



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen

RIVM Rapport 2018-0162
G. Kelfkens | J. van der Ree



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen

RIVM Rapport 2018-0162

Colofon

© RIVM 2019

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2018-0162

G. Kelfkens (auteur), RIVM
J. van der Ree (auteur), RIVM

Contact:
Gert Kelfkens
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
gert.kelfkens@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Staatstoezicht voor de Mijnen in het kader van het project: M/360085/01/IN 'Inventarisatie milieurisico's'.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Verkenning van de milieuaspecten van de activiteiten die onder het Staatstoezicht op de Mijnen vallen

De activiteiten van bedrijven waar het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) toezicht op houdt, kunnen effect hebben op milieu en natuur en gevolgen hebben voor mensen in de omgeving. Het RIVM heeft in een verkenning geïnventariseerd om welke effecten het gaat. De verkenning richt zich vooral op de reguliere werkzaamheden; incidenten komen minder aan bod. Het SodM heeft om de inventarisatie gevraagd omdat het de bescherming van het milieu en de zorg voor natuurlijke hulpbronnen intensiever bij het toezicht wil betrekken. Het desbetreffende bedrijf, de vergunningverlener en de toezichthouder hebben, ieder vanuit hun eigen rol, de verantwoordelijkheid de negatieve effecten zo veel mogelijk te voorkomen, te beperken of ongedaan te maken.

De SodM-sectoren zijn de olie- en gaswinning (in zee en op land), geothermie, zoutwinning, ondergrondse opslag (aardgas, CO₂), windenergie op zee, netbeheer van gasleidingen en de nazorg van de kolenwinning in Limburg. Hiervoor is geïnventariseerd welke stoffen in de lucht, grond- en oppervlaktewater, bodem en de (diepe) ondergrond kunnen terechtkomen.

De inventarisatie signaleert ook twintig lacunes in kennis over de milieueffecten die deels van belang zijn voor de energietransitie. Om de klimaatdoelen van Parijs (2015) te realiseren wordt veel verwacht van geothermie, windturbines, ondergrondse opslag van CO₂ en wordt de olie- en gaswinning afgebouwd. Van windturbines is nog onvoldoende bekend wat de effecten van alle geplande Nederlandse windparken op zee bij elkaar op het milieu zijn. Ook zijn de gevolgen van ondergrondse opslag van CO₂ in lege gasvelden onder de Noordzee onvoldoende onderzocht. Bij geothermie, de ontmanteling van de olieplatforms op zee en de ondergrondse opslag van CO₂ is het van belang het toezicht zodanig te organiseren dat de activiteiten geen onbedoelde schade aan milieu en gezondheid veroorzaken.

De geconstateerde kennislacunes leveren input voor een meerjarig milieuprogramma om kennis en toezicht te ontwikkelen, waar het SodM momenteel aan werkt. Voor een aantal is nader onderzoek nodig, voor andere is al onderzoek in gang gezet. Dat onderzoek kan aanleiding zijn om de praktijk, de wet- en regelgeving of het beleid aan te passen.

Kernwoorden: milieueffecten, Staatstoezicht, olie- en gaswinning, geothermie, zoutwinning, ondergrondse opslag, windenergie, gasnetbeheer, nazorg kolenwinning

Synopsis

Survey of the environmental aspects of the activities that fall within the scope of the State Supervision of Mines

The activities of companies supervised by the State Supervision of Mines (SodM) can have an effect on the environment and on nature and can have consequences for persons in the vicinity.

RIVM has carried out a survey to take stock of these effects. The survey focuses primarily on normal work activities and less on incidents. SodM requested the survey as it wishes to focus more on the protection of the environment and natural resources within the framework of its supervisory role. The company involved, the entity granting the permit, and the supervisory body each have their own responsibility, based on their specific role, for preventing, limiting, or reversing the negative effects insofar as possible.

The SodM sectors are the extraction of oil and gas (on sea and on land), geothermal energy, salt production, underground storage (natural gas, CO₂), marine wind energy, gas pipeline network management, and follow-up remediation activities for coal mining in Limburg. For these sectors, a survey was carried out to determine which substances can end up in the air, the groundwater and surface water, the soil, and the (deeper) subsoil layers.

The survey also identified 20 gaps in knowledge of the environmental effects that are, in part, important for the energy transition. When it comes to realising the Paris (2015) climate goals, a great deal is expected to be gained from geothermal energy, wind turbines, and the underground storage of CO₂, and the extraction of oil and gas will also be phased out. With regard to wind turbines, there is still insufficient knowledge available on the cumulative environmental effects of all the planned marine wind parks in the Netherlands. The consequences of the underground storage of CO₂ in empty gas fields beneath the North Sea also need further investigation. With regard to geothermal energy, the dismantling of marine oil platforms, and the underground storage of CO₂, it's important to structure supervision in such a manner as to ensure that the above-mentioned activities do not cause any unintended damage to the environment and to public health.

The knowledge gaps identified serve as input for a long-term environmental programme to develop knowledge and structure supervision, which the SodM is presently working on. Further research is needed for some of these gaps whereas for others, research has already been initiated. This research may lead to changes in daily practice, legislation and regulations, and policy.

Keywords: environmental effects, State Supervision, oil and gas extraction, geothermal energy, salt production, underground storage, wind energy, gas pipeline network management, remediation activities for coal mining

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

- 1 Inleiding — 17**
- 2 Afbakening en opzet — 19**
- 3 Emissie — 21**
 - 3.1 Algemeen — 21
 - 3.2 Lucht — 21
 - 3.3 Water — 22
 - 3.4 Bodem — 22
 - 3.5 Diepe ondergrond — 23
- 4 Mijnbouwhulpstoffen — 25**
 - 4.1 Algemeen — 25
 - 4.2 Registratie/toelating — 26
 - 4.2.1 REACH — 26
 - 4.2.2 Biociden — 27
 - 4.2.3 Cefas — 27
- 5 Integriteit boorputten — 29**
 - 5.1 Exploratieboringen — 29
 - 5.2 Olie en gas — 29
 - 5.3 Geothermie — 30
 - 5.4 Zout — 30
 - 5.5 Afsluiten boorput — 31
- 6 Milieuaspecten per sector — 33**
 - 6.1 Olie en gas offshore — 33
 - 6.1.1 Algemeen — 33
 - 6.1.2 Productie — 33
 - 6.1.3 Productiewater — 33
 - 6.1.4 Natte sludges, radioactiviteit — 34
 - 6.1.5 Emissies — 35
 - 6.1.6 Affakkelen en afblazen van aardgas — 35
 - 6.1.7 Fracken — 36
 - 6.1.8 Ontmanteling — 36
 - 6.2 Olie en gas onshore — 38
 - 6.2.1 Algemeen — 38
 - 6.2.2 Boren en productie — 38
 - 6.2.3 Productie — 38
 - 6.2.4 Natte sludges — 38
 - 6.2.5 Emissies — 38
 - 6.2.6 Affakkelen en afblazen van aardgas — 39
 - 6.2.7 Fracken — 39
 - 6.2.8 Ontmanteling — 39
 - 6.3 Geothermie — 40
 - 6.3.1 Algemeen — 40
 - 6.3.2 Winningsplannen — 41
 - 6.3.3 Boorputten — 41

6.3.4	Testwater — 41
6.3.5	Productie — 42
6.3.6	Radioactiviteit — 42
6.3.7	Ontmanteling — 43
6.3.8	Geothermie en seismische activiteit — 43
6.3.9	Bebouwde omgeving — 43
6.3.10	Verdienmodel — 43
6.3.11	Versterking sector — 44
6.4	Zoutwinning — 44
6.4.1	Algemeen — 44
6.4.2	Mijnbouwhulpstoffen — 45
6.4.3	Opslag in verlaten zoutcavernes — 45
6.4.4	Instabiele zoutcavernes — 45
6.4.5	Bodemdaling — 45
6.4.6	Verontreinigingen tijdens winning — 45
6.4.7	Ontmanteling — 46
6.4.8	Verdienmodel — 46
6.4.9	Bedrijfscultuur — 47
6.5	Ondergrondse opslag — 47
6.5.1	Algemeen — 47
6.5.2	Andere stoffen dan CO ₂ — 47
6.5.3	CO ₂ — 48
6.5.4	Potentiële risico's — 48
6.6	Wind op zee — 49
6.6.1	Algemeen — 49
6.6.2	Aanleg — 49
6.6.3	Productie — 50
6.6.4	Ontmanteling — 51
6.7	Netbeheer gasleidingen — 52
6.7.1	Algemeen — 52
6.7.2	Aantallen storingen/lekkages — 52
6.7.3	Emissies — 52
6.7.4	Bodemverontreiniging — 53
6.7.5	Asbestleidingen — 53
6.7.6	Toekomst gasnet — 54
6.8	Nazorg kolenwinning — 54
6.8.1	Achtergrond — 54
6.8.2	De na-ijlende gevolgen: mijnschachten en het stijgende mijnwater — 54
6.8.3	Mijnsteenbergen — 57

7 Afsluitende opmerkingen — 59

Bijlage 1 Overzicht van de gesignaleerde punten in de sector die onder SodM-toezicht vallen, op volgorde waarop de punten in het rapport voorkomen — 61

Bijlage 2 Signaleringspunten gesorteerd per sector — 65

Referenties — 69

Samenvatting

Waarom deze inventarisatie?

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu is door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) gevraagd om in een verkenning de milieurisico's te inventariseren van de activiteiten waar het SodM toezicht op houdt. Die activiteiten waren van oorsprong gerelateerd aan de mijnbouw maar nu vallen bijvoorbeeld ook geothermie, windenergie op zee en het beheer van het gasnet er onder. Dat zijn sectoren waar nu door de energietransitie veel verandert. Bij het toezicht wil het SodM de veiligheid en gezondheid van burgers en werknemers, de bescherming van het milieu en de zorg voor onze natuurlijke hulpbronnen betrekken, nu en in de toekomst. Voor meer inzicht in de milieuaspecten heeft het SodM behoefte aan een inventarisatie van de risico's. Uiteindelijk moet deze inventarisatie bij het SodM leiden tot een onderbouwd milieuprogramma voor kennisontwikkeling en de ontwikkeling van toezichtsregimes waarin rekening gehouden wordt met de mogelijke gevolgen voor de maatschappij.

