (uitgaande van de Nederlandse situatie). Zelfs als we uitgaan van de maximaal gemeten afstand van 588 m voor een opwaarts ontstane scheur (waargenomen in de Verenigde Staten), zal vanwege de aanwezige lagen boven de schalielagen er geen beïnvloeding van de watervoerende lagen plaatsvinden. Dit betekent dan ook dat er geen beïnvloeding van oppervlaktewater, ecologische systemen, nucleaire opslag en koude- en warmte-opslag-systemen kan plaatsvinden.

Eventuele opgeslagen stoffen rond de optimale diepte<sup>1</sup> van 1.600 m kan niet worden beïnvloed door fraccen in de Posidonia Formatie of het Geverik laagpakket. Wanneer er sprake is van diepere opslaglocaties (diepte tussen de 2.000 en 3.500 m), moeten fracking- activiteiten goed worden afgewogen/afgestemd met dit gebruik. Dit zelfde kan gesteld worden voor geothermische activiteiten op aanzienlijke diepten.

Wanneer geïnjecteerde vloeistof bestaande doorlatende breuklijnen bereikt (zie ook de beantwoording van onderzoeksvraag B.4.4) zal deze zich niet verplaatsen naar pakketten waar ander gebruik plaatsvindt. Dit komt door het verlies in snelheid en druk in de doorlatende breukzone.

## 8.6. Voorkomen lekkage bij doorboren lagen (B.2.6)

Hoe wordt geborgd dat er geen lekkages optreden tussen pakketten als gevolg van het doorboren van afsluitende lagen?

Eventuele lekkage van boorspoeling (mudfiltraat) en migratie van gas en vloeistof door het boorgat tijdens (en na) het doorboren van doorlatende lagen kan worden voorkomen door de juiste boorvloeistof te gebruiken en door het neerlaten en cementeren van de verbuizing ('casing'). De lagen worden zo op een permanente manier van elkaar afgesloten. De kwaliteit van de het cement waarmee de verbuizing wordt aangebracht, wordt gecontroleerd met een akoestisch instrument en door de druk tussen de casings bij het wellhead goed te monitoren. Bij onverhoeds verlies van boorvloeistof in ondiepe, doorlatende lagen worden natuurlijke materialen gebruikt om de lekkage te stoppen. Overigens is dit geen specifiek schalie- of steenkoolgas kwestie. Dit kan ook voorkomen bij conventionele boringen.

## 8.7. Verschillen met conventioneel gas en veiligheidsrisico's (B.2.7)

In welke opzichten wijkt het boren, afwerken en fraccen van steenkool- of schaliegas putten af van de staande praktijk bij opsporen en winnen van conventioneel aardgas? Geven (eventuele) verschillen aanleiding tot verhoogd veiligheidsrisico?

Het horizontaal boren en fraccen van putten wordt zowel voor schaliegas als conventioneel gas gedaan (in het laatste geval als het om laag doorlatende reservoirs gaat). In wezen is er geen verschil in het boren, afwerken en fraccen van beiden. Door het ontbreken van de

<sup>1</sup> Deze optimale diepte wordt vooral bepaald door de niet-lineaire verandering van de porositeit in de diepte en de tegenstrijdige effecten op de temperatuur en druk als gevolg van de diepte. De minimale diepte waarop CO<sub>2</sub> superkritisch blijft is 500 m. De maximale praktische diepte voor de opslag van CO<sub>2</sub> ligt rond de 3.000 m.

kans op een 'blowout' is het boren van exploratieputten naar schaliegas veiliger dan het boren van exploratieputten naar conventioneel gas en geeft dus geen aanleiding tot een verhoogd veiligheidsrisico.

## 8.8. Mitigatie risico's bij opsporen en winnen (B.2.8)

Met welke maatregelen is dat (eventueel bestaande) risico te mitigeren? Moeten hogere randvoorwaarden worden gesteld aan de boringen om onaanvaardbare risico's in watervoerende lagen voor drinkwater te voorkomen?

Onderstaand overzicht van de bedreigingen en de daarvoor beschikbare maatregelen laat zien dat bij een goed opgezette boring nagenoeg alle risico's op calamiteiten technisch afdoende kunnen worden beheerst. Menselijke fouten kunnen worden beperkt door goede training, regelgeving en strikt toezicht. Afscherming van de drinkwatervoerende lagen tijdens het boren geschiedt op dezelfde wijze als bij boringen naar conventionele olie- en gasreservoirs.

**Tabel 8.1. Risico's en beheersmaatregelen tijdens opsporen en winnen**

oorzaken	mogelijke effecten	maatregelen om schade te voorkomen of tegen te gaan
overdruk in poreuze laag	- influx van gas of vloeistof die kan leiden tot een blow-out	- tijdig herkennen van overdruk - gebruik zware boerspoeiing - goed werkende blow-out preventer
onderdruk in gedepleteerde reservoirs	- verlies boerspoeiing	- goede planning van casing schema en spoeling programma
hoge spanning in gesteente	- breken van boorgatwand - dichtdrukken boorgat, bijvoorbeeld in zoutlagen	- regionale kennis tektoniek, zware casing, zware spoeling
actieve verschuivingen	- deformatie boorgat	- vermijden via kennistechniek en goede seismische analyse
open breukzones en karstzones	- plotseling spoelingverlies kan leiden tot blow-out	- casing zetten dichtbij begin gebroken formatie - grote spoeling reserve met afdichtend materiaal - goede blow-out preventer
zwellende klei, bijvoorbeeld Smectiet	- op zwellen boorgatwand - vastzitten boorgereedschappen	- juiste samenstelling boerspoeiing
zoutlagen	- oplossen zout leidt tot holten om boorgat	- zeer zoute boerspoeiing zoals gebruikt in Groningen of OBM (oil-based mud)
ondiepe gasvoerende lagen	- influx gas door zuiging bij roundtrips (ophalen boorgereedschap) en onvoldoende tegen-druk door lichte spoeling	- gedetailleerd seismisch onderzoek leidende tot exacte bepaling van de diepte van het gasreservoir - goede planning boorprogramma - casing schema aanpassen

## 8.9. Mitigatie risico's bij aanwezigheid boorgaten (B.2.9)

Beantwoord dezelfde vraag voor het geval er al boorgaten bestaan (al dan niet permanent verlaten) in de buurt van het project.

In de (directe) omgeving van een zoeklocatie van schaliegas kunnen zich potentieel boringen met beschermingsgebieden<sup>1</sup> bevinden:

- verlaten putten ten behoeve van (schalie)gas- en of oliewinningen, opslag van aardgas, CO<sub>2</sub> of andere stoffen of winning van geothermische energie: hiervoor is geen beschermingszone beschikbaar. In de praktijk wordt dit echter wel meegenomen op basis van de doelstellende bepaling van de Mijnbouwwet;
- actieve putten ten behoeve van (schalie)gas- en of oliewinningen, opslag van aardgas en CO<sub>2</sub> of winning van geothermische energie; in de omgeving van actieve putten kan een beschermingszone tot 500 m bestaan;
- koude- en warmte-opslag-systemen (KWO-systemen); in de omgeving zijn geen beschermingszones opgesteld. Wel geldt dat deze systemen elkaar en andere winningen niet mogen beïnvloeden;
- waterwinningen in de vorm van industriële winningen, drinkwaterwinningen, beregeningsinstallaties. In de omgeving van drinkwaterwinning kunnen grondwaterbeschermingsgebieden, boringsvrije zones en waterwingebieden opgesteld zijn.

In geval van een calamiteit kunnen gassen en of vloeistoffen zowel aan het maaiveld (morsen) als ondergronds (falen van boorputintegriteit) vrijkomen. Op het moment dat ze in het grondwater zijn opgelost, zullen ze meestromen met het aanwezige grondwater. Wanneer er een onttrekkingsput in de omgeving aanwezig is kunnen deze opgeloste vloeistoffen en gassen aangetrokken worden door deze putten en dus vrijkomen aan maaiveld. In het geval van een drinkwaterwinning betekent dit een risico op vervuild drinkwater.

Om risico's op calamiteiten te minimaliseren, moeten tot bestaande boorgaten de volgende minimale afstanden in aanmerking worden genomen:

- in de Mijnbouwwet is een maximale (bovengrondse) beschermingszone van 500 m mogelijk<sup>2</sup> voor actieve winputten (offshore). Halliburton (Noord-Brabant case EBN) hanteert als richtlijn een afstand van ongeveer 200 m tussen actieve boorgaten;
- bij verlaten schaliegas boorgaten dient in ieder geval rekening gehouden te worden met de lengte van het horizontale deel van de boring, in de literatuur wordt ook hier een afstand van 200 m voor aangenomen;
- voor drinkwaterwinningen worden in de huidige wetgeving over het algemeen 25-jaars zones gebruikt voor het weren van overige onttrekkingen/boringen. De provincie Gelderland wil winning van delfstoffen uitsluiten binnen 100-jaars zones. Aanbeveling hierbij is om naast de benadering vanaf maaiveld ook de benadering vanaf de winput zelf mee te nemen (dit kan andere beschermingszones opleveren);
- voor industriële en drinkwaterwinningen voldoet de huidige regelgeving. Voor winningen bestemd voor menselijke consumptie wordt over het algemeen een beschermingszone van 25 of 100 jaar gehanteerd. Voor de overige systemen geldt een secundair maatschappelijk belang (ten opzichte van drinkwaterwinning) waardoor een beschermingszone groter dan het beïnvloedde gebied niet nodig is.

---

<sup>1</sup> Dit zijn geen formele beschermingsgebieden, maar aandachtsgebieden.

<sup>2</sup> In de mijnbouwwet wordt geen minimale afstand gegeven tussen actieve en verlaten boorputten. Wel wordt aangegeven dat een beschermingszone tot 500 m mogelijk is. Dit geldt overigens voor offshore putten, niet voor onshore putten en dit heeft te maken met aanvaringsrisico voor scheepsverkeer.



## 9. EMISSIES EN AFVALSTROMEN (B.3)

Bij de winning van schaliegas komen verschillende afvalstromen vrij en is sprake van emissies naar de omgeving (bodem, oppervlaktewater, lucht). In dit hoofdstuk wordt ingegaan op zowel de technische aspecten (onder andere samenstelling afvalstromen en emissies, stofgedrag en stoftransport) als meer beleidsmatige aspecten (onder andere ten aanzien van affakkelen en geluid- en lichtbelasting) van deze afvalstromen en emissies. Ook wordt ingegaan op de verschillen in afvalstromen en emissies tussen schaliegaswinning en conventionele olie- en gaswinning.

Voor de beantwoording van de vragen in dit hoofdstuk zijn de antwoorden grotendeels gebaseerd op metingen en resultaten van onderzoeken in de Verenigde Staten en Duitsland, omdat voor Nederland nog geen onderzoeksgegevens en metingen beschikbaar zijn. De meer beleidsmatige vragen richten zich met name op de Nederlandse wet- en regelgeving.

### 9.1. Emissies van methaan (B.3.1)

Geclaimd wordt dat in de Verenigde Staten waar schaliegas op grote schaal wordt gewonnen een verhoogde emissie van methaan wordt waargenomen. Dit kan worden verklaard door de kwaliteit van de afdichting van de putten, migratie van gas vanuit de schalie naar bovenliggende lagen en/of het meeproduceren van gas met terugkomende fractuurvloeistoffen.

Analyseer welke van deze verklaringen plausibel is en onderzoek aan de hand van literatuur of er nog andere mogelijke mechanismen kunnen zijn. En maak een vertaling naar de Nederlandse (geologische) situatie.

#### **Boorgatintegriteit**

Methaangas kan alleen ontsnappen als de boorgatintegriteit faalt. Ten aanzien van boorgatintegriteit zijn drie aspecten belangrijk in relatie tot methaanemissies:

- het aantal en de diepte van de verbuizingen en bijbehorende cementering;
- de aanwezigheid van een afsluitende laag tussen het productiegedeelte en bovenliggende watervoerende pakketten;
- de controle van de afdichting van het boorgat door middel van metingen. Hierbij kan onder andere gebruik gemaakt worden van 'logs' (zie ook onderzoeksvraag A.3.4).

De eisen die gesteld worden aan boorgatintegriteit in de Verenigde Staten verschillen per staat. Als voorbeeld wordt in Wyoming gebruik gemaakt van drie verbuizingen waarbij niet tot beneden het watervoerend pakket is gecementeerd. Een dergelijke boorgat is niet toegestaan in de Nederlandse situatie. In het Verenigd Koninkrijk wordt aanbevolen gebruik te maken van vier verbuizingen en volledig terug te cementeren (zie vraag A.3.4). Door deze extra eisen ook op de Nederlandse situatie toe te passen worden de kansen op methaanemissies als gevolg van het falen van boorgatintegriteit klein.

#### **Migratie van methaan naar bovenliggende lagen**

Recente studies in de Verenigde Staten tonen aan dat het mogelijk is gesteentelagen boven het wingesteente te gebruiken als afdekkende of afsluitende laag boven de winningen. Deze afdekkende of afsluitende laag stopt scheuren en kan de uitstroom van methaan blokkeren. Hierbij is het belangrijk dat voldoende afstand tussen productiegesteente en watervoerende laag wordt gehandhaafd. De studies laten ook zien dat als een ondoorlatende laag ontbreekt of er te weinig afstand tussen watervoerende laag en winformatie is, er een risico is op migratie van methaan door ondoorlatende lagen respectievelijk scheuren tot in de watervoerende lagen met mogelijke vervuiling van het grondwater met methaan tot ge-

volg. Deze studies gaan uit van een afstand van maximaal 600 m van de schalielaag tot het watervoerende pakket.

Omdat in Nederland de afstand tussen het wingesteente en het watervoerend pakket zeer veel groter is dan 600 m en er bovendien sprake is van afsluitende lagen boven het winpakket, kan migratie van methaan naar bovenliggende watervoerende lagen uitgesloten worden.

### **Meeproduceren van methaan met terugstroom van frac-vloeistoffen**

Na het proces van fraccen zal een deel van de vloeistof die onder hoge druk in het boorgat is gepompt, via het boorgat terugstromen naar het oppervlak. Hierbij komt ook gas vrij, met name methaan. In de Verenigde Staten komt dit gas vaak direct vrij in de atmosfeer ('cold vented') of het wordt afgefakkeld totdat de kwaliteit van het gas voldoende is voor verkoop. Een andere methode is zogenaamde 'groene oplevering'. Hierbij worden vrijkomende gasen afgevangen zodat deze niet in de atmosfeer terecht komen. Deze methode wordt op dit moment nog niet commercieel toegepast. Daarnaast wordt op dit moment in de Verenigde Staten een groot deel van het productiegas afgefakkeld vanwege economische redenen (zie paragraaf 9.8, vraag B.3.8).