Afbakening

De inventarisatie omvat de volgende SodM-sectoren: olie- en gaswinning (offshore), olie- en gaswinning (onshore), geothermie, zoutwinning, ondergrondse opslag, windenergie op zee, netbeheer gasleidingen en de nazorg van de kolenwinning in Limburg. Voor deze sectoren worden de emissies naar lucht, water, bodem en naar de (diepe) ondergrond geïnventariseerd en worden kennislacunes in beeld gebracht. De inventarisatie van milieurisico's richt zich vooral op regulier bedrijf. Veiligheidsrisico's als gevolg van ongevallen en incidenten komen slecht zijdelings aan bod, evenals aardbevingsrisico's. Het gaat dan uitsluitend om de milieuschade die daardoor kan ontstaan. Daarnaast beperkt de inventarisatie zich tot milieurisico's in de omgeving. De risico's die werknemers lopen (arbeidsomstandigheden) blijven grotendeels buiten beschouwing. Voor een vergelijking en beoordeling van de risico's in een breder kader kan het SodM gebruikmaken van het programma 'Bewust Omgaan met Veiligheid', zoals dat door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is opgesteld.

SodM-sectoroverstijgende aspecten

Emissie Nederland

Als introductie geeft het rapport een overzicht van de totale emissie door alle SodM-sectoren van benzeen, kooldioxide, methaan, stikstofoxiden, kwik, lood en zinkverbindingen naar lucht, water en bodem zoals die in de nationale emissieregistratie is opgenomen. De emissie naar lucht van benzeen door de SodM-sectoren is in 2016 10% van het Nederlands totaal. De emissie van kooldioxide, methaan en stikstofoxiden bedraagt 1-3% van het nationaal totaal. De belasting van het oppervlakte water met benzeen vanuit de SodM-sectoren bedraagt 51% van het Nederlands totaal. De belasting van het oppervlaktewater met kwik, lood en zinkverbindingen is respectievelijk 0,3%, 1,4% en 4% van het nationaal totaal.

De emissieregistratie bevat geen gegevens voor de emissie naar de bodem vanuit de SodM-sectoren.

Mijnbouwhulpstoffen

Bij mijnbouwactiviteiten worden hulpstoffen gebruikt. Deze mijnbouwhulpstoffen dienen uiteenlopende doelen, bijvoorbeeld voorkomen van corrosie, doden van bacteriën, bevorderen van de doorstroming, enz. Mijnbouwhulpstoffen kunnen gevaarlijke stoffen zijn met risico's voor mens en milieu. Het kan gaan om veiligheidsrisico's (brand, explosie, verstikking), gezondheidsrisico's (blootstelling aan giftige of carcinogene stoffen) of emissie naar lucht, bodem en water die tot aantasting van het ecosysteem kan leiden.

Er zijn in Europa verschillende registraties voor mijnbouwhulpstoffen. Deze registraties gaan uit van bepaalde blootstellingsscenario's waarin per specifieke toepassing wordt beoordeeld of gebruik van de stof onder dat scenario veilig is.

Uit deze inventarisatie blijkt dat onvoldoende duidelijk is of de mijnbouwhulpstoffen in de praktijk op de bij de registratie voorgeschreven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario worden gebruikt. De milieurisico's kunnen daardoor niet goed worden ingeschat. Hetzelfde geldt voor de migratie van de mijnbouwhulpstoffen uit de diepe ondergrond. Bij een aantal mijnbouwactiviteiten komen mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond terecht. Het is onvoldoende duidelijk of er migratieroutes zijn waardoor mijnbouwhulpstoffen vanuit de diepe ondergrond in het (grond)water of de bodem terecht kunnen komen en of en hoe deze mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond worden afgebroken.

Integriteit boorputten

Om de diepe ondergrond te bereiken worden bodem, watervoerende pakketten en afsluitende (ondoorlatende) aardlagen doorboord. Door het doorboren van de afsluitende lagen kunnen grondwaterstromen (kortsluitingsstromen) of lekkages ontstaan. In Nederland is de diepe ondergrond en de geologische karakteristieken daarvan relatief goed in kaart gebracht. In de olie- en gassector is veel expertise op het gebied van boren, waardoor de kans op lekkages of een blow-out klein is. In andere SodM-sectoren, zoals geothermie, is de integriteit van de boorput een aandachtspunt. Boorputten worden na de winning afgesloten met cementproppen. Momenteel is niet duidelijk of deze manier van afsluiten voldoende toekomstbestendig is.

Inventarisatie per sector

Olie- en gaswinning (offshore)

Er bevinden zich ongeveer 160 productielocaties voor olie- en gaswinning in het Nederlandse deel van de Noordzee. De delfstof komt samen met water naar boven. Na scheiding blijft het zogenoemde productiewater over; water uit de diepe ondergrond met allerlei verontreinigingen en hulpstoffen. Bij het scheidingsproces ontstaan ook zogenoemde sludges (een mengsel van vloeibare en vaste stoffen) die ook radioactieve stoffen bevatten. De sludges worden afgevoerd naar land en verder verwerkt. Het productiewater kan worden geïnjecteerd in de aardlagen waar de delfstof vandaan komt of, na zuivering, op zee worden geloosd. Soms is het om veiligheidsredenen nodig aardgas af te fakkelen of af te blazen. Hierbij komen broeikasgassen en radioactief

radon vrij. Na de operationele periode wordt de boorput afgesloten en het boorplatform verwijderd. In de periode tot 2030 zal een groot aantal productieplatforms het einde van hun economische levensduur bereiken en ontmanteld moeten worden.

Olie- en gaswinning (onshore)

Er zijn in Nederland ongeveer 600 productielocaties voor olie en gas op land, vooral in Groningen en Noord- en Zuid-Holland. De meeste milieuaspecten van de winning on- en offshore zijn vergelijkbaar. Belangrijk verschil is dat het productiewater niet op het zeewater kan worden geloosd, maar wordt geïnjecteerd in de aardlagen waar de delfstof vandaan komt of in naburige lege gasvelden. Op land kan affakkelen, naast emissie van broeikasgassen en radon, tot hinder bij omwonenden leiden. Na de operationele periode wordt de boorput afgesloten met cementproppen en worden de bovengrondse installaties verwijderd.

Geothermie

Bij geothermie wordt warm water uit de diepe ondergrond opgepompt. Bovengronds wordt de warmte er (deels) aan onttrokken, waarna het water wordt terug gepompt naar dezelfde aardlaag waar het vandaan komt. In Nederland zijn ongeveer 14 geothermie-installaties die samen ongeveer 3 petajoule per jaar produceren. In het Klimaatakkoord is een grote groei voor geothermie voorzien, via 50 petajoule per jaar in 2030 en naar meer dan 200 petajoule per jaar in 2050.

De geothermie is een jonge sector met, vanuit milieuoogpunt, opstartproblemen. De minister van Economische Zaken en Klimaat heeft maatregelen aangekondigd om 'de jonge geothermiesector toekomstbestendig te maken'.

Er wordt gebruikgemaakt van mijnbouwhulpstoffen die met het afgekoelde water in de diepe ondergrond terecht komen. Voor een installatie operationeel is komen grote hoeveelheden 'testwater' naar boven die soms langdurig moeten worden opgeslagen. Dat kan door lekkages en overstort gevolgen voor mens en milieu hebben. Er kan gas mee naar boven komen wat afgescheiden en soms afgefakkeld moet worden. Met ontmanteling van geothermie-installaties is in Nederland geen ervaring. Aandachtspunt daarbij is dat verbuizing radioactief geworden kan zijn en dat er radioactieve 'scale' kan zijn ontstaan. Geothermie-installaties kunnen hinder voor omwonenden veroorzaken. Nader onderzoek kan in beeld brengen wat nu de afstand tussen geothermie-installaties en woningen, scholen, ziekenhuizen, enz. is en op welke afstanden hinder optreedt. Zo'n onderzoek kan aanleiding zijn minimale afstanden of andere voorwaarden in de regelgeving op te nemen.

Zoutwinning

In Nederland wordt jaarlijks ruim 6 miljoen ton zout gewonnen. De winning vindt plaats in het noorden en oosten van het land, meestal op een diepte tussen 100 en 1600 meter. Zoutwinning vindt al 100 jaar plaats, maar het SodM signaleert problemen met de veiligheidscultuur en de toekomstgerichtheid van de sector.

Door warm water in de zoutlaag (in een zogenoemde caverne) te injecteren lost het zout op waarna het pekewater wordt opgepompt. Bovengronds wordt het zout weer afgescheiden.

Bij de zoutwinning wordt diesel als hulpstof gebruikt om te voorkomen dat het dak van de zoutcaverne te veel oplost. Dan zou de caverne kunnen instorten. Een deel van de diesel kan niet worden teruggewonnen en blijft achter in de zoutlaag. Diesel vormt een potentieel risico voor bodem en grondwater. Vervuiling van het grondwater met diesel maakt het ongeschikt voor drinkwaterwinning en landbouw. Om alternatieven voor diesel in beeld te brengen is nader onderzoek nodig.

Als de vergunde hoeveelheid zout is gewonnen wordt de boorput buiten bedrijf gesteld. Momenteel is er in de sector een achterstand met betrekking tot het definitief afsluiten van boorputten. Deze putten zijn onvoldoende gezekerd, wat gevolgen kan hebben voor milieu en omwonenden.

Ondergrondse opslag

Sommige vormen van mijnbouw laten 'ruimtes' in de diepe ondergrond achter waarin stoffen kunnen worden opgeslagen. Op kleine schaal gebeurt dat al (aardgas, gasolie, stikstof). Voor de nabije toekomst is voor ondergrondse opslag van CO₂ in lege gasvelden (offshore) een belangrijke rol in het klimaatbeleid voorzien.

Sommige mensen die in de buurt van een opslaglocatie wonen, maken zich zorgen. Voor een goede maatschappelijke afweging is een risicoanalyse nodig die alle potentiële risico's, zowel op de korte termijn (0-100 jaar) als op een geologische tijdschaal (10.000 jaar), in beeld brengt.

Wind op zee

Windenergie op zee moet een belangrijke bijdrage leveren aan een duurzame energievoorziening in Nederland. In 2023 zal er door windparken op zee 4,5 gigawatt elektriciteit geproduceerd moeten worden, in 2030 11,5 gigawatt.

Windmolenparken hebben weinig emissies naar het zeewater. Wel hebben windmolenparken een heel scala aan ecologische effecten, die voor een deel nog onvoldoende in beeld zijn. Het 'Wind op Zee Ecologisch Programma' dat in 2016 is gestart moet daar verbetering in brengen. Windmolens leiden bij aanleg en tijdens de gebruiksfase tot verstoring van vogels, vissen en zeezoogdieren. Vogels en vleermuizen kunnen door de wieken gedood worden. Soms kunnen effecten door extra maatregelen tijdens de aanleg en aanpassingen in de bedrijfsvoering worden voorkomen of tegengegaan. Windmolens bieden ook kansen voor het bodemleven en vissen omdat er binnen het windpark geen verstoring door (bodem)visserij meer plaatsvindt en de installaties een hechtingsgrond bieden.

Netbeheer gasleidingen

Het gasnet bestaat uit een hogedruknet (12.000 km), een regionaal net met een druk van 1-8 bar (34.000 km) en het transportnet naar de kleinverbruiker (100 mbar, 88.000 km). Jaarlijks treden er 40.000-60.000 lekken in het gasnet op, waarvan een kwart door graafwerkzaamheden wordt veroorzaakt. Een deel van deze lekkages is zo klein dat ze niet door mensen geroken kunnen worden. Lekkages leiden tot emissie van methaan, een sterk broeikasgas. De emissie door gastransport en distributie naar lucht is beperkt; ongeveer 1,3% van de

totale methaanemissie in Nederland. Gaslekken kunnen ook tot bodemverontreiniging leiden, bijvoorbeeld met benzeen.

Nazorg van de kolenwinning

Na het sluiten van de kolenmijnen in Zuid-Limburg werd het wegpompen van mijnwater stopgezet.

Sinds 1970 lopen de steenkolenmijnen daardoor geleidelijk weer vol water. Dit proces zal naar verwachting nog 15-20 jaar duren. Enkele mijngebieden zullen niet volledig onderlopen.

Het stijgende mijnwater zorgt voor bodemstijging, grondwaterstijging, mogelijk grondwatervervuiling en het vrijkomen van mijngas.

Om de gevolgen te monitoren en te beheersen heeft de minister van Economische Zaken en Klimaat maatregelen afgesproken met de provincie en de betrokken gemeenten. De provincie en de gemeenten voeren het pakket van maatregelen uit en het ministerie zorgt voor financiering. Enkele voorbeelden van maatregelen zijn:

- bodemstijging wordt vanuit satellieten gemonitord. Omdat de stijging nu geleidelijk verloopt worden geen problemen verwacht;
- voor het grondwater is er een 'early-warning'-systeem opgezet. Als verontreiniging optreedt, moeten beheersmaatregelen worden getroffen;
- mijngas (hier voornamelijk CO₂) kan zich in gebouwen ophopen en tot verstikking leiden. Burgers en hulpdiensten worden daar in de betrokken gebieden actief over voorgelicht;
- er is een regionaal expertisecentrum opgericht dat gemeenten, burgers en andere betrokkenen ondersteunt en verantwoordelijk is voor de monitoring.

Kennislacunes en signalering

Er worden in deze inventarisatie achttien kennislacunes gesignaleerd. Deze zijn in de opsomming op pagina 14 en 15 weergegeven. Daarnaast volgen er enkele signalen met een meer organisatorisch karakter uit de inventarisatie. Die staan in de opsomming op pagina 15.

Kennislacunes en aanbeveling staan ook in de bijlagen. In bijlage 1 op de volgorde waarop ze in dit rapport voorkomen en in bijlage 2 gegroepeerd per sector.

Het SodM heeft een initiërende rol bij het invullen van de kennislacunes, maar kan dat alleen in dialoog met de betrokken ketenpartners. Daarbij verdienen de sectoren waarbinnen door de energietransitie grote veranderingen zullen optreden, geothermie, ondergrondse opslag van CO₂ en wind op zee prioriteit. Voor sommige kennislacunes is dergelijk al onderzoek in gang gezet. Uitkomsten uit deze onderzoeken kunnen aanleiding zijn voor aanpassing in de uitvoeringspraktijk, in de wet en regelgeving of beleid. Vervolgens zijn er goede toezichtsregimes nodig om te zorgen dat de uitvoeringspraktijk geen onbedoelde schade aan milieu en gezondheid toebrengt.

Voor een goede risicobeoordeling geldt dat er meer informatie nodig is over:

- de oorzaak van de verschillen in productiegegevens van de olie- en gaswinning.
- migratieroutes voor (mijnbouwhulp)stoffen vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en over de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond.
- reductie van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en over alternatieven voor injectie van productiewater.
- de manier waarop de mijnbouwhulpstoffen worden gebruikt en of dit gebruik in overeenstemming is met de bij de registratie aangegeven manier en de bijbehorende blootstellingsscenario's (geïdentificeerd gebruik).
- de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en over alternatieve afsluitmethoden. Aanvullend is informatie nodig over de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- de door de offshore olie- en gaswinning op zee geloosde stoffen. Daarnaast is een meer gedetailleerde monitoring van mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten in het productiewater bij een groter aantal productieplatforms nodig.
- de verschillen tussen de ecologische beoordeling van lozingen van productiewater op zee volgens het CHARM-model en de ecologische risicobeoordeling volgens REACH.
- de CO₂-winst die het vervangen van afblazen door affakkelen kan opleveren. Daarbij is van belang of deze vervanging op een veilige manier kan plaatsvinden en of vervanging in verband met andere emissie en/of hinder mogelijk is.
- de risico's van fracken in het algemeen en de risico's van fracken bij geothermie in het bijzonder. Daarnaast is onderzoek nodig naar migratie en afbraak van de in de diepe ondergrond achterblijvende frackvloeistof.
- de omvang van lekkages uit afgesloten boorputten in Nederland en de ontwikkeling van deze lekkages in de tijd. Als lekkages structureel blijken, is onderzoek naar stabielere manieren van afsluiten en naar eventuele normstelling nodig.
- alternatieven voor het verwerken van testwater bij geothermie en over de manier waarop deze alternatieven in het beleidsmatige en juridische kader kunnen worden ingepast.
- omvang en aard van de mijnbouwhulpstoffen en hun reactieproducten die bij geothermie worden geïnjecteerd en over de afbraak en migratie van deze stoffen in de diepe ondergrond.
- de hoeveelheid radioactieve sludges en scale die bij geothermie ontstaan en over het stralingsniveau van deze afvalstoffen.
- de voorwaarden waaronder geothermie verantwoord kan worden toegepast in gebieden met breuklijnen en hoge seismische activiteit.
- de afstanden waarop geothermie-installaties impact hebben op woningen, scholen, ziekenhuizen, enz. in de omgeving. Afhankelijk van de resultaten daarvan kan worden overwogen om

minimale afstanden en voorwaarden in beleid of regelgeving op te nemen.

- de alternatieven voor de bij zoutwinning gebruikte diesel ter bescherming van het cavernedak die minder schadelijk zijn voor bodem en grondwater.
- de specifieke risico's van ondergrondse opslag, zowel op de korte termijn (0-100 jaar) als op een geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- de oorzaken van het verschil in het aantal lekkages tussen de opgave van Netbeheer Nederland en het SodM.

Om te zorgen dat de uitvoeringspraktijk geen onbedoelde schade aan milieu en gezondheid toebrengt is:

- actualisatie van het SodM-beoordelingsprotocol voor de injectie van productiewater nodig, zodat het in overeenstemming is met het vigerende beleid (Landelijk afvalbeheerplan, Nationaal Waterplan) en met de stand der techniek.
- een adequaat toezichtsregime nodig voor de ontmanteling van offshore productieplatforms waarin de verantwoordelijkheden van het SodM, de Inspectie Leefomgeving en Transport en het bevoegd gezag zijn vastgelegd en dat de hele ontmantelingsketen beslaat.

1 Inleiding

De activiteiten van bedrijven waar het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) toezicht op houdt hebben impact op het milieu en de natuur en kunnen gevolgen hebben voor mensen die in de buurt van die activiteiten wonen. Bedrijf, vergunningverlener en toezichthouder hebben, ieder in hun eigen rol, de verantwoordelijkheid de negatieve effecten zoveel mogelijk te voorkomen, te beperken of ongedaan te maken. Die verantwoordelijkheid komt ook terug in de missie van het SodM: *'Staan voor veiligheid en gezondheid van burgers en werknemers, bescherming van het milieu en zorg voor onze natuurlijke hulpbronnen'*.

Om deze missie effectief vorm te geven heeft het SodM behoefte aan een inventarisatie van de milieurisico's van de sectoren die onder hun toezicht vallen. Voor de sectoren geothermie en zoutwinning heeft het SodM met de 'staat van de sector' al zo'n inventarisatie uitgevoerd. Dit rapport geeft een overzicht van alle SodM-sectoren. Uiteindelijk moet deze inventarisatie bij het SodM leiden tot een onderbouwd milieuprogramma waarin rekening gehouden wordt met de milieurisico's en de mogelijke gevolgen voor de maatschappij. De bedoeling is dat deze beoordeling het SodM handvatten biedt voor prioritering van de SodM-activiteiten en inzet op milieugebied. Als eerste stap naar zo'n risicobeoordeling is het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gevraagd in een verkenning de milieurisico's te inventariseren van de sectoren waar het SodM toezicht op houdt.

2 Afbakening en opzet

Bij deze inventarisatie van milieurisico's is het RIVM uitgegaan van de sectoren zoals die in hoofdstuk 4 van het Jaarplan 2018 van het SodM [1] zijn opgenomen. Deze sectoren zijn op verzoek van het SodM aangevuld met de nazorg van de kolenwinning. Het betreft:

- olie- en gaswinning (offshore);
- olie- en gaswinning (onshore);
- geothermie;
- zoutwinning;
- ondergrondse opslag (aardgas, gasolie, stikstof, CO₂);
- wind op zee;
- netbeheer gasleidingen;
- nazorg kolenwinning.

Per sector onderscheidt het SodM aan de hand van hun levenscyclus verschillende fasen: exploratie, aanleg, regulier bedrijf en buitengebruikstelling (ontmanteling). Hierbij zijn niet alle fasen voor alle sectoren van toepassing. Bij de 'nazorg kolenwinning' bijvoorbeeld is alleen nog de fase van buitengebruikstelling van belang.