In Nederland is het beleid erop gericht emissies naar de lucht te voorkomen of te minimaliseren. Het methaan wordt daarom direct afgefakkeld of afgevangen. De verwachting is dat bij eventuele schalie- en steenkoolgaswinning het affakkelen minder grootschalig plaats zal vinden dan in de Verenigde Staten, aangezien in Nederland al wettelijke eisen worden gesteld aan affakkelen.

### **Emissies via bestaande boorgaten**

In de Verenigde Staten bestaan veel buiten gebruik gestelde boorgaten (van diverse oorsprong), die niet volgens de richtlijnen zijn gedicht en verlaten. Wanneer schaliegas putten aangelegd worden in de omgeving van deze verlaten boorgaten kunnen de bestaande putten mogelijk beïnvloed worden door de nieuwe putten, waardoor migratie van methaangas via deze boorgaten niet uit te sluiten is.

In de Nederlandse situatie zijn verlaten boorgaten goed bekend en afgesloten. Een en ander is geborgd in de Mijnbouwwet. Wanneer voldoende afstand tot oude boorgaten wordt genomen kunnen methaanemissies volgens deze route uitgesloten worden.

## **9.2. Emissies, risico's en mitigatie (B.3.2)**

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.

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. beschrijf de case study voor de ontwikkeling van schaliegas in Noord-Brabant;
2. beschrijf de omvang van afvalstromen en emissies van stoffen op basis van de ontwikkelscenario's in Noord-Brabant;
3. beschrijf de veiligheidsrisico's van afvalstromen en emissies in relatie tot verschillende milieucompartimenten. Beschrijf mogelijke (mitigerende) maatregelen om deze risico's te beperken of te voorkomen.

## Case study

EBN heeft voor de ontwikkeling van commerciële schaliegaswinning in Noord-Brabant een case study laten uitvoeren door Halliburton. Het scenario uit de case study, aangevuld met scenario's voor schaliegasexploratie in Engeland, vormt de basis voor de beantwoording van verschillende onderzoeksvragen.

Het base-case scenario voor Noord-Brabant uit de case study heeft onder meer de volgende kenmerken:

- 13 winlocaties;
- op elke 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 aanlegperiode van zes jaar en een totale exploitatieduur van 25 jaar.

## Afvalstromen en emissies

De belangrijkste afvalstroom bij schaliegaswinning (wat betreft omvang en mogelijke milieu-impact) is de waterige afvalstroom, die ontstaat tijdens het boren van putten, tijdens het fraccen en tijdens de gasproductie. Vrijkomend afvalwater is, vanwege de specifieke samenstelling (zie onderzoeksvraag B.3.5 en B.3.6), ongeschikt om direct te lozen of om door bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) te worden behandeld.

In tabel 7.2 is op basis van het hierboven beschreven base-case scenario een inschatting gemaakt van de jaarlijkse afvalwaterstroom. Voor een exploitatieduur van 25 jaar levert dit een afvalwaterstroom van 1,3 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (gemiddeld) gedurende de periode van aanleg en exploitatie. Uitgaande van een hergebruik van 13 % is de verwachte afvalwaterstroom voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant circa 1,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (gemiddeld). Bij een hergebruik van 67% heeft de afvalstroom een gemiddelde omvang van 0,4 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Een andere belangrijke afvalstroom is de afvoer van opgeboord materiaal (boorgruis, 'drill cuttings'). Voor het ontwikkelingsscenario Noord-Brabant wordt het totaal volume vrijkomend boorgruis geschat op circa 26.000 m<sup>3</sup>. Als dit boorgruis licht radioactief is dient het gecontroleerd opgeslagen en/of afgevoerd te worden. Dit betreft natuurlijk voorkomend radioactief materiaal (NORM). Onderzoek in de USA laat zien dat in 'flowback water' bij schaliegaswinning licht radioactief materiaal aanwezig is (zie ook B.3.5). Aangezien er in fraccing-vloeistof geen radioactief materiaal wordt gebruikt, is dit afkomstig van het schaliegesteente en kan het een rol spelen bij de afvoer van boorgruis.

De ervaring met boren door schaliegesteente in Nederland is dat de mate van radioactiviteit vrijwel nooit boven de norm van het Besluit stralingsbescherming (Bs) is gekomen. Als het niet boven de norm komt is het per definitie niet radioactief. Specifiek onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre het voorkomen van radioactief materiaal werkelijk een rol speelt bij winning van schaliegas in Nederland. Tijdens de productie kunnen verrijkingen plaatsvinden van radioactieve mineralen in de 'scales' (aanslag of aanvoeringen) in de verbuizingen, afsluiters of verbindingselementen. Als deze 'scales' de norm overschrijden moeten de verbuizingen en apparatuur gecontroleerd worden afgevoerd en verwerkt.

Naast de vloeibare en vaste afvalstromen is ook sprake van emissies van gassen, verontreinigingen en warmte in de verschillende milieucompartimenten. 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 benodigde 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.

### **Veiligheidsrisico's**

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 en/of bodemverontreiniging.

In Nederland en de Europese Unie worden risico's van opslag van afvalwater tot een minimum beperkt, doordat dit water moet worden opgeslagen in tanks. Daarnaast kunnen er risico's optreden bij het transport van afvalwater op de winlocatie of op de weg. Opgeboord materiaal kan licht radioactief zijn, en door morsingen of lekkages zou er vervuild water kunnen vrijkomen bij contact met lucht en water. Hierdoor bestaat het risico dat vervuiling van de bodem (grond en grondwater) en/of oppervlaktewater optreedt.

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 gevolgen hebben voor de gezondheid van mens of dier en het klimaat. Thermische emissie rondom putten kan mogelijk leiden tot toestroom of ontstaan van ongewenste opgeloste stoffen in het ondiepere grondwater.

### **Mitigerende maatregelen**

Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om risico's op het optreden van verontreiniging van het omringde grondwater, oppervlaktewater, bodem en lucht door afvalstromen of emissies te verminderen of te voorkomen. Op basis van de huidige kennis van risico's van schaliegaswinning, met name uit de Verenigde Staten, zijn de volgende maatregelen mogelijk om veiligheidsrisico's te minimaliseren:

- verbeteren van de samenstelling van de frac-vloeistof;
- instellen van ruimtelijke zonering in relatie tot andere gebruikers van de ondergrond (waar is schaliegaswinning toegestaan en waar niet, bijvoorbeeld in relatie tot grondwaterbeschermingsgebieden of Natura2000 gebieden) en bufferzones rondom winlocaties. Dit hangt ook in sterke mate af van de locatiespecifiek omstandigheden;
- gebruik van best beschikbare technieken bij exploitatie van schaliegas.

## **9.3. Samenstelling boorspoeling (B.3.3)**

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, radionucliden)? Hoe gaat men om met dit afval? Wat zijn de mogelijke milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst naar de volgende deelvragen:

1. wat is de samenstelling van de boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen?
2. in hoeverre wijkt deze af van de boorspoeling voor putten voor de conventionele gaswinning, geothermie en voor drinkwater?
3. wat gebeurt er met de gebruikte boorspoeling (recyclen, reinigen, etc.) en wat gebeurt er met het residu wat overblijft na recycling of reiniging?

4. wat is de mogelijke samenstelling van boorgruis uit schalielagen (onder andere zware metalen, radio-nucliden)?
5. hoe gaat men om met dit afval?
6. wat zijn de mogelijke milieueffecten van dit afval en de afvalverwerking?

### **Samenstelling boorspoeling**

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, polymeren die verlies aan vloeistof naar het gesteente tegengaan of zelfs elimineren en ander chemicaliën die nodig zijn om de eigenschappen van de boorvloeistof te optimaliseren. Als zoutlagen worden aangeboord wordt vaak gebruik gemaakt van boorspoelingen op oliebasis ('oil based mud'=OBM) om oplossing van het zout in de boorspoeling te voorkomen.

### **Verskil met conventionele winningen**

De boorspoeling voor schalie- en steenkoolgasboringen is niet anders dan voor boringen naar conventionele olie- en gasbronnen. Ook bij boringen naar conventionele olie- en gasbronnen is de samenstelling van de boorvloeistof afhankelijk van de diepte van de boring. Het verschil met boringen naar conventionele olie- en gasbronnen, is dat bij schalie- en steenkoolgasboringen naar verwachting geen hoge drukken zullen voorkomen, terwijl dit wel het geval is bij conventionele gas- en oliereservoirs.

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. De temperatuur in de ondergrond is diepteafhankelijk. Dus ook bij diepe olie-en-gas putten kunnen hoge temperaturen aan de orde zijn.

### **Verwerking boorspoeling en residu**

Boorspoeling zal hergebruikt kunnen worden als er voldoende nieuwe putten gepland zijn. Dit is vooral het geval bij het boren van exploratieputten, waarbij meerdere putten in hetzelfde gebied worden geboord. Als er niet voldoende nieuwe putten zijn gepland, dan zal de boorvloeistof als afval moeten worden opgewerkt. Het opwerken van boorgruis en boorvloeistoffen is in Nederland aan strenge milieueisen onderhevig. De waterfase moet schoon zijn om aan wettelijke normen te kunnen voldoen. Indien nodig wordt hiervoor een beperkte chemische behandeling toegepast. Oliespoeling (OBM) zal voor hergebruik geschikt moeten worden gemaakt.

Het residu zal op een aparte locatie worden opgeslagen. Indien het residu geen milieubelastende stoffen bevat, kan het worden hergebruikt als stortmateriaal. Indien het niet geschikt is als stortmateriaal zal het residu worden afgevoerd naar een afvalverwerkingsinstallatie.

### **Samenstelling boorgruis**

Schalies bestaan uit samengedrukte kleilagen die een grote sterkte vertonen. Het boorgruis zal per locatie verschillen en 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 wel in het boorgruis aanwezig zijn.

## Verwerking boorgruis

Het verzamelde boorgruis wordt zodanig behandeld (gewassen met water) dat milieubelastende ingrediënten worden verwijderd, waardoor opslag voor langere tijd mogelijk is. Opslag dient zodanig te geschieden dat invloed van regen en wind wordt vermeden om uitlozing van zware metalen tegen te gaan. 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.

## Milieueffecten afval en afvalverwerking

Uitloggen van milieubelastende stoffen uit het boorgruis is mogelijk. Het betreft dan met name zware metalen. De in het boorgruis aanwezige polymeren/bentoniet vormen na het behandelingsproces geen gevaar meer voor het milieu. Indien na 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 aanwezige polymeren kunnen tot verhoogde bacteriële activiteit leiden.

### 9.4. Samenstelling frac-vloeistof en proppants (B.3.4)

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. Wat zouden mogelijke proppants kunnen zijn? Waar komen deze proppants vandaan?

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. wat is de samenstelling van frac-vloeistof voor schalie- en steenkoolgasboringen en in hoeverre wijkt deze af van de frac-vloeistof voor putten voor de conventionele gaswinning en geothermie?
2. wat zouden mogelijke 'proppants' kunnen zijn en waar komen deze vandaan?

#### Samenstelling frac-vloeistof

De samenstelling van een frac-vloeistof voor het fraccen van schalies is in wezen niet anders dan voor conventionele frac-vloeistoffen, benodigd voor olie- en gasputten.

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

- biocide om de bacteriële werking bij gebruik van biopolymeren tegen te gaan;
- gel brekers om de actie van de polymeer, nadat de scheur is gemaakt, teniet te doen;
- kleistabiliserende chemicaliën om watergevoelige kleien te beschermen;
- chemische buffers;
- materialen om het verlies van frac-vloeistof aan het gesteente te beperken.

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.

Hoewel 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. Bijvoorbeeld door water als basisvloeistof te nemen en milieuvriendelijke, afbreekbare polymeren toe te voegen om

de nodige viscositeit (stropigheid) te verkrijgen. Aangezien de poriën van schalie over het algemeen kleiner zijn dan die van olie/gas zanden/kalksteen, is het voorkomen van verstopping van de poriën bij schaliegaswinning belangrijker. Het is dus van belang dat de gebruikte chemicaliën de poriën niet verstoppen.

Bij terugproductie van frac-vloeistoffen moet men maatregelen nemen om de grote hoeveelheden frac-vloeistof op te vangen. De grote hoeveelheden frac-vloeistof kunnen een belasting vormen voor het milieu, nog afgezien van het percentage en de aard van de chemicaliën (zie ook onderzoeksvraag B.3.6).

### **Proppants**

Er zijn verschillende soorten 'proppant' (vulmiddel) mogelijk. De keuze is met name afhankelijk van de hardheid van het materiaal en korrelgrootte verdeling. Over het algemeen wordt zand gebruikt. Zand is algemeen verkrijgbaar als materiaal. Er zijn ook andere commerciële 'proppants' beschikbaar, zoals gesinterd bauxiet, zand met een harslaagje en keramiek. Deze materialen zijn via specialistische leveranciers verkrijgbaar.

## **9.5. Natuurlijk voorkomende stoffen in schaliegas (B.3.5)**

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

In Nederland zijn de Posidonia- en Geverikschalie het belangrijkste potentieel voor winning van schaliegas. Schalie geschikt voor gaswinning is een sedimentair gesteente, hoofdzakelijk bestaande uit silt grootte korrels en een beperkt gehalte aan kleimineralen. Dit gesteente is afgezet in een marien (brak tot zout), anoxisch (zuurstofloos) milieu met stilstaand water. Het bevat over het algemeen grote hoeveelheden organisch materiaal (bitumen), kalk en pyriet (ijzersulfide).

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.

Op basis van de kwaliteit van het geproduceerde water bij het toepassen van fraccen in schaliegesteente en informatie met betrekking tot samenstelling van schaliegesteente kunnen de volgende stoffen van nature aanwezig zijn in schalielagen: ijzer, kalk, zouten, zware metalen, sporenelementen, methaan, BTEX (benzeen, toluen, ethyl benzeen en xyleen), radioactief materiaal (radium en uranium) en tal van organische en anorganische verbindingen. De gehalten kunnen sterk variëren. Deze opsomming is niet limiterend.

Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat de aanwezigheid en de concentraties van nature voorkomende stoffen sterk verschilt per locatie. Er kan daarom geen eenduidig antwoord worden gegeven op de te verwachten concentraties van nature voorkomende stoffen.

## **9.6. Samenstelling retourwater en invloed op watersysteem (B.3.6)**

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?

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. hoeveel water wordt er na een frac job teruggeproduceerd en wat is hiervan de samenstelling?
2. kunnen radioactieve stoffen in het retourwater aanwezig zijn? Zo ja, hoe wordt veiligheid gewaarborgd?
3. wat is het gevolg van die samenstelling op het watersysteem (grondwater, drinkwater) en het milieu?
4. 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?

### **Teruggeproduceerd water**

Schattingen lopen uiteen, maar gemiddeld genomen komt zo'n 15-35 % van de geïnjecteerde frac-vloeistof terug ('flowback'). De volume ervan is afhankelijk van de grootte van de frac job. Gemiddelde waarden zijn gegeven in tabel 4.1. Naarmate de tijd voortschrijdt zal er minder vloeistof worden geproduceerd. Uiteindelijk blijft ongeveer 50 % van de frac-vloeistof achter in de schalieformatie.

Het terugstromend afvalwater ('flowback water') bestaat hoofdzakelijk uit frac-vloeistof met toegevoegde chemicaliën en proppants. Daarnaast kan fraccen invloed hebben op de mobiliteit van stoffen die aanwezig zijn in de schaliegelagen. 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 hiervan wel metingen beschikbaar. De 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. Zowel in Duitsland als in de Verenigde Staten is het zoutgehalte van het 'flowback water' zeer hoog. Het hoge zoutgehalte zou door middel van verdunning op het gewenste niveau gebracht kunnen worden.

De resultaten uit het onderzoek in Duitsland en de Verenigde Staten kunnen niet zonder nader onderzoek als representatief voor de Nederlandse situatie worden beschouwd. De samenstelling hangt immers sterk af van de samenstelling van de geologische formatie waarin schaliegas wordt gewonnen.

### **Radioactieve stoffen**

Meetresultaten in Duitsland en de Verenigde Staten laten zien dat er bij de 'flowback' ondermeer het licht radioactieve Radium-226 kan vrijkomen en verschillende zware metalen en sporenelementen. Zoals bovenstaand vermeld, hangt de samenstelling van 'flowback water' sterk af van de geologische formatie waarin schaliegaswinning plaatsvindt. Aangezien geen meetgegevens beschikbaar zijn van de samenstelling ervan in Nederland, kan geen uitspraak gedaan worden over de aan- of afwezigheid van radioactieve stoffen bij schaliegaswinning in Nederland.

Bij conventionele gaswinning kunnen ook radioactieve stoffen geconcentreerd voorkomen in de aanslag op pijpen ('scaling') of in neergeslagen materiaal in bijvoorbeeld tanks ('sludge').

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



Hiervoor is een internationale richtlijn beschikbaar ('best practice protocol'), welke door de internationale gas- en olie-industrie wordt gehanteerd.

### **Gevolgen voor het watersysteem**

Het productiesysteem is in principe gescheiden van het omliggende gesteente door middel van de 'casing' die het boorgat afsluit van het omliggende gesteente. Er kan dus met een goede casing van de boorschacht tijdens het fraccen geen vermenging plaatsvinden met drinkwater/grondwater, tenzij het fracturing proces niet onder controle is en de fracture doorloopt in de drinkwaterlagen.

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.

### **Hergebruik of lozing**

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 m<sup>3</sup> wordt verbruikt en uiteindelijk na de laatste frac een volume van enkele duizenden m<sup>3</sup> vervuild water overblijft. Dit water wordt opgevangen in grote tanks waarvan er op de boorlocatie een serie staan opgesteld. Het merendeel van de opslagtanks wordt na het fraccen verwijderd. Op de locatie blijven één of twee tanks over tijdens de productie.

Het restwater zal op dezelfde wijze worden verwerkt als nu geschiedt bij vloeistoffen geproduceerd uit reguliere 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 flocculatie en 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. Lozing op oppervlaktewater is niet toegestaan.

## **9.7. Achterblijvende stoffen in diepe ondergrond (B.3.7)**

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.

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. welke stoffen blijven achter in de diepe ondergrond en in welke hoeveelheden?
2. welke effecten kunnen de achterblijvende stoffen mogelijk hebben op de lange termijn?
3. hoe gedragen deze stoffen zich bij hoge temperatuur en druk?

### **Achterblijvende stoffen**

De mijnbouwhulpstoffen die achterblijven zijn vanzelfsprekend gerelateerd aan de samenstelling van de frac-vloeistof. Deze bevat onder andere polymeren en biociden (zie ook onderzoeksvraag B.3.4). Als uitgegaan wordt dat 15-35 % van de frac-vloeistof wordt teruggeproduceerd, dan zal 65-85 % van de vloeistof in eerste instantie achterblijven. Naarmate meer gas wordt geproduceerd zal 50 % van de hulpstoffen worden teruggeproduceerd.

Deze hulpstoffen zullen aanwezig zijn in het na een frac job teruggeproduceerd water ('flowback'), samen met stoffen die natuurlijk voorkomen in het formatiewater. Op de lange-

re termijn zal er uitsluitend water worden geproduceerd waarvan de samenstelling gelijk is aan het oorspronkelijke formatiewater.

### **Effecten op lange termijn**

Het ontwerp van de hydraulische 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 zal zijn en er dus 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 oplosbaarheid van schaliegesteente in frac-vloeistof is naar verwachting klein: de oplosbaarheid van gecompacteerd klei is zeer beperkt. Dit geldt ook voor deeltjes die onder de NORM (Naturally Occuring Radioactive Materials) classificatie vallen.

De verwachting is dat door het afbraakproces het effect op lange termijn nihil zal zijn. Een proefboring zal dit kunnen bevestigen.

### **Gedrag bij hoge temperatuur en druk**

De huidige stand van zaken is dat de door frac-vloeistof geïnjecteerde polymeren doorgaans op den duur zullen verdwijnen, hetzij door afbraak onder invloed van druk en temperatuur, hetzij door terugproductie van gas.

Speciale toepassingen (voor condities van hoge druk en temperatuur) vragen om een nieuwe klasse van polymeren die stabiel is onder hoge druk en temperaturomstandigheden. Deze specifieke polymeren zijn beperkter afbreekbaar, wat het productieproces ten goede komt. Het afbraakproces zal hiermee echter langer duren, waardoor de achterblijvende fractie langer aanwezig is. De geothermische limiet van 85° C is echter niet dusdanig hoog dat speciale temperatuur stabiele polymeren gebruikt moeten worden.

## **9.8. Beleid ten aanzien van affakkelen (B.3.8)**

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)?

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

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

### **Beleid affakkelen Nederland**

Bij affakkeling worden koolwaterstoffen bewust en gecontroleerd verbrand. Zowel in de opsporingsfase als in de winningsfase kan het nodig zijn om gassen af te fakkelen.

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

### **Praktijk affakkelen elders**

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. De Verenigde Staten heeft schaliegas exploratie sterk uitgebreid. 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 Verenigde Staten 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 Verenigde Staten de ontwikkeling in de productie van gas niet bijhouden. Daarnaast wordt soms, onder druk van contractuele verplichtingen, zonder goed onderzoek overgegaan tot productie, 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 groot-schalig plaats zal vinden dan in de Verenigde Staten, aangezien in Nederland al wettelijke eisen worden gesteld aan affakkelen

## **9.9. Licht en geluidbelasting (B.3.9)**

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).

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. geef een overzicht van de geldende wet- en regelgeving in licht en (laagfrequent) geluid op en nabij een mijnbouwlocatie;
2. hoe wordt omgegaan met geluid nabij mijnbouwlocaties?
3. wat is de te verwachten geluids- en lichtbelasting (inclusief piekbelasting) tijdens de verschillende fasen ontwikkeling?

De beantwoording van deze vragen richt zich op de Nederlandse wetgeving. Bij de beantwoording van deze vragen is ervan uitgegaan dat het mijnbouwwerk op land is gelegen in een niet gevoelig gebied.

### **Overzicht geldende wet- en regelgeving**

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 een boorlocatie (voor opsporing van koolwaterstoffen) en ten gevolge van een productielocatie (voor winning van koolwaterstoffen).

Een omgevingsvergunning op basis van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) is voor de oprichting en het in werking hebben van een boorlocatie niet vereist en voor een productielocatie wel. 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. Daarnaast zijn op het gebruik van de productielocatie de voorschriften zoals opgenomen in de omgevingsvergunning milieu (Wabomilieuvergunning) 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 wetgeving<sup>1</sup>.

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 Wabomilieuvergunning kunnen voorschriften op maat worden opgenomen ter voorkoming van lichthinder en ook geluidhinder.

Naast de voorschriften uit het Barmm en de Wabo-milieuvergunning geldt voor de uitvoerder de algemene zorgplicht bepaling van artikel 2.1 van het Activiteitenbesluit om licht- en geluidsoverlast te voorkomen. Genoemd artikel beschrijft dat 'het voorkomen dan wel voor zover dit niet mogelijk is het tot een aanvaardbaar niveau beperken van geluidhinder respectievelijk lichthinder' een onder de zorgplicht voor het milieu vallende plicht van de uitvoerder is.

### **Geluid nabij mijnbouwlocaties**

Om te waarborgen dat de geluidsbelasting nabij een mijnbouwlocatie aan de door bevoegd gezag opgelegde geluidseisen voldoet, is een geluidsstudie (akoestisch onderzoek) nodig. In het Barmm worden eisen gesteld aan wanneer een geluidsstudie noodzakelijk is. Uit de studie volgt of er mogelijk sprake is van hinder en welke 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 olie en gas is geluid vrijwel altijd een milieuaspect wat aandacht verdient. 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. Ook het affakkelen van gas kan tot geluidshinder leiden.

Als uit de geluidsstudie blijkt dat sprake is van (mogelijk optredende) hinder, dan zijn verschillende mitigerende maatregelen mogelijk om geluidshinder te voorkomen. Gedacht kan worden aan: het hanteren van een minimale afstand tussen de mijnbouwlocatie en geluidsgevoelige ontvangers, het plaatsen van geluidsschermen, geluidsdempers toepassen en geluidsisolatie door machinebehuizing.

### **Te verwachten geluids- en lichtbelasting**

Verschillende al uitgevoerde geluidsonderzoeken aan mijnbouwlocaties zijn voor het beantwoorden van deze vraag geraadpleegd. Hieruit is een beeld ontstaan van te verwachten geluidsbelasting nabij een mijnbouwlocatie. Op kleine afstand (circa 50-60 m) van een

---

<sup>1</sup> Zie antwoord op vraag A.1.1 voor een overzicht van deze wetgeving.

mijnbouwlocaties ten behoeve van de opsporing en/of productie van schaliegas kunnen verschillende activiteiten leiden tot geluidsniveaus die oplopen tot 70-80 dBA. Piekbelastingen op zeer nabije afstand van de bron (op de mijnbouwlocatie zelf) nemen mogelijk toe tot meer dan 100 dBA. Tot welke geluidsbelasting dit leidt nabij een geluidsgevoelige locatie hangt vooral 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.

De geluidsniveaus kunnen worden gereduceerd door de geluidsmitigerende maatregelen te treffen. Afhankelijk van het ontwerp en de toepassing kunnen deze zeer effectief zijn.

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. Hierover kan daarom geen uitspraak worden gedaan.



## 10. MECHANISCHE EFFECTEN AAN HET OPPERVLAK (B.4)

De vragen in deel B.4 zijn erop gericht om te onderzoeken welke mechanische effecten kunnen optreden als gevolg van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas. De vragen in deel B.4 zijn onderverdeeld in drie thema's:

- onderzoeksvragen met betrekking tot wet- en regelgeving, monitoring en toezicht (B.4.1 tot en met B.4.3);
- onderzoeksvragen over aardbevingen (B.4.4 tot en met B.4.11);
- onderzoeksvragen over bodemdaling (B.4.12 tot en met B.4.14).

De vragen uit deel B.4 over wet- en regelgeving zijn beantwoord aan de hand van de Mijnbouwwetgeving (in het bijzonder Hoofdstuk 4 en paragraaf 6.2 van de Mijnbouwwet en de artikelen 24 en 29 van het Mijnbouwbesluit, de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht ('Wabo') en het Burgerlijk Wetboek artikel 6: 177.

In de onderzoeksvragen van deel B.4. is veelal sprake van de term 'bodembewegingen'. Het betreft bodembewegingen door mijnbouwactiviteiten. Deze kunnen zich in twee vormen voordoen:

- grootschalige bodemdaling, die zich boven het gebied vanwaar delfstoffen (bijvoorbeeld zout of aardgas) worden gewonnen na verloop van lange tijd vertoont in de vorm van een komvormige gelijkmatig verlopende bodemdalingskom;
- lokaal optredende (geïnduceerde) aardbevingen veroorzaakt door aardgaswinning. Deze aardbevingen kunnen leiden tot schade aan gebouwen en infrastructuur.

Bodemdaling door inklinking in veengebieden of door globale isostatische beweging wordt bij de beantwoording van de onderzoeksvragen B.4. niet meegenomen.

### 10.1. Wet- en regelgeving bodembeweging (B.4.1)

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.

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. welke eisen/vergunningvoorschriften stelt de Mijnbouwwetgeving met het oog op bodembeweging?
2. hoe is verhaal van schade als gevolg van bodembeweging geregeld?

De beantwoording van onderzoeksvraag B.4.1 richt zich op de juridische aspecten. De vragen over risico's op bodembeweging en de aanvaardbaarheid van deze risico's zijn niet van juridische, maar van technische aard. Voor de beantwoording van de meer technische vragen wordt verwezen naar onderzoeksvragen B.4.5 tot en met B.4.14.