In deze inventarisatie wordt de milieu-impact van de activiteiten waarop het SodM toezicht houdt in beeld gebracht. De emissies naar lucht, water, bodem en de (diepe) ondergrond worden beoordeeld. Water wordt soms nog onderverdeeld in oppervlaktewater, grondwater en drinkwater. De bodem is de bovenste laag van de aardkorst bestaande uit minerale deeltjes, organisch materiaal, water, lucht en levende organismen. Met ondergrond wordt bedoeld: alles wat zich onder het aardoppervlak bevindt, zowel hetgeen van nature aanwezig als door de mens aangelegd. De bodem maakt dus in ruimtelijke zin onderdeel uit van de ondergrond. Activiteiten in de diepe ondergrond, meer dan 500 meter onder het maaiveld, vallen onder het SodM-toezicht.

De informatie in dit rapport is tot stand gekomen door interviews met een tiental experts, meestal van binnen het RIVM, maar ook van buiten. Daarnaast is vooral gebruik gemaakt van overzichtsartikelen, beleidsstudies, websites van de verschillende sectoren, gegevens uit de Nederlandse emissieregistratie en soms van peer-reviewed wetenschappelijke artikelen.

In de mijnbouw worden chemische stoffen, biociden (middelen die specifiek bedoeld zijn om organismen te bestrijden, niet zijnde gewasbeschermingsmiddelen), radioactieve stoffen en/of explosieven toegepast. In de verschillende fasen van de levenscyclus kunnen emissies van deze stoffen plaatsvinden naar lucht, bodem en water (drinkwater, grondwater en oppervlaktewater). In alle fasen van de levenscyclus ontstaat afval. Daarnaast kunnen de activiteiten gepaard gaan met geluid, trillingen, geur of licht. Deze aspecten die tot overlast bij omwonenden kunnen leiden vatten we samen onder 'hinder'. Deze hinder kan ook tot gezondheidseffecten bij omwonenden leiden [2]. Voor een integrale afweging van de risico's van mijnbouwactiviteiten zijn niet alleen de emissies tijdens regulier bedrijf van belang. Ongevallen

kunnen leiden tot grootschalige emissies met ernstige gevolgen voor milieu en omwonenden. Deze inventarisatie van milieurisico's beperkt zich tot regulier bedrijf. Ongevallen komen slecht zijdelings aan bod.

Ook de gevolgen van bodemdaling door gaswinning blijven in dit rapport buiten beschouwing. Die vallen binnen het traject van onderzoek en mitigatie dat daarvoor door het ministerie van EZK is uitgezet.

Naast de milieuaspecten zijn voor een integrale afweging de risico's die werknemers lopen van belang. In deze eerste verkenning blijven deze risico's (arbeidsomstandigheden) buiten beschouwing.

De inventarisatie is vanuit verschillende invalshoeken uitgevoerd; emissies in het algemeen, mijnbouwhulpstoffen, integriteit boorputten en ten slotte van de milieuaspecten per sector. Hierdoor komen er soms herhalingen in de tekst voor.

Uit deze verkenning is gebleken dat er veel kennis ontbreekt om de milieu-impact in te kunnen schatten. In die gevallen wordt dat in een apart tekstkader toegelicht. In de samenvatting en in hoofdstuk 7 staan deze tekstkaders uit de afzonderlijke hoofdstukken bij elkaar.

Vergelijken en beoordelen van milieurisico's

Dit rapport beperkt zich tot milieurisico's. Voor een vergelijking en beoordeling van de risico's in een breder kader kan het SodM gebruikmaken van recente ontwikkelingen. Het ministerie van IenW (voorheen IenM) heeft het programma Bewust Omgaan met Veiligheid (BOV) opgesteld. Binnen BOV wordt gewerkt aan een breed gedragen en meer verantwoord afwegingskader voor beleid voor veiligheid en gezondheid in de fysieke leefomgeving [3]. Het RIVM heeft in BOV-kader vanuit vier invalshoeken geïnventariseerd wat de gevolgen zijn van de bedreigingen van de veiligheid en kwaliteit van onze fysieke leefomgeving: schadelijke effecten op de gezondheid, ecologische schade, financiële schade (economie) en maatschappelijke impact [4]. Door deze vier invalshoeken te combineren ontstaat een beeld dat meer recht doet aan de complexiteit van onze leefomgeving en maatschappij.

3 Emissie

3.1 Algemeen

Mijnbouwactiviteiten leiden tot emissies van een heel scala aan stoffen naar lucht, water, bodem en de diepe ondergrond. Deze emissies kunnen gevolgen hebben voor milieu, natuur en de gezondheid van mensen. Dit hoofdstuk bevat een beknopt overzicht van emissies op het niveau van het gehele toezichtsgebied van het SodM. Meer details worden gegeven in de overzichten per sector (paragraaf 6.1 t/m 6.8).

De emissies binnen de SodM-sectoren hangen direct samen met het productievolume. Op dit moment kan dat productievolume voor de olie- en gaswinning niet eenduidig worden vastgesteld. TNO (Geologische Dienst Nederland) verzamelt productiegegevens in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) in het kader van de Mijnbouwwet en ontsluit deze op de website 'NLOG'. Een aantal bedrijven publiceert gegevens in het kader van het 'Pollutant Release and Transfer Register' (PRTR) in een (verplicht) elektronisch milieujaarverslag (e-MJV). De olie- en gaswinningsindustrie heeft niet de verplichting een e-MJV aan te leveren, maar levert volgens een convenant soortgelijke informatie aan het RIVM. Tot slot publiceert ook het CBS productiegegevens.

De gegevens over aard en omvang van de productie uit deze verschillende bronnen komen niet altijd overeen, waardoor er geen eenduidig beeld bestaat.

Om omvang en aard van de productie bij de olie- en gaswinning eenduidig vast te stellen is inzicht nodig in de oorzaak van de verschillen in productiegegevens tussen de opgave van NLOG, de getallen in de e-MJV's, de gegevens aangeleverd volgens het convenant met de olie- en gaswinningsindustrie en de CBS-opgave.

3.2 Lucht

Emissies naar lucht vinden vooral plaats tijdens het gebruik van installaties en tijdens transport. In de olie- en gasector speelt ook het affakelen of afblazen van gas, dat soms voor de veiligheid nodig is, een rol. Ook bij geothermie kan dit een rol spelen als er aardgas mee naar boven wordt gehaald. Tabel 1 geeft de emissies van koolstofdioxide, methaan, stikstofoxiden en benzeen zoals die zijn opgenomen in de Nederlandse emissieregistratie. De emissieregistratie verzamelt informatie over de emissies van circa 350 voor het milieubeleid relevante stoffen en stofgroepen naar bodem, water en lucht. De gegevens worden ontleend aan e-MJV's van individuele bedrijven en (voor diffuse bronnen) aan berekeningen door taakgroepen. Gegevens worden geregistreerd in de centrale database van de emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl/>) en kunnen per bedrijfsgroep worden opgevraagd. Het meest recente registratiejaar is 2016. Om de getallen voor de SodM-sectoren in perspectief te plaatsen is voor elke stof opgenomen welk percentage van de in Nederland geregistreerde emissie voor die stof is toe te schrijven aan de SodM-sectoren.

Tabel 1 Emissies naar lucht van de sectoren die vallen onder het SodM-toezicht, voor zover opgenomen in de Nederlandse emissieregistratie (zie hoofdstuk 6 voor details).

stof	koolstof-dioxide	methaan	stikstof-oxiden	benzeen
emissie naar lucht*	1.708.190 (1%)	21.971 (3%)	4.049 (1%)	234 (10%)

* Hoeveelheden zijn in ton voor 2016. Tussen haakjes is weergegeven welk percentage van de in Nederland geregistreerde emissie voor die stof is toe te schrijven aan 'mijnbouwactiviteiten' (inclusief transport) [5]

De emissie van de broeikasgassen kooldioxide en methaan en van stikstofoxiden vanuit de SodM-sectoren bedraagt 1-3% van het Nederlands totaal. De emissie van benzeen naar lucht is 10% van het nationaal totaal.

3.3 Water

Mijnbouwactiviteiten leiden tot emissies naar water. In regulier bedrijf gaat het vooral offshore om emissies naar het zeewater. Onshore zijn de emissies niet opgenomen in de emissieregistratie.

Bij calamiteiten kunnen extra emissies naar zee, oppervlaktewater en grondwater optreden, met vervuiling tot gevolg. Vervuiling van grondwater kan een bedreiging vormen voor de mens (landbouw en drinkwatervoorziening), grondwaterafhankelijke ecosystemen en het oppervlaktewater-ecosysteem.

In oktober 2018 lekte aardgascondensaat vanuit een bedrijventerrein bij Farmsum naar het oppervlaktewater. De gevolgen van deze lekkage zijn op dit moment nog niet duidelijk.

Tabel 2 geeft de belasting van het oppervlaktewater door benzeen, loodkwik- en zinkverbindingen. Ter vergelijking is voor elke stof opgenomen welk percentage van de in Nederland geregistreerde emissie voor die stof is toe te schrijven aan de SodM-sector.

Tabel 2 Belasting van het oppervlaktewater door de sectoren die vallen onder het SodM-toezicht, voor zover opgenomen in de Nederlandse emissieregistratie.

stof	benzeen	loodverb.	kwikverb.	zinkverb.
emissie*	43.800	813	2 (0,3%)	24.110
oppervlaktewater	(51%)	(1,4%)		(4%)

* Hoeveelheden zijn in kg voor 2016. Tussen haakjes is weergegeven welk percentage van de in Nederland geregistreerde emissie voor die stof is toe te schrijven aan 'mijnbouwactiviteiten' [6]

In 2016 was 51% van de belasting van het oppervlaktewater met benzeen toe te schrijven aan de mijnbouwsector. De belasting van het oppervlaktewater door lood, kwik en zinkverbindingen ligt tussen de 0,3 en 4% van het Nederlands totaal.

3.4 Bodem

In regulier bedrijf, zonder incidenten, zijn de emissies van mijnbouwactiviteiten naar de bodem beperkt. De emissieregistratie bevat geen gegevens voor de lozing naar bodem door 'mijnbouwactiviteiten'. Toch treden er wel emissies op. Zo is de Groningse bodem op een aantal plekken verontreinigd met barium dat tijdens het boren uit de

boorvloeistof naar de bodem gelekt is. Recent is het vermoeden ontstaan dat lekkages in het gastransportnet lokale bodemverontreiniging met benzeen veroorzaken. Onderzoek naar omvang van de verontreiniging loopt nog.

Ook incidenten kunnen tot emissie naar de bodem leiden. Zo kwam, als gevolg van lekkende leidingen bij de zoutwinning, in 2017 250 m³ en in 2016 1400 m³ met dieselolie vervuild pekewater in de Twentse bodem terecht [7].