#### **Bodembeweging in Mijnbouwwet en vergunningvoorschriften**

De Mijnbouwwet verplicht de mijnbouwonderneming om de werkzaamheden zo uit te voeren dat eventueel optredende bodembeweging geen schade toebrengt aan het milieu, aan de veiligheid of het planmatig beheer van de delfstoffen. Een hulpmiddel om dit te toetsen is het door de mijnbouwonderneming in te dienen winningsplan. Dit plan geeft een prognose van het gehele winningproces, waaronder ook de te verwachten bodembeweging en de maatregelen ter voorkoming van schade als gevolg van bodembeweging. Het risico van

aardbevingen door winning van delfstoffen is een integraal onderdeel van het winningsplan. De zogenaamde seismisch risico analyse (SRA) is verplicht gesteld in de Mijnbouwwet. De Mijnbouwwet heeft geen vergelijkbare plicht voor aardbevingen die door fraccen zouden kunnen worden opgewekt. Omdat fraccen een onderdeel is van winning van delfstoffen (koolwaterstoffen) zit dit als het ware opgesloten in de al gebruikelijke SRA.

De beschrijving door de mijnbouwonderneming van de bodembeweging alsmede de maatregelen ter voorkoming van schade, worden op onafhankelijke wijze getoetst door de Technische commissie bodembeweging (Tcbb). Om mogelijke bodembeweging te kunnen vaststellen, verplicht de Mijnbouwwet de mijnbouwonderneming om metingen naar bodembeweging uit te voeren. De eerste meting moet worden uitgevoerd voor aanvang van de winning en de laatste 30 jaar na beëindiging van de winning. Het Mijnbouwbesluit geeft aan dat voor iedere productielocatie een meetplan wordt ingediend bij de Minister van Economische Zaken.

Een ander hulpmiddel waarmee een inschatting kan worden gevraagd van de kans op aardbevingen door fraccen, is het werkprogramma. Voor de aanleg en het onderhoud van alle boorgaten (inclusief fraccen) moet op grond van het Mijnbouwbesluit een werkprogramma worden gemaakt. In het Mijnbouwbesluit is tevens bepaald dat bij het aanleggen en onderhouden van een boorgat maatregelen worden genomen ter voorkoming van schade. Schade tengevolge van bodembeweging (bodemdaling en aardbevingen) valt onder deze regeling.

#### *Vergunningvoorschriften*

Bodembeweging kan optreden als gevolg van een frac-operatie bij de opsporing of de winning van koolwaterstoffen. Als de frac-operatie op een mijnbouwwerk wordt uitgevoerd voor de opsporing van koolwaterstoffen is het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm) van toepassing en is geen Wabo-milieuvergunning nodig. In dit besluit zijn geen voorschriften met het oog op bodembeweging opgenomen. Als het mijnbouwwerk voor opsporing van koolwaterstoffen is geplaatst in gevoelig gebied is het Barmm niet van toepassing en is een Wabo-milieuvergunning vereist. Voor een mijnbouwwerk bestemd voor de winning van koolwaterstoffen is altijd een Wabo-milieuvergunning vereist, ongeacht of het werk zich in en gevoelig of ongevoelig gebied bevindt.

Het soort voorschriften dat aan een Wabo-milieu-vergunning kan worden verbonden staat in paragraaf 5.2.1 van het Besluit omgevingsrecht. Het is niet duidelijk of het mogelijk is om aan een Wabo-milieuvergunning voorschriften te verbinden gericht op het voorkomen/beperken van bodembeweging als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.

#### **Verhaal van schade als gevolg van bodembeweging**

De wetgever heeft bij de regelgeving voor mijnbouwactiviteiten aandacht besteed aan bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten en de eventueel optredende schade. In de Mijnbouwwet is de positie van de Tcbb als onafhankelijke toetser stevig neergelegd. De hoofdreden is de bescherming van bewoners van een gebied waar schade aan woningen kan ontstaan als gevolg van bodembeweging door mijnbouwactiviteiten. 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. De mijnbouwondernemingen hebben getoond zich aan het advies van de Tcbb te houden.

De aansprakelijkheid voor schade als gevolg van de opsporing en winning van delfstoffen is tevens vastgelegd 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.

## 10.2. Monitoringstechnieken bodembeweging (B.4.2)

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

Voor bodembewegingen door gaswinning wordt door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) onderscheid gemaakt in twee vormen: (grootschalige) bodemdaling en geïnduceerde aardbevingen. Bij de beantwoording van de onderzoeksvraag wordt ingegaan op beide vormen. Hiertoe is de onderzoeksvraag opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om grootschalige bodemdaling te monitoren;
2. hoe is de verantwoordelijkheid voor de monitoring van grootschalige bodemdaling geregeld en wordt de monitoring 'real-time' uitgevoerd?
3. geef inzicht in de monitoringstechnieken die voorhanden zijn om aardbevingen te monitoren;
4. hoe is de verantwoordelijkheid voor de monitoring van aardbevingen geregeld en wordt de monitoring 'realtime' uitgevoerd?

### **Monitoring van bodemdaling**

Bodemdaling door mijnbouw in Nederland is op dit moment vooral relevant in verband met de winning van aardgas. 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. Deze compactie is een volumevermindering in de ondergrond, die resulteert in een bodemdaling aan het oppervlak.

#### *Monitoringstechnieken bodemdaling*

Het monitoren van bodemdaling wordt op drie manieren gedaan. Ten eerste kunnen metingen aan of boven het maaiveld worden uitgevoerd. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen geodetische methoden (waterpassen, GPS), geofysische methoden (gravimetrie) en 'remote sensing' methoden (radar interferometrie, laserhoogtemetingen). Ten tweede kan men meten onder het maaiveld. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen boorgatmetingen (radioactieve markers, akoestisch metingen, glasvezeltechniek) en geofysisch (seismisch) onderzoek. Ten derde kunnen metingen aan het maaiveld en in een boorgat plaatsvinden met tiltmeters.

Waterpassen is de tot nu toe meest gebruikelijke en nauwkeurige manier van monitoren. De meetfrequentie is echter vrij laag (elke vijf jaar wordt een grote meetserie gemaakt). Radar interferometrie, met gebruik van zogenaamde 'permanent scatterers', is een veelbelovende nieuwe techniek die goed als aanvulling kan dienen voor de gebruikelijke manier van monitoren.

Om inzicht te krijgen in het compactiegedrag van het gasreservoir zijn ook metingen onder het maaiveld nodig. Dit is vooral van belang voor het onderscheid tussen bodemdaling door

winning en door autonome daling (bijvoorbeeld inklinking). Vervolgens kan hiermee het reservoirgedrag worden bepaald en daarmee toekomstige bodemdaling worden voorspeld.

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.

#### *Verantwoordelijkheid voor monitoring bodemdaling*

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

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 de huidige stand der techniek wel mogelijk.

### **Monitoring van aardbevingen**

Aardbevingen komen in Nederland in twee vormen voor:

- tectonische aardbevingen: van nature voorkomende aardbevingen, voornamelijk in Limburg, gerelateerd aan bewegingen langs de Peelrandbreuk;
- geïnduceerde aardbevingen: aardbevingen die door aardgaswining 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 bodemdaling. In achtergrondnotities B.4.7 tot B.4.11 wordt nader op het onderwerp aardbevingen ingegaan.

#### *Monitoringstechnieken aardbevingen*

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

- 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. De seismometer voor de verticale beweging bestaat uit een gewicht dat aan een veer is opgehangen. De meter voor de horizontale is een slinger. Een seismometer wordt gebruikt voor het meten van zeer kleine bewegingen en lage frequenties;
- versnellingsmeter: trillingen aan het aardoppervlak of in gebouwen kunnen worden gemeten met versnellingsmeters. 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 versnelling ten opzichte van de zwaartekracht (in  $g$ 's<sup>1</sup> of  $m/s^2$ ), voornamelijk bij hogere frequenties;
- geofoons: 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 (elektriciteit) nodig hebben.

---

<sup>1</sup> 1 g = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

### *Verantwoordelijkheid voor monitoring aardbevingen*

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) is verantwoordelijk voor het monitoren van tectonische seismische activiteit in Nederland. Het KNMI voert seismische metingen uit, beheert verschillende seismische netwerken en voert bovendien seismisch risico analyse (SRA) uit.

De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het monitoren van geïnduceerde seismische activiteit. In Nederlands voert het KNMI in opdracht van de mijnbouwonderneming de meeste van de monitoring activiteiten uit. Het netwerk in het noordelijk deel van Nederland momenteel uit 17 boorgatstations en 23 versnellingsmeters. De Nederlandse Aardolie Maatschappij is in samenwerking met KNMI begin 2012 gestart met de uitbreiding van het seismische meetnet van het Groningen veld.

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 'real-time' door naar het KNMI in De Bilt. De 'near real-time' gegevens worden eerst lokaal opgeslagen na een 'event', waarna de gegevens via een telefoonverbinding worden doorgestuurd.

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

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

De toezichthoudende taak van SodM wordt benaderd vanuit het wetgevingsperspectief, vooral het kader van de Mijnbouwwet en de invulling van de wettelijke toezichttaak in het meerjarenplan 'Strategie & Programma 2012-2016' van SodM.

Het antwoord gaat via deelvragen in op het toezicht met betrekking tot de veiligheid voor de mens, natuur en milieu. Voor de beantwoording is de onderzoeksvraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. hoe houdt SodM toezicht op risico's voor de mens, daar waar het de werknemers betreft die op de mijnbouwlocatie werkzaam zijn (arbeidsomstandigheden)?
2. hoe houdt SodM toezicht op het optreden van bodembeweging (bodemdaling en aardbevingen) als gevolg van de winning van koolwaterstoffen en eventuele schade als gevolg van deze bodembeweging?
3. hoe houdt SodM toezicht op milieuverontreiniging die kan optreden als gevolg van de mijnbouwactiviteiten?

Voor deelvraag 2 is er een relatie met de beantwoording van onderzoeksvraag B.4.1 (toelichting wettelijk kader bodembeweging) en onderzoeksvraag B.4.2 (verantwoordelijkheid monitoring).

#### **Toezicht op veiligheid voor de mens**

In het kader van de Arbowet is een Risico-Inventarisatie en Evaluatie (RI&E) vereist voor alle werkzaamheden. Voor de delfstofwinning is de RI&E te vinden in het Veiligheids- & Gezondheidsdocument (V&G-document). Deze RI&E is in eerste instantie gericht op de gezondheids- en veiligheidsrisico's voor de werknemers. Volgens het Mijnbouwbesluit moet het V&G-document mede betrekking hebben op externe veiligheid, dat wil zeggen risico's voor de mens buiten de mijnbouwlocatie.

SodM hanteert bij het uitvoeren van het toezicht op veiligheid voor de mens het zogeheten 'Bow Tie model'. Hiermee worden op systematische wijze de gevaren op ongewenste ge-

beurtenissen bepaald, alsmede de barrières die een ongewenste gebeurtenis moeten verhinderen. In dit model is tevens aangegeven welke gevolgen voortvloeien uit een ongewenste gebeurtenis en welke maatregelen nodig zijn ter voorkoming van de mogelijk gevolgen.

### **Toezicht op bodembeweging**

Het toezicht op bodembeweging spitst zich toe op de seismische risicoanalyse (SRA) die van het betreffende gebied in het winningsplan is opgenomen. Het winningsplan besteedt onder meer aandacht aan bodembeweging aspecten en de hieraan verbonden risico's. In de winningfase is nauwkeurig toetsen aan het winningsplan voor SodM een van de instrumenten voor het houden van toezicht op een goed verloop van de operatie.

In het werkprogramma dat verplicht is op grond van het Mijnbouwbesluit gaat de mijnbouwonderneming in op de wijze van uitvoering van de boorwerkzaamheden. Het werkprogramma beschrijft hoe een individuele boring wordt 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 kritisch toetst aan de wettelijke normen en aan de normen die de industrie gebruikelijk hanteert.

Een ander instrument om vast te stellen of bodemdaling optreedt, is het meetplan, dat voor het begin van de winning moet worden ingediend. In het meetplan wordt een meetstrategie gepresenteerd, die rekening houdt met te verwachten geologische gevolgen van boren en/of winnen. Het Mijnbouwbesluit schrijft voor dat de eerste meting voor aanvang van de winning moet worden uitgevoerd en de laatste 30 jaar na beëindiging van de winning. SodM kijkt mee naar de resultaten van de metingen en kan op grond hiervan toezicht houden op de gevolgen van de winning van koolwaterstoffen.

### **Toezicht op milieuverontreiniging**

Milieuverontreiniging bij mijnbouwactiviteiten kan ontstaan door het ongewenst uittreden van mijnbouwhulpstoffen. De Mijnbouwwet en de voorschriften uit het Barmm en de Wabo beogen het milieu te beschermen.

De bovenbeschreven vormen van milieuverontreiniging kunnen ook optreden bij conventionele gaswinning en zijn dus niet specifiek voor schaliegaswinning. SodM zal toezicht uitoefenen zoals gebruikelijk bij conventionele winning.

Het fraccen van formaties is niet nieuw in Nederland: ongeveer 170 keer is fraccen toegepast bij conventionele winning. Wel nieuw is het fraccen van schalielagen. Hiermee hebben SodM en de mijnbouwondernemingen in Nederland nog geen ervaring opgedaan. Vanwege het risico van uitlopen van fracs naar de bovengrond (het breken van de afsluitende lagen) richt SodM haar aandacht in het bijzonder op de goede cementatie van de put en in geologische rapportage over de bovengelegen formaties en de afsluitende lagen.

Deze geologische rapportage vormt een bestanddeel van het werkprogramma dat, zowel in de opsporings- als de winningfase, vereist is voor de aanleg van een boorgat. De branchevereniging NOGEPA heeft in het regulier overleg met SodM toegezegd hiervoor bij haar leden een specifiek fracprogramma aan te bevelen. Mogelijk stelt de NOGEPA richtlijnen op die gelden voor alle frac-operaties.

## 10.4. Representativiteit Bowland case voor Nederland (B.4.4)

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.

De context van de vraag is de seismische activiteit die is waargenomen tijdens fraccen in de Bowland Shale (Lancashire, Groot-Brittannië). Cuadrilla Resources Ltd. heeft in 2011 een analyse gepubliceerd over deze seismische activiteiten. In het rapport wordt een oorzakelijk verband gelegd tussen het fraccen en de seismische activiteit. Daarnaast noemt het rapport ook dat er sprake is van een uitzonderlijke combinatie van geologische omstandigheden.

De beantwoording van de vraag 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.

Deze onderzoeksvraag is opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. wat zijn de waargenomen seismische effecten bij de Bowland Shale?
2. wat zijn de specifieke geologische omstandigheden waarover wordt gesproken en hoe hebben deze geleid tot seismische activiteit tijdens fraccen?
3. zijn dergelijke geologische omstandigheden ook in Nederland aanwezig?

### **Waargenomen seismische effecten bij de Bowland Shale**

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

Gedurende de periode dat de Preese Hall put actief was, zijn twee grotere seismische activiteiten (aardbevingen) waargenomen. De eerste aardbeving vond plaats op 1 april 2011 en had een kracht van  $M_L$  2,3. Een tweede aardbeving vond plaats op 27 mei 2011 en had een kracht van  $M_L$  1,5. Daarnaast zijn 48 kleinere aardbevingen gemeten.

### **Specifieke geologische omstandigheden en relatie met seismische activiteit**

Ervaringen uit de Verenigde Staten laten zien dat seismische activiteit bij hydraulische stimulatie normaliter vele malen kleiner is dan is waargenomen bij de Preese Hall put. Zelfs in de zeldzame gevallen dat er vloeistof in breuken stroomt, was de maximaal waargenomen seismische activiteit  $M_L$  0,8. Dit is een duidelijke indicatie dat de Bowland Shale een specifieke geologische situatie kent.

Er is een breuklijn aanwezig in de Bowland Shale in de nabijheid van de Preese Hall put. Deze breuk kent een strike-slip mechanisme<sup>1</sup>, is noordoost-zuidwest georiënteerd, waarbij deze onder een hoek van 60 graden naar het westen staat.

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 al aanwezige horizontale spanning in de breuk en het ge-

---

<sup>1</sup> Een strike-slip breuk is een breuk waar de twee zijden horizontaal langs elkaar schuiven.

steente was vele mate groter dan normaal wordt gemeten in schaliegesteenten, wat de mogelijkheid op seismische activiteit sterk heeft vergroot in dit geval.

### **Vergelijking met geologische omstandigheden in Nederland**

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.

De analyse leert dat de Posidonia Formatie sterk verschilt met de omstandigheden die zijn aangetroffen bij de Bowland Shale. Het materiaal kent andere eigenschappen die de toestroom van vloeistof naar breuken onwaarschijnlijk maakt. Wel zijn er breuken aanwezig binnen de Posidonia Formatie. Met het goed in beeld brengen van deze breuken, kunnen putlocaties zodanig worden gekozen dat er geen beïnvloeding van deze breuken kan plaatsvinden.

Het laagpakket Geverik behoort tot dezelfde formatie als waar de Bowland Shale toe behoort. 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 Shale. In het laagpakket van Geverik zijn enkele breuken bekend. Of er spanning staat op de betreffende breuklijnen en of er tussen de breuken voldoende ruimte is voor realisatie van putten vergt nader onderzoek.

## **10.5. Bodembewegingen als gevolg van fraccen (B.4.5)**

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

Deze onderzoeksvraag is opgesplitst in twee deelvragen:

1. maak een onderbouwde schatting van de bodemdaling ten gevolge van het fraccen in een voor Nederland representatieve situatie;
2. maak een onderbouwde schatting van de aardbevingen ten gevolge van het fraccen.

### **Onderbouwde schatting van de bodemdaling ten gevolge van het fraccen**

Deze vraag wordt bij onderzoeksvraag B.4.12 beantwoord en wel in een bredere context, namelijk bodemdaling als gevolg van schaliegaswinning in het algemeen (en daarmee dus ook het fracking proces).

### **Schatting van de aardbevingen ten gevolge van het fraccen**

De analyse vereist voor de beantwoording van deze vraag kan op twee manier gedaan worden. Enerzijds een analyse van de relatie tussen al uitgevoerde frac jobs in Nederland en trillingen in Nederland. Deze analyse wordt bij onderzoeksvraag B.4.6 behandeld. Anderzijds een analyse van het optreden van geïnduceerde aardbevingen door schaliegaswinning gebaseerd op ervaringen uit het buitenland (Verenigde Staten en Verenigd Koninkrijk). Deze analyse wordt bij onderzoeksvraag B.4.7 behandeld.

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

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.

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 seismiciteit 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) seismiciteit.

Elke frac job genereert, door het creëren van scheuren in het gesteente, een groot aantal micro aardbevingen (Engels: 'micro-tremors'). Deze treden meteen op, 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 aardbevingen ( $M_L > 1$ ) die mogelijk met een vertraging en op zekere afstand van de put kunnen plaatsvinden.

Met een 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.

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 één 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.

Dit 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 een groter gesteentevolume dat wordt gefract. Bovendien is bepalend of er (in een seismisch actief gebied) in de nabijheid van actieve breuken wordt gefract. Dit vereist nader locatiespecifiek onderzoek zoals ook is aangegeven in achtergrondnotitie B.4.7.

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

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 bebouwing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

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

1. geef aan wat de maximale kracht is van een geïnduceerde aardbeving in Nederland;
2. geef aan of frac-activiteiten een dergelijke (geïnduceerde) aardbeving kan veroorzaken;
3. ga na welke mogelijke (door geïnduceerde aardbevingen veroorzaakte) schade aan het oppervlak kan worden verwacht;
4. ga na wat de impact is van deze seismische activiteit op de bebuizing van een boorgang, waterkeringen, andere trilling gevoelige functies en (diepe) funderingen.

### **Maximale kracht van een geïnduceerde aardbeving in Nederland**

De hoogst gemeten magnitude door geïnduceerde seismische activiteit in Nederland is  $M_L$  3,5. 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.

### **Geïnduceerde aardbevingen door frac-activiteiten**

De door fraccen 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. Deze laatste twee hadden te maken met de reactivatie van bestaande actieve breuken. De maximaal te verwachten magnitude van geïnduceerde aardbevingen door fraccen wordt geschat op  $M_L$  3,0. Dit is puur op basis van ervaringsgegevens uit het buitenland bepaald.

Gebaseerd op voorbeelden uit de literatuur, kan worden geconcludeerd dat de seismische bewegingen veroorzaakt door fraccen kleiner zullen zijn dan de geïnduceerde bevingen die tot nog toe in Nederland zijn gemeten door conventionele gaswinning ( $M_L$  3,5). Niettemin wordt opgemerkt dat de verwachte magnitude afhankelijk is van verschillende locatiespecifieke eigenschappen (zoals breuken, poriedruk, spanning, verhouding en volume van vloeistoffen) en daarmee lastig te voorspellen is. Bovendien is het mechanisme dat leidt tot aardbevingen bij fraccen geheel anders dan het mechanisme dat leidt tot aardbevingen door de gaswinning in Groningen. Hiermee zijn beiden niet goed te vergelijken.

### **Schade aan het oppervlak door geïnduceerde aardbevingen**

De mogelijke schade aan het oppervlak is een functie van locatiespecifieke omstandigheden (zoals grondgesteldheid en afstand tot de aardbeving) en de kwaliteit van het gebouw of constructie, waardoor geen algemeen antwoord mogelijk is. Er is onderzoek noodzakelijk op het schaalniveau van de winlocatie om mogelijke schade te kunnen inschatten. 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 door conventionele gaswinning.

### **Impact van de seismische activiteit op constructies**

De door fraccen geïnduceerde bevingen zullen waarschijnlijk geen structurele schade aan gebouwen en constructies veroorzaken. Als beweging langs een actieve (op spanning staande) breuk wordt geïnduceerd, dan is schade wel mogelijk. Bebuizing van een boorgang kan onder speciale condities vervormen. Door goede voorbereiding, monitoring en het volgen van de normen en richtlijnen kan voorkomen worden dat de boorgatintegriteit in het geding raakt en zal schade aan constructies en gebouwen niet optreden.



## 10.8. Gevolgen van aardbevingen voor trillingsgevoelige gebouwen (B.4.8)

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?

De onderzoeksvraag is onderverdeeld in de volgende deelvragen:

1. geef aan wat de mogelijke implicaties zijn voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten ingeval zich een aardbeving voordoet;
2. ga na wat de minimum afstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie zou moeten zijn;
3. ga na of wettelijke kaders nodig zijn om conflicten te voorkomen tussen dergelijke bebouwing of objecten en mijnbouwactiviteiten. Zo ja, zijn deze voldoende voorhanden?

Bij de beantwoording van vraag 1 wordt ingegaan op de implicaties als direct gevolg van de optredende aardbevingen (bodembeweging). Voor mogelijke implicaties als gevolg van indirecte effecten, waaronder bodemdaling, wordt verwezen naar de beantwoording van de onderzoeksvragen B.4.12 tot en met B.4.14.

### **Mogelijke implicaties voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten**

De gevolgen voor trillingsgevoelige bebouwing of objecten in geval zich een aardbeving voordoet kunnen bestaan uit schade aan bebouwing of 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 kan deze blootstaan aan trillingsbelasting door het optreden van een aardbeving als gevolg van frac-activiteiten. Dit kan leiden tot een mogelijke storing of schade aan apparatuur, met directe of indirecte kostenschade tot gevolg.

### **Minimumafstand van een boorlocatie tot een trillingsgevoelige locatie**

Om schade aan bebouwing en storing en/of schade aan apparatuur te voorkomen kan een minimum benodigde afstand tot de boorlocatie worden bepaald.

In het verleden is ten behoeve van schadebepaling als gevolg van mijnbouwactiviteiten in Nederland (aardgaswinning) door onder andere TNO, Deltares en KNMI onderzoek gedaan. 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 een te pessimistisch beeld te geven.

Voor aardbevingen als gevolg van frac-activiteiten in Nederland is de maximaal verwachte magnitude op basis van empirisch onderzoek bepaald (zie de beantwoording van onderzoeksvraag B.4.7 in paragraaf 10.7). Hieruit volgt dat de maximale magnitude als gevolg van frac-activiteiten niet meer dan 1,0 bedraagt. Dit is normaal gesproken niet voelbaar. De maximale magnitude door het reacteren van breuken bedraagt 3,0 op de schaal van

Richter ( $M_L$  3.0). Dit kan wel schade opleveren, maar door het vermijden van actieve breuken kan dit voorkomen worden.

#### *Minimumafstand om schade aan gebouwen te voorkomen*

Voor een magnitude van  $M_L$  3,0 geldt een minimale afstand van circa 5 km voor schadegevoelige bebouwing. Buiten de 5 km-contour is de kans op schade kleiner dan 1 %. Deze afstand dient ter indicatie. De minimum benodigde afstand dient uiteindelijk locatiespecifiek te worden bepaald. Hiertoe is ook nader toegesneden onderzoek naar de verwachte kans op schade als gevolg van frac-activiteiten nodig.

#### *Minimumafstand om schade aan trillingsgevoelige apparatuur te voorkomen*

Een minimumafstand ter voorkoming van storing of schade aan trillingsgevoelige apparatuur hangt samen met de toelaatbare trillingsbelasting. Deze kan per boorlocatie sterk variëren, afhankelijk van in de nabije omgeving aanwezige trillingsgevoelige apparatuur. Per boorlocatie is het aan te bevelen binnen een zone rondom de boorlocatie te inventariseren welke mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is. Het definiëren van een minimumafstand 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.

### **Wettelijk kader om conflicten tussen trillingsgevoelige bebouwing en mijnbouwactiviteiten te voorkomen**

De Mijnbouwwet schrijft voor 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 schade te voorkomen of te beperken. Dit is een statistische bepaling.

Het voorspellen van te verwachten schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen (door frac-activiteiten) blijkt 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 wettelijk kader van de Mijnbouwwet nadere invulling verdient voor gevolgen van schaliegas- en steenkoolgaswinning, dient nader onderzoek te worden uitgevoerd. Vooralsnog lijkt de kans op schade als gevolg van frac-activiteiten beperkt gezien de mogelijk (empirisch bepaalde) maximaal te verwachten aardbevingsbelasting (zie beantwoording onderzoeksvraag B.4.7, paragraaf 10.7).

Met het oog op mogelijke schade aan apparatuur in de nabije omgeving van een boorlocatie lijkt het verstandig vooraf in de omgevingsvergunning (Wabo-vergunning) een inventarisatie voor te schrijven van mogelijk trillingsgevoelige bebouwing. Per locatie dient de trillingsgevoeligheid van de aanwezige apparatuur te worden geïnventariseerd. Dit is voor de aanvrager een zeer intensieve opgave. Een alternatief is het gebruik van het stoplicht systeem of het hand-aan-de-kraan-principe, dat ook in het Verenigd Koninkrijk is gebruikt (zie B.4.9, paragraaf 10.9)

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

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 (bijvoorbeeld welke afstand tot breuklijn moet in acht worden genomen).

Voor de beantwoording zijn bovenstaande vragen vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. wat is het risico van aardbevingen op de integriteit van een boorgat met betrekking tot de beuizing en de boorgat cementatie?
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 natuurlijke 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?

### **Risico van aardbevingen op gaswinning**

Aardbevingen, zowel natuurlijke als geïnduceerde, kunnen resulteren in vervormingen in de ondergrond. Deze vervormingen kunnen leiden tot schade aan de beuizing (zie ook onderzoeksvraag B.4.7) en cementatie in de annulaire ruimte van een gasput. Dit zou vervolgens kunnen resulteren in lekkage naar het omringende gesteente. Dit heeft ook een economisch risico, namelijk verlies van productie uit de put. De grootste vervormingen zijn te verwachten door het verschuiven van breukvlakken. Minder grote vervorming zijn te verwachten door de langskomende aardbevingsgolf. Het risico op schade en lekkage wordt klein geacht. Grote breuken zijn in dit geval gevaarlijker dan kleine, maar deze zijn op seismische profielen beter te herkennen dan kleine breuken.

### **Voorkomen van risico's van aardbevingen op gaswinning**

Omdat er weinig bekend is over de effecten van aardbevingen op de boorgatstabiliteit is het niet mogelijk om maatregelen voor te schrijven om de beschreven risico's te voorkomen. De volgende maatregelen kunnen wel genomen worden om het risico op lekkage en verlies van productie te minimaliseren:

- door het correct volgen van de richtlijnen voor het maken en afwerken van een boorgat, wordt de kans op schade door slecht uitgevoerde installatie geminimaliseerd;
- door het monitoren van boorgatgegevens kunnen afwijkingen na het optreden van bevingen geconstateerd worden, en kunnen aanvullende controles worden uitgevoerd;
- door het achteraf doormeten van een boorgat kan gecontroleerd worden op mogelijke lekkages en vervormingen. Indien nodig kunnen herstelmaatregelen voorgesteld worden.