3.5 Diepe ondergrond

Bij mijnbouwactiviteiten worden delfstoffen uit de diepe ondergrond gehaald, maar er worden ook afvalstromen en hulpstoffen teruggebracht in de diepe ondergrond. Bij olie- en gaswinning wordt productiewater afgescheiden (zie paragraaf 6.1.2 voor een definitie). Het productiewater wordt binnen het Landelijk afvalbeheerplan (LAP3) gezien als een afvalstroom die onder voorwaarden in de diepe ondergrond geïnjecteerd mag worden. Meestal wordt het productiewater geïnjecteerd in het reservoir, de poreuze gesteentelaag waar olie of gas zich bevindt. Het gaat om grote hoeveelheden, in 2015 ruim 10 miljoen m³ voor de gehele sector. Bij geothermie wordt injectiewater (met mijnbouwhulpstoffen) weer in de oorspronkelijk geologische formatie gebracht. Ook bij fracken worden mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond gebracht. Tot slot wordt de diepe ondergrond (gasvelden, zoutcavernes, voormalige mijnen) gebruikt voor het opslaan van stoffen zoals aardgas, gasolie of stikstof.

De geologische formaties waar mijnbouwactiviteiten plaatsvinden, zijn vrijwel altijd van de hoger gelegen lagen afgesloten met één of meerdere niet-doorlatende lagen. Door het doorboren van de afsluitende lagen kunnen grondwaterstromen (kortsluitingsstromen) ontstaan. Ook bij het doorboren van watervoerende lagen is het voorkomen van lekkages van belang. Tot slot bestaat de kans dat stoffen uit de diepe ondergrond zich langs het boorgat of door scheuren in de afdekkende lagen omhoog werken. Als gevolg hiervan zouden stoffen uit de diepe ondergrond en mijnbouwhulpstoffen, bijvoorbeeld diesel, in de bodem en het grondwater terecht kunnen komen.

Of en hoe mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond worden afgebroken is op dit moment niet duidelijk. Omdat er op die diepte geen biologische activiteit is, kan afbraak alleen abiotisch plaatsvinden. Het enige relevante mechanisme kan dan hydrolyse zijn, maar lang niet alle mijnbouwhulpstoffen zijn via hydrolyse afbreekbaar. Adequate risicoberekeningen om de afbraakprocessen op basis van geologische informatie te onderbouwen, zijn niet beschikbaar. Ook is onbekend hoe dit zich op een geologische tijdschaal ontwikkelt.

Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en om beter inzicht te krijgen in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond is nader onderzoek nodig.

4 Mijnbouwhulpstoffen

4.1 Algemeen

Bij een aantal mijnbouwactiviteiten (olie- en gaswinning, geothermie, zoutwinning) worden mijnbouwhulpstoffen gebruikt.

Mijnbouwhulpstoffen worden gebruikt voor uiteenlopende doelen:

- om corrosie van metalen te voorkomen (corrosieremmers);
- om bacteriën (vooral H₂S producerende) te doden (biociden);
- om oplossen van het caverne dak bij zoutwinning te voorkomen (dieselolie);
- om schuimvorming tegen te gaan (schuimremmers)
- om afzetting van metaalzouten (o.a. ijzeroxide) te voorkomen (anti-scaling);
- om de vorming van gashydraat te voorkomen (gashydraatremmers);
- om injectievloeistof in te dikken (gelvormers);
- om migratie of zwellen van kleideeltjes te voorkomen (kleistabilisatoren);
- om parafinevorming (in olie) te voorkomen (parafineremmers);
- om bij fracking de geïnduceerde kanalen open te houden (proppants);
- om emulsievorming te voorkomen (emulsiebrekers);
- om de doorstroming van olie of gas te vergemakkelijken (smeermiddelen);
- om bepaald gesteente beter doorlatend te maken (zuren);
- om olie en water beter te emulgeren (oppervlakte-actieve stoffen);
- om bij scheiding van olie en water meer olie vrij te maken (waterzuiveraars).

Mijnbouwhulpstoffen worden meestal in een pakket bij een mijnbouwproject aangeleverd dat is geoptimaliseerd voor een bepaalde toepassing en voor de lokale (geologische) omstandigheden. De precieze samenstelling van zo'n pakket is, op commerciële gronden, meestal niet bekend bij de operator, maar wel bij het SodM. Ook moet de leverancier volgens de REACH-verordening (zie paragraaf 4.2.1) een Veiligheidsinformatieblad aan de operator beschikbaar stellen voor alle stoffen die in het pakket aanwezig zijn. In 2016 werd in Nederland bij de offshore olie- en gaswinning ongeveer 18 miljoen kilo mijnbouwhulpstoffen gebruikt.

Mijnbouwhulpstoffen kunnen gevaarlijke stoffen zijn met risico's voor mens en milieu. Het kan gaan om veiligheidsrisico's (brand, explosie, verstikking), gezondheidsrisico's (blootstelling aan giftige of carcinogene stoffen) of emissie naar lucht, bodem en grond- of oppervlaktewater die tot aantasting van het ecosysteem kunnen leiden. Ook in het productiewater van de olie- en gaswinning kunnen mijnbouwhulpstoffen daarom een probleem vormen. Eén van de doelen in landelijk afvalbeheerplan (LAP3) is de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater zo veel als redelijkerwijs mogelijk is terug te dringen. In de Milieueffectrapportage (MER) voor de 'herafweging productiewater

Schoonebeek' [8] is één van de doelen: 'Het gebruik van mijnbouwhulpstoffen dient zoveel mogelijk beperkt te worden en de toegevoegde stoffen dienen zo veel als mogelijk is verwijderd te worden uit het water. Dit betreft vooral de biociden, zwavelwaterstofremmers en corrosieremmers.' De conclusie van dat MER is dat het technisch mogelijk is om de hoeveelheid gebruikte hulpstoffen verder te minimaliseren, bijvoorbeeld door een andere materiaalkeuze voor de transportleidingen. Naar aanleiding van het MER heeft de operator aangegeven door te gaan met het minimaliseren van het gebruik van mijnbouwhulpstoffen en met de ontwikkeling van nieuwe niet-chemische technieken om gebruik van mijnbouwhulpstoffen te reduceren [9, 10]. Op dit moment is de stand van zaken (bij het RIVM) niet duidelijk.

Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater is nader onderzoek nodig.

4.2 Registratie/toelating

Voor de mijnbouwhulpstoffen zijn een drietal registraties/toelatingen van belang. Doel van de registraties en toelatingen is milieuschade te voorkomen door de hoeveelheid gebruikte chemische middelen te verminderen en waar mogelijk over te stappen op stoffen die minder schadelijk zijn voor het milieu.

Het Europees Agentschap voor Chemische Stoffen (ECHA) in Helsinki is de uitvoeringsinstantie van de Europese Commissie voor het beheren van de registratie van chemische stoffen binnen de REACH verordening (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, EG 1907/2006) en van biociden volgens de biocidenverordening (EU 528/2012). Bij gebruik van chemicaliën offshore geldt naast de REACH- en biocidenverordening de aanvullende Europese verplichting voor het gebruik van mijnbouwhulpstoffen onder het OSPAR-verdrag. Deze zijn vastgelegd in de Mijnbouwregeling, hoofdstuk 9 [11]. Als uitvloeisel van OSPAR geldt een extra registratieplicht. Deze is door het SodM belegd bij het Britse 'Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science' (Cefas). Mijnbouwondernemingen zijn in OSPAR-kader verplicht de milieu-impact van de gebruikte mijnbouwhulpstoffen te verminderen door over te stappen op minder milieubelastende stoffen. Daarnaast verplicht OSPAR bedrijven tot het uitfasen van zeer schadelijke chemicaliën.

4.2.1 REACH

REACH is een Europese verordening voor registratie, beoordeling en toelating van chemische stoffen. Registratie en beheer vinden plaats bij ECHA. Alle stoffen waarvan de productie of import binnen de Europese Economische Gemeenschap (EEG) meer dan 1000 kg per jaar bedraagt (circa 30.000) moeten worden geregistreerd. Om een stof te registreren moet een bedrijf een volledig dossier overleggen. De omvang van het aan te leveren dossier hangt samen met de omvang van het gebruik van de stof. Het dossier bevat de fysisch/chemische eigenschappen van de stof en toxicologische gegevens. Op basis van deze gegevens wordt het gebruik van de stof beoordeeld op de ecologische risico's en de humane risico's. Bij deze beoordeling worden alle toepassingen van de stof

beoordeeld, bijvoorbeeld 'gebruik op een boorplatform' en het vrijkomen van de stof tijdens gebruik. Uiteindelijk levert de chemische veiligheidsbeoordeling in het REACH-dossier voor een stof, voor elk compartiment (zoetwater, zeewater, bodem, enz.) een concentratie op waarbij geen effecten op het milieu en de mens worden verwacht (Predicted No-Effect Concentration, PNEC). De verwachte concentratie in het milieu (Predicted Environmental Concentration, PEC) wordt vergeleken met de PNEC. Als het risico-quotiënt $PEC/PNEC < 1$ is, wordt het ecologisch risico van die stof als acceptabel beoordeeld. Eenzelfde aanpak geldt voor humane toxiciteit. Hier wordt uit de dossiergegevens een Derived No-Effect Level (DNEL) afgeleid. De feitelijke blootstelling wordt vergeleken met de DNEL. Als geldt dat het risico-quotiënt blootstelling/DNEL < 1 is, wordt de situatie als acceptabel beoordeeld. Binnen de EU moeten de veilige concentraties (PNEC's en DNEL's) via een Veiligheidsinformatieblad (VIB, Safety Data Sheet of Extended Safety Data Sheet) en de (nationale) grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling aan gebruikers van de stof gemeld worden. Een VIB bevat blootstellingsscenario's waarin per specifieke toepassing (geïdentificeerd gebruik) van een stof de maatregelen zijn aangegeven die opgevolgd moeten worden om de blootstelling aan gevaarlijke stoffen binnen het veilige niveau te houden. Wanneer een gebruiker een VIB ontvangt, moet hij controleren of zijn eigen vorm van gebruik en zijn gebruiksomstandigheden onder het blootstellingsscenario vallen. Is dat niet zo dan dient binnen twaalf maanden na ontvangst van het VIB voldaan te worden aan het blootstellingsscenario of dient aangetoond te worden dat het eigen gebruik veilig is (onder de veilige grenswaarde ligt). Een aantal stoffen, bijvoorbeeld alle radioactieve stoffen, is uitgezonderd van REACH (REACH, annex IV en V). Een aantal stoffen met mogelijk grote impact voor milieu en/of gezondheid (substances of very high concern, SVHC) is in de autorisatielijst opgenomen (REACH, annex XIV). Als een stof op deze lijst staat, is productie, in de handel brengen en gebruik binnen de EU in principe niet toegestaan. Alleen na expliciete toestemming van ECHA (autorisatie) voor een specifiek gebruik kan dat, meestal voor een beperkte periode, worden toegestaan. Tot slot bevat annex XVII een lijst van stoffen waarvoor binnen de EU een beperking op de productie, invoer of het gebruik geldt.

4.2.2 *Biociden*

Toelating van biociden is apart geregeld. Op Europees niveau is ook ECHA verantwoordelijk om de technische, wetenschappelijke en administratieve aspecten van deze verordening te beheren en in bepaalde gevallen uit te voeren. Nationale toelatingsaanvragen voor biociden in Nederland worden beoordeeld door het College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb). Net als in REACH moet een dossier aan worden geleverd waarin de ecologische en humane risico's worden beoordeeld. Na beoordeling kan een biocide worden toegelaten voor een bepaalde toepassing, bijvoorbeeld voor professioneel gebruik ter bestrijding van bacteriën, schimmels en algen in recirculerende koelwatersystemen. Voor andere toepassingen waarvoor geen toelating is verkregen is zo'n middel dan niet toegelaten.

4.2.3 *Cefas*

Voor toelating en gebruik van chemicaliën voor de olie- en gassector op zee is er een aparte instantie. Cefas is een consultant uit het Verenigd

Koninkrijk die beoordeling en registratie van chemicaliën uitvoert voor de Britse en voor de Nederlandse overheid. Cefas registreert stoffen in overeenstemming met het OSPAR Harmonised Mandatory Control Scheme (HMCS) binnen hun Offshore Chemical Notification Scheme (OCNS) [12]. Chemicaliën krijgen een rangorde op basis van hun berekende Hazard Quotients (HQ, zie Tabel 3). De HQ wordt bepaald met het CHARM-model. CHARM is ontwikkeld in een samenwerking tussen overheden en marktpartijen, the European Oilfield Speciality Chemicals Association (EOSCA), the Global Oil and Gas Industry Trade Association (IOGP) en consultants. CHARM gebruikt gegevens over toxiciteit, bioaccumulatie en biodegradatie uit de OSPAR Harmonised Offshore Chemical Notification Format (HOCNF). De HQ's worden aangegeven in kleurbanden:

Tabel 3 Offshore Chemical Notification Scheme Cefas met de indeling van de Hazard Quotients, HQ in kleurbanden

Minimum HQ value	Maximum HQ value	HQ Colourband	
> 0	< 1	Gold	Lowest hazard  Highest hazard
≥ 1	< 30	Silver	
≥ 30	< 100	White	
≥ 100	< 300	Blue	
≥ 300	< 1000	Orange	
≥ 1000		Purple	

Afhankelijk van de toepassing worden door Cefas stoffen onderverdeeld naar activiteit in: productie, boren, cementeren en buitengebruikstelling. Cefas publiceert een lijst met toegelaten chemicaliën (in Nederland en in de UK), betrokken bedrijven, HQ Colourband, toepassing en vertaling van de HQ Colourband naar de Nederlandse HMCS-kwalificatie die vastgelegd is in het Mijnbouwbesluit. De lijst wordt twee keer per week geactualiseerd [12].

Cefas controleert (op nummer) of de gebruikte stoffen zijn toegelaten op de Nederlandse markt. Er wordt niet beoordeeld of het gebruik van de chemicaliën in overeenstemming is met het gebruik in het VIB en de daarin opgenomen blootstellingsscenario's (geïdentificeerd gebruik).

Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt) is nader onderzoek nodig.

Ondernemingen leggen de op een productielocatie gebruikte stoffen vast in een 'Chemical managementsystem'. Stoffen worden opgenomen met hun registratienummer en recente veiligheidsinformatie. Met dit managementsysteem kan een onderneming aantonen dat de gebruikte stoffen zijn toegelaten in het kader van REACH, de biocidenverordening, OSPAR en de Nederlandse wetgeving (Mijnbouwwet, Besluit Algemene regels Milieu Mijnbouw en de Arbeidsomstandighedenwet). Ook hier geldt dat er geen beoordeling plaatsvindt of het gebruik van de chemicaliën in overeenstemming is met het gebruik in het VIB en de daarin opgenomen blootstellingsscenario's (geïdentificeerd gebruik).

5 Integriteit boorputten

Om de diepe ondergrond te bereiken moet de boor bodem en vaak ook watervoerende pakketten passeren. Lekkage van de wanden van de geboorde put of incidenten tijdens het boren kunnen direct gevolgen hebben voor de kwaliteit van de bodem, het grondwater, het drinkwater en voor de gezondheid van mensen. De integriteit van de boorput is daarbij van doorslaggevend belang. De Mijnbouwwet bevat technische voorschriften om die integriteit te waarborgen. In Nederland is de diepe ondergrond en de geologische karakteristieken daarvan relatief goed in kaart gebracht. In de olie- en gassector is er veel expertise op het gebied van boren. De kans op onvoorziene zaken zoals oppervlakkige lekkages of een blow-out met lekkage vanuit de buis is daardoor duidelijk verlaagd. Lekkages langs het boorgat en op grotere diepte zijn niet uitgesloten (zie paragraaf 3.5).

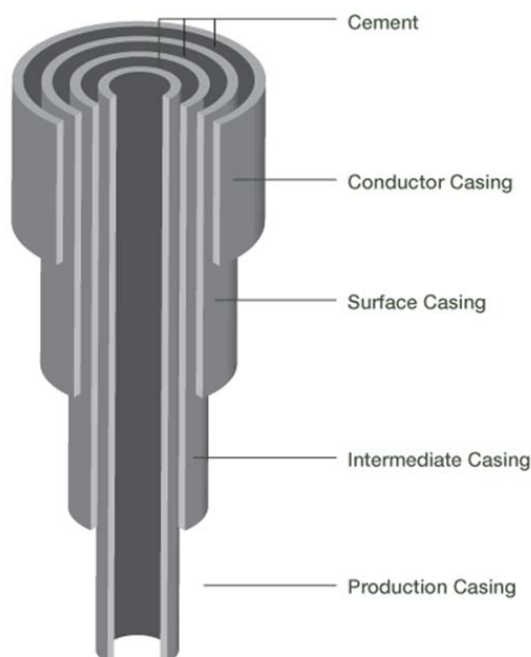
Hieronder wordt per sector beschreven welke eisen er aan de boorput worden gesteld.

5.1 Exploratieboringen

Exploratieboringen zijn nodig om de aanwezigheid van delfstoffen aan te tonen, en dienen niet ter toekomstige productie. Er zijn beperktere onderdelen nodig. Zo wordt er geen casing over het reservoir geplaatst, is de diameter van het boorgat kleiner, wordt de verbuizing in minder zwaar staal uitgevoerd en is er minder cement nodig. Afsluiten van een exploratieboring vindt in principe op dezelfde manier plaats als een productieboorput (zie paragraaf 5.5).

5.2 Olie en gas

Door de watervoerende en scheidende lagen moet eerst een conductor (een zware stalen pijp) worden geheid. Deze conductor is de eerste beschermlaag tussen boorgat en bodem. Alle boringen vinden plaats binnen deze pijp. Bij olie- en gaswinning wordt meervoudige verbuizing toegepast met buizen van steeds afnemende diameter. Tussen de verbuizingen bevindt zich een annulaire ruimte (de ruimte tussen de putbuis en de wand van het boorgat) waarin wordt gemonitord of er een lekkage is van de verbuizing. De rest van de tussenruimte wordt afgesloten met cement. Hierdoor ontstaat een stevige boorput met in de eerste 500 meter een aantal barrières tussen de centrale productiebuizen en de omringende bodem en waterlagen (Figuur 1). De kans op lekkage vanuit de buis naar de omringende gesteentelagen en waterpakketten wordt daarmee duidelijk verlaagd. Door de monitoring kan een eventuele lekkage worden vastgesteld.



Figuur 1 Constructie boorput voor oliewinning (niet op schaal)

<http://johnparkinson.me/subsea-oil-well-casing-diagram.html>

Om verontreiniging vanaf de oppervlakte-installaties te voorkomen worden bodembeschermende voorzieningen en maatregelen getroffen die moeten voldoen aan de eisen die zijn gesteld in de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (categorie A). Enkele voorbeelden: vloeistofdichte vloeren en verhardingen, vloeistofkerende vloeren en lekbakken.

5.3 Geothermie

Net als bij olie- en gaswinning worden bij geothermie ook afsluitende lagen doorboord. Het putontwerp bij geothermie is minder robuust. Vaak bestaat de put uit een conductor en een enkele verbuizing. Ook enkelwandige putten komen voor. Het aantal barrières tussen het omhoog of omlaag stromende zoute water en de omringende bodem en waterlagen is daarmee minder dan bij de productie van olie of gas. Monitoring van lekkage is niet de standaard. Wat betreft het putontwerp is verbetering mogelijk en gewenst zoals ook de brief van de minister van EZK van 8 februari 2018 [13] aangeeft. De provincie Limburg heeft, om de drinkwatervoorziening beter te beschermen, in de omgevingsverordening extra eisen met betrekking tot de boorput opgenomen. Het gaat om minimaal twee fysieke barrières in het boorgat (casing en conductor). De conductor dient geplaatst te worden tot minstens 200 meter onder maaiveld (of tot de eerste slecht-doorlatende laag). De cementatie (opvullen met cement) in de ruimte tussen casing en conductor dient door te lopen tot de eerste slecht-doorlatende laag [14].

5.4 Zout

Bij de zoutwinning wordt een conductor tot de eerste niet-doorlatende laag geheid. Binnen deze conductor wordt een buis tot in de zoutlaag neergelaten. De tussenruimte wordt met cement gevuld. In deze buis

wordt een tweede, smallere buis aangebracht, die enkele meters dieper in de zoutlaag reikt. Door de ruimte tussen de beide buizen wordt water naar beneden geleid waardoor het zout oplost. De hierdoor gevormde pekkel gaat door de druk van het water via de binnenste buis omhoog. Boorputten voor zoutwinning in Twente hebben geen goede track record met betrekking tot veiligheid. Lekkages, zowel in de putten als in de overige transportleidingen, komen regelmatig voor (paragraaf 6.4.6). Verscherpt toezicht vanuit het SodM gecombineerd met planmatig onderhoud door de ondernemers, moeten deze problemen op termijn oplossen.