### **Risico van aanboren natuurlijke breuk**

Het aanboren van een natuurlijke breuk 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 voor toekomstige verschuivingen, omdat deze in een recent geologisch verleden al eerder zijn verschoven en nog onder (tectonische) spanning staan.

### **Maatregelen om risico's aanboren breuk te reduceren**

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 locatiespecifiek onderzoek uit te voeren en tijdens het fraccen een monitoringsprogramma uit te voeren. Het locatiespecifiek 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 ook wel het stoplicht systeem genoemd.

#### 10.10. Relatie tussen bodemtypen en aardbevingen (B.4.10)

Geef aan hoe verschillende bodemtypen reageren op trillingen.

Bij de beantwoording van deze vraag is uitgegaan van de volgende afbakening:

- onder trillingen wordt verstaan: trillingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen. De trillingsbron bevindt zich (bij geïnduceerde aardbevingen als gevolg van fracking-activiteiten) op 3 tot 4 km onder het maaiveld;
- trillingen veroorzaakt door trillingsbronnen aan het aardoppervlak (zoals treinpassages, wegverkeer, heiwerkzaamheden) zijn niet meegenomen bij de beantwoording van deze vraag;
- met bodemtypen wordt bedoeld: de bovenste 20 tot 30 m van de ondergrond.

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 (ook wel 'site response' genoemd). De belangrijkste parameters zijn:

- de schuifgolfsnelheden (de snelheid waarmee schuifgolven zich door de ondergrond bewegen) 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.

Over het algemeen geldt dat hoe hoger de schuifgolfsnelheid in de grondlagen, hoe minder de grond reageert op een beving. 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 schuifgolfsnelheid hangt tevens af van de diepte (diepere afzettingen hebben een hogere grondspanning en daardoor een hogere schuifgolfsnelheid) en van de verzadigingsgraad (de schuifgolfsnelheid neemt af bij toenemende verzadigingsgraad).

Het meest kenmerkend voor de opbouw in Nederland is op welke diepte de Pleistocene grondlagen aanwezig zijn. Dit kan variëren van geheel aan het oppervlak tot circa 20 m onder het aardoppervlak:

- de bodemopbouw in met name het westen van Nederland kent relatief slappe Holoceene 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.

De bodemopbouw in Nederland kent een grote variatie. Op een specifieke locatie kan de bodemopbouw sterk afwijken van de opbouw enkele honderden meters verderop. Dit kan dan ook een sterke afwijking geven in 'site response'.

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

Geef aan wat het risico is bij eventuele herinjectie van productiewater.

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 bij onderzoeksvraag B.3.6. Bij de beantwoording wordt niet ingegaan op de wet- en regelgeving met betrekking tot herinjectie van productiewater. Er wordt voornamelijk geput uit ervaringen uit de Verenigde Staten.

Er bestaat een gevaar op het optreden van geïnduceerde aardbevingen door de herinjectie van productiewater. In de Verenigde Staten 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.

Verschillende van de gerapporteerde gevallen laten 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 onderzoeksvragen 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 de Verenigde Staten 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.

Voor Nederland is het bovenstaande verhaal echter niet relevant, omdat hier geen afvalwater wordt geïnjecteerd, anders dan in producerende gasvelden. Hierdoor neemt echter de kans op geïnduceerde aardbevingen juist af, omdat hiermee de compactie (het mechanisme achter de aardbevingen) wordt vermeden.

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

In deze paragraaf worden twee onderzoeksvragen beantwoord met betrekking tot compactie en bodemdaling, namelijk onderzoeksvragen 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 paragraaf wel op ingegaan, gezien de context van dit onderzoek.

### Onderzoeksvraag B4.12:

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 B4.13:

Geef het mogelijke effect daarvan aan het oppervlak aan in termen van bodemdaling en de mogelijkheid tot ongelijkmatige zettingen.

Voor de beantwoording zijn bovenstaande vragen vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. maak een onderbouwde schatting van de compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typisch winlocatie;
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 mogelijkheid tot ongelijkmatige zettingen.

### Vervormingsgedrag van gesteente

Een onderbouwde schatting van compactie in een gesteentevolume dat wordt gedraineerd vanaf een voor Nederland typische (conventionele) winninglocatie kan worden gemaakt op basis van onder andere de dikte van het reservoirgesteente en de drukval. Op basis van productiegegevens van de Nederlandse Aardolie Maatschappij is hiermee voor elke gasveld de huidige en uiteindelijke compactie bepaald (zie achtergrondnotitie B4.12/B4.13 in het bijlagenrapport).

### Berekening compactie reservoirgesteente

De gegevens die benodigd zijn voor de berekening van compactie zijn:

- dikte van het reservoirgesteente (H): dit komt uit boringen en geofysische onderzoek;
- drukval ( $\Delta P$ ): dit wordt gemeten in de boorput;
- compactie coëfficiënt ( $C_m$ ): dit wordt getest in een gesteentemechanisch laboratorium of door inversie afgeleid uit bodemdalinggegevens.

### Compactie in schaliegesteente

Compactie speelt alleen een rol in poreus en permeabel reservoirgesteente, dus bij conventionele olie- en gaswinning. Resultaten uit onder andere de Verenigde Staten laten zien dat compactie niet optreedt in schaliegesteente. Dit kan verklaard worden doordat het gesteente relatief onsamendrukbaar is, en omdat er volumevergroting optreedt in het gesteente na het fraccen voor schaliegaswinning. Gezien de samenstelling van de boven- en onderliggende lagen bij de Posidonia formatie en het Geverik laagpakket is het onwaarschijnlijk dat in deze lagen compactie optreedt als gevolg van schaliegaswinning.

### Effect van compactie

Compactie leidt meestal tot een bodemdalingkom die in het midden een maximale diepte heeft. Deze is afhankelijk van de berekende compactie in het reservoir, de grootte van het gebied van onttrekking en van de diepte van het reservoir. De omvang van de bodemdalingkom hangt af van de diepte van de onttrekking en is doorgaans groter dan het gebied van onttrekking.

Diepe onttrekkingen zoals in het Groningen veld leiden tot vrij gelijkmatige bodemdalingkommen. Bij gelijkmatige bodemdaling hoeft differentiële zetting geen grote rol te spelen. Op dit moment lopen er echter nog meerdere onderzoeken naar dit fenomeen. Het is derhalve nog prematuur om hierover een conclusie te trekken. 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.

Zoals in het bovenstaande reeds is aangegeven, zal schaliegaswinning niet leiden tot compactie van het schaliegesteente. Bodemdaling als gevolg van compactie is daarom niet aan de orde bij schaliegaswinning.

### 10.13. Gevolgen van bodemdaling voor de waterhuishouding (B.4.14)

Bodembeweging (met name daling) is in Nederland een belangrijk onderwerp bij de winning van conventioneel aardgas. Er is echter weinig bekend over dit effect bij de winning van schaliegas. Hierbij is het geomechanisch gedrag van schalies en steenkollagen bij onttrekking van gas en water van belang.

Geef aan hoe hier met het oog op de waterhuishouding mee om wordt gegaan.

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende vragen:

1. wat is de verwachte bodemdaling in Nederland en wat zijn de oorzaken?
2. wat zijn de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding?
3. welke maatregelen kunnen worden genomen om de effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken?

#### **Bodemdaling in Nederland**

Er zijn drie verschillende oorzaken voor de daling van de bodem in Nederland:

- tectonische beweging van de aardkorst. Net name als gevolg van het smelten van de poolkap in Scandinavië sinds de laatste ijstijd, is de Nederlandse bodem nog steeds in beweging (daling in noordwestelijke deel Nederland, stijging in zuidoostelijke deel Nederland). De beweging bedraagt slechts enkele cm's per eeuw;
- bodemdaling door ontwatering van poldergebieden. Drooglegging leidt tot zetting, klink, krimp en oxidatie (veengebieden). Deze daling wordt voor polders in West-Nederland geschat op 0,1 tot 0,45 m in de komende 50 jaar;
- bodemdaling door grondstofwinning (aardgas, zouten, kolen, bruinkool, grondwater). Dit speelt met name regionaal:
  - door winning van aardgas in noordoost Nederland is sinds de jaren zestig een bodemdaling van enkele decimeters opgetreden. De verwachte maximale bodemdaling door aardgaswinning in de provincie Groningen voor het jaar 2050 bedraagt ruim 0,4 m;
  - door winning van zout uit de diepe ondergrond bij Veendam is sinds het begin van de winning (in 1981) 0,24 m bodemdaling opgetreden. Voor het jaar 2028 wordt een totale daling van 0,65 m verwacht.

#### **Effecten bodemdaling op waterhuishouding**

De effecten van bodemdaling op de waterhuishouding zijn hier beschreven aan de hand van de effecten die zijn opgetreden bij de aardgaswinning in Groningen en de zoutwinning nabij Veendam. De effecten van bodemdaling door zetting, klink, krimp en oxidatie door bijvoorbeeld ontwatering van polders leiden tot andere effecten op de waterhuishouding en zijn hier buiten beschouwing gelaten.

Als gevolg van bodemdaling door winning van grondstoffen uit de diepe ondergrond kunnen de volgende effecten op de waterhuishouding 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 opzicht 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.

### **Maatregelen waterhuishouding bij bodemdaling**

Om negatieve effecten van bodemdaling op de waterhuishouding te voorkomen of te beperken zijn onder andere de volgende maatregelen mogelijk:

- 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.

Bij verlaging van het oppervlaktepeil wordt ook het grondwatersysteem beïnvloed. Als gevolg van verlaging van het oppervlaktewaterpeil kunnen de volgende neveneffecten optreden:

- 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 ontwateringdiepte.



## 11. REGELGEVING MET BETREKKING TOT VEILIGHEID (B.5)

De vragen in deel B.5 zijn erop gericht om te onderzoeken in hoeverre de Nederlandse wet- en regelgeving voor opsporing en winning van conventioneel gas ook bij de opsporing en winning van schaliegas de veiligheid voldoende waarborgt.

### Gehanteerde termen

In de gestelde vragen zijn soms begrippen gebruikt die niet geheel overeenkomen met de gebruikelijke termen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van deze termen en de alternatieve termen die bij de beantwoording van de onderzoeksvragen zijn gehanteerd.

**Tabel 11.1. Gehanteerde termen**

gehanteerde term onderzoeksvraag	gehanteerde term voor beantwoording
'gasbronnen en gaswinning'	'de opsporing en winning van aardgas'
'boortraject'	'boorgat'
'boorgang'	'boorgat'
'dergelijke mijnbouwactiviteiten'	opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas
'gebruik en de afvoer van water en chemicaliën'	water en chemicaliën dat wordt gebruikt om schalie- en steenkoollagen te fraccen ('frac-vloeistof') water en chemicaliën dat afkomstig is uit de steenkoollagen en vrijkomt bij het in productie nemen van deze lagen ('productiewater')
'mijnbouwwinningslocatie'	een op land geplaatst mijnbouwwerk bedoeld voor de winning van koolwaterstoffen (productielocatie)
'mijnbouwlocatie'	een op land geplaatst mijnbouwwerk dat hetzij voor de opsporing hetzij voor de winning van koolwaterstoffen wordt gebruikt (boorlocatie of productielocatie)

### Afbakening

Schalie- en steenkoolgas wordt tot nu toe ook in het buitenland alleen vanaf landlocaties gewonnen. De vragen in deel B.5 worden daarom beantwoord vanuit de wet- en regelgeving die van toepassing is op mijnbouwwerken op land.

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.

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.

### 11.1. Nederlandse wet- en regelgeving mijnbouw in relatie tot schaliegas (B.5.1)

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?

Voor de beantwoording is bovenstaande vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. de toetsing van aanvragen om een winningsvergunning voor schalie- of steenkoolgas;
2. de toetsing van de veilige ontwikkeling van schalie- en steenkoolgasactiviteiten, waarbij onderscheid wordt gemaakt in drie deelvragen:
  - 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.

De beantwoording van onderzoeksvraag 2a is meegenomen in de uitwerking van andere onderzoeksvragen. Het meetplan als instrument voor de monitoring van bodembeweging wordt besproken in B.4.1, B.4.2 en B.4.3: in B.4.1 en B.4.3 vanuit een juridisch oogpunt en in B.4.2 vanuit een technisch oogpunt.

Onderstaand worden vraag 1 en de vragen 2b en 2c beantwoord.

### **Toetsing winningsvergunningsaanvragen voor schalie- of steenkoolgas**

De Mijnbouwwet kent een beperkt aantal weigeringsgronden voor aanvragen van winningsvergunningen voor koolwaterstoffen:

- a. de economische winbaarheid van het betreffende voorkomen van koolwaterstoffen;
- b. de kwalificaties van de aanvrager: technische en financiële capaciteit en de wijze waarop aanvrager eerder verleende vergunningen met betrekking tot 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. Een voorbeeld is het zetten van horizontale boringen van waaruit het gesteente waarin zich het schaliegas bevindt zal worden gefraced.

### **Toetsing veilige ontwikkeling schalie- en steenkoolgasactiviteiten**

#### *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 productieproces plaatsvindt, het onderhoud van een boorgat.

In het kader van het toezicht op het fraccen, vooral 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 vier 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 via het winningsplan*

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. Gegevens ingediend in het kader van de aanvraag om een Wabo-milieuvergunning voor de oprichting en het gebruik van het mijnbouwwerk en de instemming met een winningsplan worden ter inzage gelegd. In het winningsplan staat de volgorde van geplande activiteiten, waaronder de te zetten winningsputten. Er staat geen informatie in over de eventueel te gebruiken frac-vloeistoffen. Deze informatie staat in het werkprogramma voor de aanleg van een boorgat. Het werkprogramma kan, evenals de gegevens ingediend in het kader van de melding onder het Barmm, met een beroep op de Wet openbaarheid van bestuur bij de Minister van Economische Zaken worden opgevraagd.

## **11.2. Wet- en regelgeving voor horizontale boringen en boringsvrije zones (B.5.2)**

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.

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. Boringen kunnen daarmee niet grensoverschrijdend zijn omdat in een boringsvrije zone niet geboord mag worden.