5.5 Afsluiten boorput

Na de operationele periode, als de winning niet meer economisch rendabel is, wordt de boorput afgesloten. Op verschillende dieptes wordt cement in de productiebuis geïnjecteerd. Dat cement hecht zich aan de wand en hardt uit, waardoor er op verschillende dieptes 'proppen' ontstaan. De bovengrondse installaties worden verwijderd en de verbuizing wordt 6 meter onder het maaiveld (of onder de zeebodem) afgezaagd en met een laatste hoeveelheid cement afgesloten. Dan wordt de put verlaten. Er is geen wettelijke verplichting tot monitoring, waardoor verlaten putten vrijwel niet worden gemonitord. Het is onduidelijk of deze manier van afsluiten op de korte en lange termijn emissies naar lucht, bodem of grondwater kan voorkomen. Het afsluitende cement kan krimpen, scheuren of degraderen waardoor methaan (met de daarin aanwezige verontreinigingen zoals benzeen) tussen de verbuizing en de proppen omhoog komt en uiteindelijk in de atmosfeer of in de bodem terecht kan komen. Voorbeelden van dergelijke lekkages zijn bekend (zie paragraaf 6.3.3 of 6.4.6).

Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).

6 Milieuaspecten per sector

6.1 **Olie en gas offshore**

6.1.1 *Algemeen*

Er zijn ongeveer 160 productielocaties voor olie- en gaswinning in het Nederlandse deel van de Noordzee. Het merendeel ligt in het centrale gedeelte van de Noordzee. Enkele platforms liggen binnen de territoriale wateren (12-mijls zone). In totaal wordt er jaarlijks ongeveer 1 miljoen kubieke meter olie en 13 miljard kubieke meter gas gewonnen [15].

6.1.2 *Productie*

In de productiefase wordt de delfstof (olie, gas) via de productiebuis omhoog gebracht naar het productieplatform. Met de delfstof komt een grote hoeveelheid water uit de geologische formatie mee, het zogenaamde formatiewater. Daarnaast komt een mix van chemische stoffen mee zoals zware metalen (kwik, cadmium, lood, zink en nikkel) en aromaten (benzeen, BTEX en PAK's). Ook radioactieve stoffen (radon, radium, lood) kunnen mee komen. Tot slot bevat de mix een gedeelte van de mijnbouwhulpstoffen die deels gereageerd hebben tot andere verbindingen.

6.1.3 *Productiewater*

Op het platform wordt de delfstof afgescheiden van het productiewater. Een deel van de stoffenmix zal in de delfstof blijven en een deel komt in het productiewater terecht. Van de mijnbouwhulpstoffen komen vooral de corrosieremmers, anti-scaling, gashydraatremmers en de biociden in het productiewater terecht. Het productiewater bestaat dus uit formatiewater met daaraan toegevoegd een deel van de gebruikte mijnbouwhulpstoffen. Gemiddeld gaat het om 10-12 miljoen m³ productiewater per jaar [16]. Het productiewater kan worden geïnjecteerd in het productiereservoir of in een naburig reservoir of worden geloosd op het zeewater.

6.1.3.1 *Injectie*

De Structuurvisie Ondergrond [17] (hierna: Strong) merkt over de injectie van productiewater het volgende op. De injectie moet gebeuren onder strenge wettelijke voorschriften en veiligheidseisen. Het risico op seismiciteit en het risico op lekkage van productiewater uit een transportleiding zijn belangrijke aandachtspunten. De injectie van productiewater wordt beoordeeld aan de hand van een door het Staatstoezicht op de Mijnen ontwikkeld (concept-)protocol, vastgelegd in een convenant met de Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie (NoGePa) [18]. Dit protocol uit 2004 is verouderd en sluit niet aan bij het nationale waterbeleid, zoals vastgelegd in het Nationaal Waterplan en bij het afvalbeleid zoals vastgelegd in het LAP3.

Om de beoordeling van injectie van productiewater door het SodM in overeenstemming te brengen met het vigerende beleid (LAP3, Nationaal Waterplan) en met de stand der techniek met betrekking tot mogelijke alternatieven voor waterinjectie is actualisatie van het SodM-protocol nodig.

Injectie van productiewater in dezelfde gesteentelaag als waar de delfstof vandaan komt is in principe toegestaan. Hierbij geldt dat als het productiewater mijnbouwhulpstoffen en hun reactieproducten bevat, deze injectie 'vreemde' stoffen aan de diepe ondergrond toevoegt. Voor het injecteren van productiewater in een andere maar vergelijkbare geologische samenstelling wordt van geval tot geval beoordeeld of de (natuurlijke) stoffen overeenstemmen met de stoffen op de plaats waar de injectie plaatsvindt.

6.1.3.2 Lozing op zee

Het OSPAR-verdrag bevat specifieke maatregelen om het (lokale) zeemilieu te beschermen tegen de lozing van chemicaliën vanaf mijnbouwinstallaties op de Noordzee. Daarnaast bevat OSPAR doelstelling voor gebruik, reductie en lozing van chemicaliën. Bij lozing van productiewater op zee is een OSPAR-ontheffing, afgegeven door het SodM, nodig. Aan deze ontheffingen kunnen voorschriften en beperkingen worden gekoppeld. Om zo'n ontheffing te kunnen afgeven is goed inzicht nodig in de samenstelling van het te lozen productiewater. Deze samenstelling wordt alleen voor de grootste lozingen op de Noordzee gemonitord (door Deltares en Wageningen University & Research). Voor de mijnbouwhulpstoffen wordt daarbij uitgegaan van de oorspronkelijk toegevoegde stoffen, waardoor hun reactieproducten minder goed in beeld zijn.

Om een vollediger beeld van de door de offshore olie en gaswinning op zee geloosde stoffen te krijgen is een meer gedetailleerde monitoring van mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten in het productiewater bij een groter aantal productieplatforms nodig.

De (eco)toxiciteit van het op zee te lozen productiewater wordt bepaald met behulp van het 'Chemical Hazard Assessment and Risk Management' (CHARM)-model. CHARM is ontwikkeld in een samenwerking tussen overheden en marktpartijen (European Oilfield Speciality Chemicals Association (EOSCA), Global Oil and Gas Industry Trade Association (IOGP), consultants). Bij het bepalen van de (eco)toxiciteit gebruikt CHARM eigen Assessment Factors (AF's) voor de chemische stoffen in het productiewater. Deze AF's verschillen van de PNEC's voor die stoffen die in REACH worden gebruikt. Gebruik van andere gegevens bij het bepalen van ecotoxiciteit dan die uit REACH, kan gevolgen hebben bij de beoordeling of een ontheffing in OSPAR-kader kan worden afgegeven.

Om duidelijkheid te verkrijgen over de verschillen tussen de ecologische beoordeling van lozingen van productiewater op zee volgens het CHARM-model en de ecologische risicobeoordeling volgens REACH is nader onderzoek nodig.

Naast productiewater zijn er ook lozingen van afspoelend dekwater of regen-, schrob- en spoelwater. Deze lozingen hebben geringe impact vergeleken met het productiewater en worden niet gereguleerd.

6.1.4 *Natte sludges, radioactiviteit*

Bij het afscheiden van delfstof kunnen natte sludges (mengsels van vloeibare en vaste stoffen) ontstaan. In totaal ging het voor de off- en onshore olie- en gaswinning in 2015 om ongeveer 750 ton sludges.

Sludges worden tijdelijk opgeslagen in tanks die als ze vol zijn naar land worden afgevoerd. Sludges bevatten, naast mijnbouw hulpstoffen, ook natuurlijke radioactieve stoffen (NORM), meestal radium [19]. Een deel van de sludges kan na bewerking worden hergebruikt in bouwmaterialen. Een ander deel kan na bewerking dienen als bodemstabilisator. Tot slot is er een deel dat naar de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) moet worden afgevoerd. In 2018 moet Nederland voldoen aan de algemene Europese regelgeving voor radioactieve stoffen. Als deze regelgeving zonder meer ('beleidsarm') wordt overgenomen, zal meer afval als radioactief materiaal moeten worden behandeld [19].

6.1.5 Emissies

Uit de Nederlandse emissieregistratie zijn drie categorieën gekozen die voor offshore olie- en gaswinning van belang zijn:

- olie- en gaswinning continentaal plat (totaal);
- aardolie- en gaswinning, affakkelen, offshore;
- aardolie- en gaswinning, afblazen, offshore.

Om een indruk te krijgen van de emissies bij de offshore olie en gaswinning zijn voor enkele representatieve stoffen de emissie in het jaar 2016 opgezocht. Het gaat om emissies van kooldioxide, methaan, stikstofoxiden en zwaveloxiden naar lucht en van benzeen, lood, kwik en zink naar zee.

Tabel 4 Emissie naar lucht van de offshore olie- en gaswinning in ton voor 2016[20]

	kooldioxide	methaan	stikstofoxiden	zwaveloxiden
continentaal plat (totaal)	1.355.000	8.480	3.190	31
affakkelen	9.558	2	-	-
afblazen	1.771	8.353	-	-

Tabel 5 Belasting oppervlaktewater door offshore olie- en gaswinning in kg voor 2016[21]

	benzeen	loodverb.	kwikverb.	zinkverb.
continentaal plat (totaal)	43.800	813	2	24.110

6.1.6 Affakkelen en afblazen van aardgas

Affakkelen en afblazen van aardgas is alleen toegestaan wanneer dit om veiligheidsredenen nodig is, bijvoorbeeld bij onderhoudswerkzaamheden of bij een calamiteit. Rond affakkelen en afblazen speelt de klimaatproblematiek een rol en er is door veranderde Europese regelgeving een nieuw juridisch kader nodig in verband met (radioactief) radon.

Klimaat

Zowel bij affakkelen als bij afblazen komen de broeikasgassen CO₂ en CH₄ vrij. Als afblazen vervangen kan worden door affakkelen verschuift de emissie van voornamelijk CH₄ naar voornamelijk CO₂. Dat kan een belangrijke reductie van de bijdrage aan klimaatverandering betekenen omdat CH₄ een 21 keer zo sterk broeikas effect heeft als CO₂.