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 verbod op het aanleggen van een boorgat in een boringsvrije zone betekent dat geen enkel deel van een boorgat zich mag bevinden in de boringsvrije zone. In het algemeen wordt de grens van een boringsvrije zone niet alleen in XY-coördinaten aangegeven, maar ook in de diepte (Z-coördinaat). De boringsvrije zone is dan een 3D gebied en niet alleen een 2D gebied. Een horizontale of diagonale (gedeveerde) boring mag niet 'grensoverschrijdend' zijn. Geen enkel deel van de (gedeveerde) boring mag dan het boringsvrije gebied doorkruisen.

## **11.3. Wet- en regelgeving voor monitoring (B.5.3)**

Geef aan hoe de monitoring van, en controle op boortrajecten, chemicaliëngebruik, integriteitsfalen van boorgangen, etc. 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.

In het kader van de beantwoording is deze onderzoeksvraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

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.

Onderstaand worden deze vragen beantwoord. Waar nodig wordt verwezen naar andere onderzoeksvragen die een relatie hebben met het betreffende antwoord.

### **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. Tijdens het gebruik van een boorgat wordt de integriteit van de put gemonitord door middel van drukmetingen aan de ruimte tussen boorbuis en boorgatwand (annulaire ruimten). Regels voor het monitoren tijdens aanleg en het monitoren tijdens gebruik zijn opgenomen in het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling. Voor een technische uitwerking van de monitoring van de integriteit bij de aanleg en het gebruik van het boorgat wordt verwezen naar de beantwoording van onderzoeksvraag A.3.4.

### **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 werkprogramma. Tijdens de aanleg van een boorgat controleert 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. Voor een uitgebreidere behandeling van de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik van chemicaliën bij de aanleg- en productiefase van de boorput wordt verwezen naar de beantwoording van onderzoeksvraag B5.5.

### **Gebruik, monitoring, controle en wet- en regelgeving chemicaliën bij winning koolwaterstoffen**

Bij de winning van schalie- en steenkoolgas worden verschillende chemicaliën gebruikt. Op het gebruik van deze chemicaliën is de REACH verordening van toepassing. Het verbruik van deze chemicaliën wordt geregistreerd door de uitvoerder en steekproefsgewijs gecontroleerd door Staatstoezicht op de mijnen. Het gebruik van chemicaliën bij de winning van koolwaterstoffen en de monitoring hiervan wordt geregeld in de Wabo-milieu-vergunning voor de betreffende productielocatie.

Voor een uitgebreidere behandeling van de wet- en regelgeving die van toepassing is op het gebruik van chemicaliën tijdens de aanleg- en productiefase van een boorput wordt verwezen naar de beantwoording van onderzoeksvraag B.5.5.

Na buitengebruikstelling worden boorgaten en productieputten niet meer gemonitord of gecontroleerd. De buitengebruikstelling van boorgaten en productieputten valt onder onderzoeksvraag B.5.6.

## **11.4. Berekeningsmethoden voor risico's van gaswinning (B.5.4)**

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 (vertikaal, 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.

Voor de beantwoording is deze vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. hoe worden momenteel risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico berekend en bepaald bij de conventionele gasbronnen?
2. hoe gaan deze berekeningen om met geplande boortrajecten (vertikaal, gedeveerd, horizontaal) en boorafstanden?
3. zijn deze methodes toereikend voor de schalie- en steenkoolgaswinning?
4. hoe worden cumulatieve risico's van nieuwe mijnbouwactiviteiten gecombineerd met reeds bestaande andere activiteiten bovengronds?
5. wie beoordeelt de uitgevoerde berekeningen en is men hiertoe voldoende toegerust?
6. hoe worden nieuwe risico's aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt en wat is hiervoor het wettelijk kader?

Onderstaand worden deze vragen beantwoord. Waar nodig wordt verwezen naar andere onderzoeksvragen die een relatie hebben met het betreffende antwoord.

### **Risicobepaling conventioneel gas**

Mijnbouwwerken zijn (nog) niet aangewezen als inrichtingen waarop het Besluit externe veiligheid inrichtingen ('Bevi') van toepassing is.

In de praktijk worden risicocontouren, het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van een mijnbouwwerk berekend en bepaald met behulp van het software programma SAFETI-NL en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Dit is conform de voorschriften van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) en Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi). Deze uitvoeringspraktijk loopt vooruit op de verwachte aanwijzing van mijnbouwwerken als inrichtingen waarop het Bevi van toepassing is. 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.

### **Relatie tot boortrajecten en afstanden**

Berekeningen van risicocontouren, plaatsgebonden risico en groepsrisico zijn in principe onafhankelijk van de richting van boortrajecten (vertikaal, gedeveerd, horizontaal) en de boorafstanden. Het uitgangspunt hierbij is dat de risico's die worden berekend alleen betrekking hebben op bovengrondse activiteiten. De bovengrondse installaties voor schalie- en steenkoolgaswinning zijn vergelijkbaar met de bovengrondse installaties voor aardgaswinning.

Een toelichting op de berekening van risico's als gevolg van eventuele aardbevingen die door het fraccen zouden kunnen ontstaan, wordt meegenomen bij de beantwoording van onderzoeksvraag B.4.9.

### **Toepassing op schalie- en steenkoolgaswinning**

De bovengrondse installaties die voor de schaliegaswinning nodig zijn zullen weinig verschillen van de bovengrondse installaties van de aardgaswinning. De schaliegaswinning is voor de fysieke humane risico's bovengronds. Evenmin zijn de risico's voor de bovengrondse ruimtelijke ordening onderscheidend van conventionele gaswinning. Er is geen reden aan te nemen dat de methodes van berekening van veiligheidsrisico's niet toereikend zouden zijn. Zoals in achtergrondnotitie B.2.7 wordt beschreven, zijn de risico's op 'blow-outs' bij schaliegaswinning aanzienlijk kleiner dan bij de winning van conventioneel gas.

### **Cumulatieve risico's**

Voor iedere nieuwe mijnbouwactiviteit wordt steeds hetzelfde beoordelingskader toegepast. De 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 (zie ook ad 1). 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.

Naast het bepalen van cumulatieve risico's moeten ook de risicocontouren in acht worden genomen zodat er geen 'latente saneringssituatie' ontstaat. Dit betekent dat voorkomen moet worden dat er zich (beperkt) kwetsbare objecten binnen de risicocontouren van de projectlocatie bevinden. Bij de locatiekeuze voor de nieuwe mijnbouwactiviteit moet hiermee rekening worden gehouden.

### **Beoordeling berekeningen**

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) beoordeelt de berekeningen op basis van de aannames en de gebruikte rekenmethodiek. De feitelijke controle van de berekeningen wordt uitgevoerd door een onafhankelijke deskundige. De berekeningen zijn de verantwoordelijkheid van het betreffende bedrijf. SodM voert de berekeningen niet zelf nogmaals uit. Uitgangspunt in het toezicht is dat de berekeningen worden uitgevoerd door een daarvoor toegerust bedrijf en dat verifieerbaar wordt aangetoond dat de berekeningen zijn gecontroleerd met 'third party verification' en goedgekeurd door een onafhankelijke instelling.

### **Afstemming hulpdiensten en milieu-inspecties**

Nieuwe risico's worden aan hulpdiensten en milieu-inspecties kenbaar gemaakt bij de opstelling van het brandbestrijdingsplan voor een mijnbouwwerk. Het brandbestrijdingsplan moet door de mijnbouwonderneming aan de plaatselijke brandweer worden kenbaar gemaakt. SodM stelt de gemeentelijke en provinciale overheden op de hoogte van de locatie van het mijnbouwwerk.

Een tweede moment is de toetsing van de op een inrichting toepasselijke voorschriften, zoals die zijn opgenomen in Wabo-milieu-vergunningen. Verder kan het onderwerp door lokale en regionale overheden worden geagendeerd in de reguliere overleggen met hulpdiensten en milieu-inspecties.

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. 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.

## **11.5. Wet- en regelgeving gebruik water en chemicaliën bij mijnbouw (B.5.5)**

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?

Voor de beantwoording is deze vraag vertaald en opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen;
2. de verwerking en afvoer van teruggeproduceerde frac-vloeistof en productiewater uit steenkollagen (retourwater);

3. de openbaarheid van de chemische samenstelling van frac-vloeistoffen;
4. de regulering van de aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen.

### **Het gebruik van water en chemicaliën bij fraccen**

Het watergebruik op een mijnbouwwerk en ten behoeve van 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. Het gebruik van chemicaliën op een mijnbouwwerk en ten behoeve van het fraccen in een boorgat wordt gereguleerd door de REACH verordening.

Bij fraccen als onderdeel van de aanleg van een boorgat vindt controle op het gebruik van chemicaliën vooraf plaats via het werkprogramma voor de aanleg van het boorgat, dat tenminste vier weken voor aanvang van de boring in het bezit van de inspecteur-generaal der mijnen moet zijn.

Bij fraccen als onderdeel van het onderhoud van een boorgat vindt de controle op het gebruik van chemicaliën vooraf plaats op grond van artikel 42 van het Barmm. Onder verwijzing naar dit artikel verzoekt de inspecteur-generaal der mijnen de uitvoerder om hem tenminste vier weken voor aanvang van de activiteiten de gegevens te doen toekomen die nodig zijn voor de toetsing 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 het fraccen in het Mijnbouwbesluit en 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. Deze aanbeveling is eveneens opgenomen bij onderzoeksvraag B.5.1.

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 ten allen tijde alle gegevens over de bij deze activiteiten gebruikte stoffen opvragen en controleren.

### **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 is, dan hangt het van de voorschriften van deze vergunning af wat er met dit water moet gebeuren.

### **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 de overheid zijn overgelegd in het kader van bijvoorbeeld een werkprogramma voor de aanleg van een boorgat worden echter op verzoek aan derden verstrekt. Dit tenzij het verzoek gegevens betreft die vertrouwelijk aan de overheid zijn meegedeeld. Of en in hoeverre de samenstelling van door een uitvoerder gebruikte frac-vloeistoffen openbaar gemaakt moet worden hangt af van de beoordeling van het bedrijfsvertrouwelijke karakter van de frac-vloeistoffen onder artikel 10 van de Wet openbaarheid van bestuur.

In het kader van het onderhoud heeft Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) in 2012 een viertal productieputten gefract<sup>1</sup>. NAM heeft op haar website de volledige chemische samenstelling van de gebruikte frac-vloeistoffen openbaar gemaakt.

### **De aan- en afvoer van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen**

Het transport via de weg van vloeistoffen, chemicaliën en afvalstoffen vanaf een mijnbouwlocatie worden gereguleerd in het Barmm en de voorschriften van de betreffende Wabo-milieu-vergunning. Naast het Barmm en de Wabo-milieu-vergunning geldt voor degene die het mijnbouwlocatie drijft, de algemene zorgplichtbepaling van artikel 2.1 van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (Activiteitenbesluit).

Voornamelijk in de tijdelijke intensiteit van het transportverkeer van en naar een mijnbouwlocatie verschilt de olie- en gaswinningindustrie van andere industrieën.

## **11.6. Wet- en regelgeving voor verlaten mijnbouwlocaties (B.5.6)**

Geef een overzicht van wat in de huidige wet- en regelgeving is geregeld ten aanzien van het verlaten van een mijnbouwlocatie. 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?

De interpretatie van de onderzoeksvraag is dat verzocht wordt om een overzicht van de huidige wet- en regelgeving ten aanzien van het verlaten van een mijnbouwlocatie 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.

Voor de beantwoording is deze vraag opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. wet- en regelgeving voor het verlaten van een mijnbouwlocatie;
2. het gebruik van een voormalige mijnbouwlocatie.

### **Wet- en regelgeving voor het verlaten van een mijnbouwlocatie**

Een mijnbouwlocatie voor de winning moet na beëindiging van de winning buiten gebruik worden gesteld. Het buiten gebruik stellen van een mijnbouwlocatie geschiedt volgens een door de uitvoerder bij de Minister van Economische Zaken in te dienen sluitingsplan. Alle

<sup>1</sup> Zie NAM website [www.NAM.nl/nl/downloads/information-fracking.html](http://www.NAM.nl/nl/downloads/information-fracking.html).



vanaf het mijnbouwwerk geboorde productieputten moeten veilig worden afgesloten. Bij het sluiten van een productieput stelt de uitvoerder een werkprogramma op, dat hij indient bij de inspecteur-generaal der mijnen. De sluiting moet zodanig gebeuren dat de kans op schade na afsluiting, ondergronds zowel als bovengronds, verwaarloosbaar klein is. De nazorg hiervoor rust op de (laatste) houder van de betreffende winningsvergunning.

### **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. Als, 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.



## 12. KOSTENINSCHATTING (ONDERZOEKSVRAAG D)

In hoofdstuk 1 is aangegeven dat de onderzoeksvragen van categorie D buiten de reikwijdte van dit onderzoek vallen. Het ministerie van Economische Zaken heeft het consortium gevraagd om één van de onderzoeksvragen uit categorie D wel mee te nemen. Het betreft een vraag voor het maken van een kosteninschatting. Dit hoofdstuk beschrijft het antwoord op deze onderzoeksvraag.

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?

Voor de beantwoording van deze vraag zijn de kosten in beeld gebracht van de maatregelen die genomen worden om risico's van opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas te beperken. Hierbij wordt schaliegaswinning als geheel afgezet tegen conventionele winningen; omdat meer boringen (per winning of per gewonnen m<sup>3</sup>) 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 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 geformuleerd:

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?

### **Vergelijking risico's schaliegaswinning en conventionele winning**

In dit onderzoek is gekeken naar de onderscheidende risico's van niet-conventionele winning ten opzichte van conventionele winning. Risico's van schalie- en steenkoolgaswinning ten opzichte van conventionele winning zijn:

- vergroot risico op verontreiniging van (grond)water/bodemverontreiniging bij lekkage, als gevolg van het gebruik van chemicaliën;
- verkleind risico op micro-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;
- verhoogd externe veiligheidsrisico als gevolg van de hoeveelheid boorlocaties;
- verhoogde (methaan)emissie (door affakkelen en afvangen kan dit verhoogde risico worden geminimaliseerd).

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 om risico's te ondervangen**

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 (boorgatintegriteit);
- extra controleslagen door middel van een verzaamd/uitgebreid monitoringprogramma, 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 'flowback water'. Tot slot vergt het afsluiten van boorputten na het stoppen van de winning een grotere inspanning dan bij niet-conventionele winning vanwege het aantal boorgaten per veld.

### Kosten van de maatregelen

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. Om de gegeven kosten in perspectief te zien is een vergelijking gemaakt met de kosten die gepaard gaan met het plaatsen van een boorput. Een overzicht hiervan is gegeven in tabel 12.1. De totale kosten voor het maken van een schaliegasput bedragen naar schatting ongeveer 10 M€ (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 orde grootte 1 à 2 miljoen, dit is 10 % a 20 % van de totale kosten van het maken van een put.

### Common practice of nieuwe technieken

Alle genoemde maatregelen worden reeds toegepast in conventionele winningen en zijn daarom 'common practice'. Daarbij is in alle gevallen de uitwerking en opzet situatiespecifiek, maar zijn methodes algemeen toegepast.

**Tabel 12.1. Indicatie van kosten om risico's winning schaliegas te beperking**

	1	2	3	4	kosten per boorgat (10 <sup>3</sup> EUR*)	common practice?
boorgatintegriteit	x			x	0	al gebruikte techniek, verzaamd toegepast ten opzichte van conventioneel
monitoring	x	x		x	1.000	al gebruikte techniek, verzaamd toegepast ten opzichte van conventioneel
zuivering water	x				50 - 950	al gebruikte techniek
afsluiten put				x	50 - 80	al 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

## REFERENTIES

- [ref. 1.] Ministerie van Economische Zaken. Definitieve onderzoeksvragen met betrekking tot veiligheid voor mens, natuur en milieu bij de opsporing en winning van schaliegas en steenkoolgas in Nederland, bijlage 12 van de uitvraag.
- [ref. 2.] Witteveen+Bos, Arcadis, Fugro. Aanvullend onderzoek naar mogelijke risico's van de opsporing en winning van schalie- en steenkoolgas in Nederland. Onderzoeksplan, referentie GV1106-1/klb2/067, definitief, 3 mei 2013.



## BEGRIPPENLIJST

begrip	toelichting
(on)conventioneel gas	Conventioneel gas is gemakkelijk te produceren gas. Meestal wordt hiermee aardgas uit het Groninger gasveld bedoeld. Schalie- en steenkoolgas worden onconventioneel (onconventioneel) genoemd, omdat de manier waarop deze vormen van het gas gevangen zitten in het gesteente onconventioneel is.
affakkelen	Het verbranden van de bij olie- en gaswinning vrijkomende gassen (koolwaterstoffen), hoofdzakelijk methaan, ethaan en propaan.
akoestisch onderzoek	Onderzoek naar geluidsbelasting (geluidsstudie).
amplificatie	Opslingering, versterking van het effect van de groundbeweging.
anaerobe omstandigheden	Afwezigheid van zuurstof.
anticlinale structuur	Met een anticlinale structuur wordt in de geologie een plooiing bedoeld met naar beneden wijzende flanken, waarbij de aardlagen aan de binnenzijde het oudst zijn. Het is een plooiing naar boven, terwijl een synclinale structuur bestaat uit plooiingen naar beneden.
Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm)	Het Barmm geeft algemene voorschriften voor het gebruik van een mobiele mijnbouwinstallatie (zoals een boorinstallatie) en bindende voorschriften voor specifieke milieuaspecten en bepaalt dus voor een belangrijk deel de uitvoering van een diepboring en de bescherming van het milieu tijdens de diepboring. Het toepassingsgebied van het Barmm is het land tot en met de EEZ, met uitzondering van gevoelige gebieden.
Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi)	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.
Besluit stralingsbescherming (Bs)	Het Besluit stralingsbescherming bevat de basisregels voor het werken met radioactieve stoffen en toestellen.
blowout	Het ongecontroleerd vrijkomen van gas uit een gasbron nadat de drukregelsystemen gefaald hebben. Een 'blowout' kan leiden tot explosies of verzakken van de ondergrond onder of nabij de putlocatie.
bodem(typen)	Het bovenste grondlagenpakket van circa 20 tot 30 m dik
boorgruis	Opgeboord materiaal, in het Engels 'drill cuttings'
boorlocatie	Een mijnbouwwerk alleen bestemd voor de opsporing van koolwaterstoffen.
BOP (blowout preventer)	Een speciale afsluiter die bovenop een boorgat wordt gemonteerd om verhoogde gas-, olie-, en waterdrukken te kunnen weerstaan.
boringsvrije zone	Zone waarin geen boringen geplaatst mogen worden, vastgelegd in provinciale milieuverordening (PMV).
Bow-tie model	Het 'Bow-tie' model of werkwijze is een risico evaluatie model gebruikt om oorzakelijke verbanden bij hoge risico's te analyseren en te visualiseren. De methode ontleent zijn naam aan de vorm van het gemaakte diagram, die eruit ziet als een bow-tie (vlinderdas). Een Bow-tie diagram doet twee dingen. Allereerst geeft het een visueel overzicht van alle aannemelijke ongeval scenario's die kunnen bestaan rond een bepaald gevaar. Ten tweede, door het identificeren van controlemaatregelen toont het diagram wat een bedrijf of organisatie doet om die scenario's te mitigeren of in de hand te houden.
carcinogeen	Kankerverwekkend.
(chemische) buffer	Een buffer of een zuurteregelaar is in de chemie een waterige oplossing van twee stoffen die zich in een bepaald evenwicht bevinden en een bepaalde pH aannemen. Bij verdunning, toevoegen van een zuur of een base zal deze pH nagenoeg constant blijven. De verstoring van het evenwicht en de zuurtegraad wordt dus 'gebufferd'.

<b>begrip</b>	<b>toelichting</b>
dB(A)	Eenheid waarin de sterkte van het geluid wordt weergegeven.
debiet	hoeveelheid voorbijstromend water of vloeistof per tijdseenheid
doorlatendheid	ook wel genoemd 'permeabiliteit', is een materiaaleigenschap die beschrijft in welke mate een vaste stof een andere stof doorlaat. De doorlatendheid van een materiaal verschilt per door te laten stof. De eenheid van doorlatendheid is de Darcy, meestal gemeten in milli-Darcy of mD
EHS	Ecologische HoofdStructuur.
eigenfrequenties	Trillingsfrequenties waarbij het grondlagenpakket opslingering (amplificatie) van de grondbeweging vertoont.
flocculatie	Flocculatie of vlokvorming is een proces waarbij deeltjes in bijvoorbeeld een vloeistof zich aan elkaar hechten in een losse structuur. De structuur van vlokken is vrij eenvoudig te verbreken omdat de binding tussen de moleculen en groepen moleculen niet zo sterk is. Na flocculatie zijn de deeltjes via filtratie van de vloeistof te scheiden.
flowback water	Water dat na het fracking proces via het boorgat terugstroomt naar het oppervlak. Dit water heeft veel kenmerken van de gebruikte frac-vloeistof.
fraccen, fracken, frac job	De productiemethode die wordt toegepast in productieputten bij winning van schalie- en steenkoolgas en voor stimulatie van conventionele reservoirs. Bij dit fraccen worden grote hoeveelheden frac-vloeistof onder druk de diepe ondergrond ingepompt, met als doel de diepere aardlagen te breken, zodat het schalie- of steenkoolgas vrijkomt en omhoog gehaald kan worden.
gaskick	formatiedruk (gasdruk) beneden in het boorgat dat groter is dan de druk die wordt uitgeoefend door het gewicht van de boorspoeling, waardoor circulatie van de boorvloeistof stop. Als de gasdruk niet wordt gecontroleerd door het verhogen van het gewicht van de boorspoeling, kan een gaskick de boorspoeling uit het boorgat duwen. Dit kan resulteren in een 'blowout' (zie blowout).
gedevieerde boringen	Diagonale boringen.
geïnduceerde aardbevingen	Aardbevingen die door aardgaswinning worden veroorzaakt, voornamelijk in Groningen en nabij Alkmaar.
gefoon	Meetinstrument voor seismisch (geofysisch) onderzoek en registratie van aardbevingen.
groepsrisico	De kans per jaar dat een groep personen van een bepaalde grootte (bijvoorbeeld 10, 100 of 1000 personen) tegelijk slachtoffer wordt van een ongeval met gevaarlijke stoffen. Het groepsrisico is daarmee een maat voor de maatschappelijke ontwrichting die ontstaat door een ongeval met gevaarlijke stoffen.
Handleiding Risicoberekeningen Bevi	Handreiking die de geünificeerde wijze waarop Quantitative Risk Assessment (QRA)-berekeningen voor inrichtingen moeten worden uitgevoerd beschrijft.
inkolingsgraad	Inkoling is het transformatieproces van plantenresten tot bruinkool en in een latere fase steenkool door toename van het koolstofgehalte en afname van de vluchtigheid (waterstof, zuurstof). De inkolingsgraad is de mate waarin de inkoling is gevorderd.
integriteit van een boorput	De instandhouding van de stabiliteit van het boorgat en het behoud van de kwaliteit van de verbuizing en de cementafsluiting.
koolwaterstoffen	Organisch chemische verbindingen van uitsluitend waterstof en koolstof. Conventioneel aardgas, schaliegas en steenkoolgas bestaan grotendeels uit koolwaterstoffen.
LAP	Landelijk Afvalbeheerplan: In het Landelijk afvalbeheerplan staat het beleid voor afvalstoffen zoals afgewerkte olie, asbest en afgedankte apparatuur. Ook staat er in hoe afvalbedrijven afvalstoffen moeten verwerken.
mijnbouwhulpstoffen	stoffen die voor het verrichten van mijnbouwactiviteiten worden gebruikt
M <sub>L</sub>	Richter's Local Magnitude, schaal die wordt gebruikt voor kleine aardbevingen



<b>begrip</b>	<b>toelichting</b>
	( $M_L < 5$ ).
mutageen	Stof die het DNA beschadigt.
$M_w$	Richter's Moment Magnitude, schaal die wordt gebruikt voor krachtige aardbevingen ( $>M_w 5$ ).
Natura 2000	Natura 2000 richt zich op het behoud en de ontwikkeling van natuurgebieden in Europa. De gebieden die onder Natura 2000 vallen, worden aangeduid in de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn.
Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)	materialen, gewoonlijk industrieel afval of bijproducten verrijkt met radioactieve elementen, zoals uranium, thorium en kalium en hun vervalproducten radium en radon. Deze natuurlijke radioactieve elementen zijn aanwezig in zeer lage concentraties in de aarde en worden naar de oppervlakte gebracht door menselijke activiteiten, zoals olie- en gaswinning.
OBM	'Oil-Based Mud': duurder dan 'water based mud' en wordt voornamelijk gebruikt bij het doorboren van zoutlagen om oplossen van het zout te voorkomen.
ondiepe ondergrond	Het bovenste grondlagenpakket van circa 20 tot 30 m.
permeabiliteit	Zie 'doorlatendheid'
plaatsgebonden risico	De kans dat per jaar een persoon, die onbeschermd op een plaats buiten de locatie verblijft, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval met betrekking tot de installaties waarbij een gevaarlijke stof betrokken is.
porositeit	Het percentage van het volume van een gesteente dat door openingen (poriën) tussen de korrels wordt ingenomen.
procesvloeistoffen	De vloeistoffen die bij opsporing en winning worden gebruikt, bestaande uit: boorvloeistof, frac-vloeistof en retourwater.
productielocatie	Een mijnbouwwerk bestemd voor de (opsporing en) winning van koolwaterstoffen.
productiewater ('produced water')	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.
proppants	Vulmiddel om de gemaakte scheuren in het schaliegas open te houden met als doel vrijkomend gas te kunnen winnen (bijvoorbeeld zand).
REACH verordening	Regelgevingskader voor het beheer van chemische producten. Het systeem heeft ten doel de gezondheid van de mens en het milieu beter te beschermen, het concurrentievermogen van de Europese chemische industrie te handhaven en het innovatieklimaat te versterken.
Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi)	Regeling over de uitvoering van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi).
SAFETI-NL	Softwareprogramma voor het berekenen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van een inrichting.
schalie	Schalie is een sedimentair gesteente dat bestaat uit klei en siltdeeltjes en kan een hoog organisch gehalte hebben. Schaliegesteente laat een duidelijke laagheid zien, in tegenstelling tot kleisteen. Als schalie een metamorfe fase ondergaat (onder invloed van hoge temperatuur en druk) wordt het leisteen. De Engelse vertaling is 'shale'. De Engelse vertaling van kleisteen is 'claystone' of 'mudstone'. De vertaling van leisteen is 'slate'.
schalie- en steenkoolgas	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 gefraced wordt (zie fraccen).
schuifgolfsnelheden	Snelheid waarmee schuifgolven (bijvoorbeeld door aardbevingen) zich door de ondergrond bewegen.
site response	De reactie van de ondiepe ondergrond op aardbevingen.

<b>begrip</b>	<b>toelichting</b>
Staatstoezicht op de mijnen (SodM)	Dienst van het ministerie van Economische Zaken, die is belast met het toezicht en de naleving van wettelijke bepalingen zoals die van toepassing zijn bij het opsporen, winnen, opslaan en transporteren van delfstoffen.
STRONG	Structuurvisie Ondergrond: De ministeries van Infrastructuur en Milieu en Economische zaken maken de Structuurvisie Ondergrond. Deze moet ervoor zorgen dat de ruimte onder ons land duurzaam en efficiënt kan worden ingericht. Deze structuurvisie biedt ondermeer een ruimtelijk afwegingskader zodat vergunningverlening voor mijnbouwactiviteiten goed onderbouwd plaatsvindt.
Technische commissie bodembeweging (Tcbb)	Onafhankelijke commissie die winningsplannen toetst op het aspect bodembeweging evenals de maatregelen ter voorkoming van schade als gevolg van bodembeweging.
tektonische aardbevingen	Van nature voorkomende aardbevingen, voornamelijk in Limburg, gerelateerd aan bewegingen langs de Peelrandbreuk
TOP-gebieden	Top-gebieden staan op de door Rijk en provincies bestuurlijk vastgestelde TOP-lijst van prioritaire gebieden voor de inzet van anti-verdrogingsmaatregelen.
toxisch	Giftig.
vitrinietreflectie	Vitriniet-reflectie kan worden gebruikt als indicator van de rijpheid ('maturity') van moedergesteente.
Wabo-milieuvergunning	Vergunning verleend op grond van artikel 2.1, eerste lid sub e van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

## **BIJLAGE I ONDERZOEKSVRAGEN**