Er zijn nog andere argumenten die de keuze mede bepalen. Affakkelen leidt bijvoorbeeld tot verstoring en slachtoffers bij zeevogels.

Om inzicht te krijgen in de bijdrage die het vervangen van afblazen door affakkelen aan de Nederlandse klimaatdoelstelling kan leveren is nader onderzoek nodig. Daarbij is van belang of deze vervanging op een veilige manier kan plaatsvinden en of vervanging in verband met andere emissie en/of hinder mogelijk is.

Radon

In aardgas zit van nature een kleine hoeveelheid radongas. Dit radongas wordt met het aardgas naar de afnemer getransporteerd. Radon is radioactief, en wanneer dit wordt ingeademd worden mensen blootgesteld aan ioniserende straling. De blootstelling aan straling door het affakkelen of afblazen van aardgas was tot 2018 niet gedekt door regels en voorschriften.

Sinds 6 februari 2018 is richtlijn 2013/59/Euratom van kracht. Hierdoor kan het affakkelen en afblazen van aardgas met ingang van deze datum niet meer worden uitgesloten van regelgeving [22]. Omdat de bijdrage aan de effectieve dosis door affakkelen of afblazen van aardgas vrijwel zeker lager is dan 10 µSv/jaar komen affakkelen en afblazen in aanmerking voor specifieke vrijstelling van wettelijke controle door de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming [22].

6.1.7

Fracken

Hydraulische putstimulatie (fracken) is een techniek om olie of gas vanuit het reservoir beter naar de boorput te laten stromen. Fracking op zee is niet anders dan op land. Voor de beoordeling van de milieurisico's van fracking wordt verwezen naar paragraaf 6.2.7. Het enige verschil is dat offshore het 'flow-back'-water na zuivering, met een OSPAR-ontheffing, op het zeewater mag worden geloosd.

6.1.8

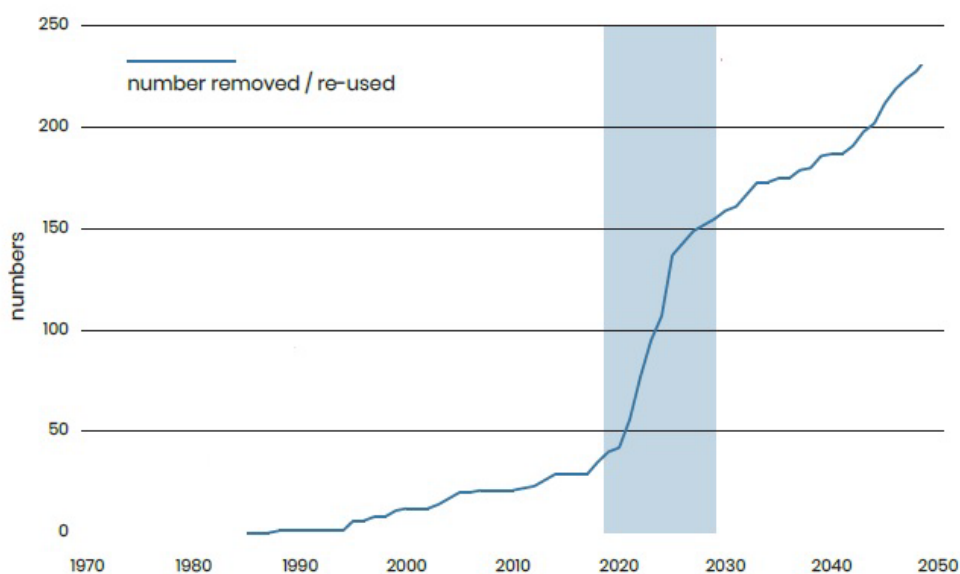
Ontmanteling

Sinds 1988 zijn 24 productieplatforms verwijderd en deels (13) hergebruikt. Hergebruik betekent meestal dat het platform na renovatie op een andere locatie wordt ingezet. Het OSPAR-besluit 98/3 regelt de verwijdering van mijnbouwinstallaties. Voor Nederland zijn de specifieke eisen vastgelegd in het Mijnbouwbesluit (artikel 5.2.3). Het gaat om grote hoeveelheden afval waarvan een deel door contact met radioactieve stoffen uit de diepe ondergrond (Naturally Occurring Radioactive Material, NORM) radioactief geworden kan zijn. De verbruizing kan scale bevatten dat sterk radioactief kan zijn en om een zorgvuldige behandeling (verwijdering) vraagt.

Tot 2030 zullen veel productieplatforms het einde van hun economische levensduur bereiken (zie Figuur 2). De geschatte kosten voor ontmanteling bedragen € 7 miljard [23].

Bij het toezicht op de ontmanteling zijn het SodM, de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) en het bevoegd gezag (EZK) betrokken. Als het om een installatie buiten de territoriale wateren gaat valt afvoer van de installatie onder de Europese Verordening betreffende de overbrenging van afvalstoffen (EVOA). Als het om een installatie binnen de territoriale wateren gaat is het Besluit melden bedrijfsafvalstoffen en gevaarlijke afvalstoffen van toepassing.

Gezien de omvang van de ontmantelingsopgave, de mogelijke milieurisico's, de gecompliceerde regelgeving en de verschillende partijen die bij het toezicht betrokken zijn is het belangrijk dat er een sluitend toezichtsregime is waarin de verantwoordelijkheden van de verschillende toezichthouders zijn vastgelegd en dat de hele ontmantelingsketen beslaat. Op dit moment is onduidelijk of het toezichtsregime toereikend is om milieurisico's te minimaliseren.



Figuur 2 Cumulatief aantal offshore installaties, dat ontmanteld gaat worden [23]

Om de milieurisico's van de grootschalige ontmanteling van offshore productieplatforms te minimaliseren is het belangrijk een adequaat toezichtsregime te ontwikkelen waarin de verantwoordelijkheden van het SodM, de ILT en het bevoegd gezag zijn vastgelegd en dat de hele ontmantelingsketen beslaat.

De boorput wordt op de in paragraaf 5.5 beschreven manier afgesloten. Het productieplatform wordt afgevoerd (binnen twee jaar) en gereed gemaakt voor hergebruik of gesloopt. Ook de poten van het platform worden, minimaal tot 6 meter onder de zeebodem, verwijderd. Dan wordt de put verlaten. Er is geen wettelijke verplichting tot monitoring, waardoor verlaten putten vrijwel niet worden gemonitord. De effectiviteit van de afsluiting met cement wordt momenteel nader onderzocht (zie paragraaf 6.2.8). Op de termijn van enkele tientallen jaren zou het afsluitende cement kunnen krimpen, scheuren of degraderen waardoor methaan tussen de verbuizing en de proppen omhoog komt en uiteindelijk in de atmosfeer of in de bodem terecht komt. Op zee zullen dergelijke lekkages meestal ongemerkt verlopen, omdat het methaan oplost in het zeewater en zonder monitoring niet wordt gedetecteerd.

6.2 Olie en gas onshore

6.2.1 *Algemeen*

Er zijn in Nederland ongeveer 600 productielocaties op land, vooral in Groningen en Noord- en Zuid-Holland. In totaal wordt er jaarlijks ongeveer 0,2 miljoen kubieke meter olie en 33 miljard kubieke meter gas gewonnen (CBS, 2016).

6.2.2 *Boren en productie*

Het boren naar olie of gas op land verschilt niet essentieel van offshore.

6.2.3 *Productie*

Ook de eerste fase van de productie verloopt gelijk met die bij offshore winning. Uiteindelijk wordt in de bovengrondse installatie de delfstof afgescheiden van het productiewater. Het productiewater bevat een mix van stoffen: zware metalen (kwik, cadmium, lood, zink en nikkel), aromaten (benzeen, BTEX en PAK's), radioactieve stoffen (radium, lood) en mijnbouw hulpstoffen (met hun reactieproducten). In een door NAM opgestelde Milieueffectrapportage [8] zijn alternatieven voor behandeling van productiewater onderzocht:

- Zuivering van productiewater tot zout water dat op zee kan worden geloosd.
- Zuivering van productiewater tot vast zout en water dat op het oppervlaktewater of op zee kan worden geloosd.
- Indikken van het productiewater tot een brijnstream die in lege gasvelden in de diepe ondergrond wordt geïnjecteerd en water dat op het oppervlaktewater kan worden geloosd.
- Injectie van productiewater.

Naar aanleiding van dat MER concludeerde de minister van EZ [24] dat, gezien de milieueffecten, de kortetermijnrisico's, de langetermijnrisico's en de kosten, injectie van productiewater in lege gasvelden op dit moment de beste verwerkingsmethode is.

6.2.4 *Natte sludges*

Ook onshore ontstaan bij de afscheiding van productiewater natte sludges. De problematiek is dezelfde als bij offshore-installaties, met als enige verschil dat onshore de tanks worden geleegd met een vacuümtruck, waarna de sludge wordt afgevoerd (zie paragraaf 6.1.4).

6.2.5 *Emissies*

De Nederlandse emissieregistratie bevat drie emissiegroepen voor onshore olie- en gaswinning:

- olie- en gaswinning land;
- aardolie- en gaswinning, affakkelen, onshore;
- aardolie- en gaswinning, afblazen, onshore.

Om een indruk te krijgen van de emissie door olie- en gaswinning op land zijn de emissies van kooldioxide, methaan, stikstofoxiden en zwaveloxiden naar lucht voor het jaar 2016 opgezocht. Voor de belasting van het oppervlaktewater door de onshore olie- en gaswinning met benzeen, lood-, kwik- en zinkverbindingen bevat de emissieregistratie geen gegevens.

Tabel 6 Emissie naar lucht van onshore olie- en gaswinning in ton voor 2016 [25]

	kool-dioxide	methaan	stikstof-oxiden	zwavel-oxiden
Olie en gas (land, totaal)	296.100	3.777	839	105
affakkelen	39.800	166	-	-
afblazen	488	2.716	-	-

6.2.6 *Affakkelen en afblazen van aardgas*

De problematiek rond het affakkelen en afblazen van aardgas is vergelijkbaar met die bij offshore winning. Ook hier komt radioactief radon vrij. Daarom is ook op land als uitvloeisel van richtlijn 2013/59/Euratom een nieuw beleidskader nodig voor de beoordeling van radongas. Verder is bij de afweging of er afgefakkeld of afgeblazen wordt de klimaatproblematiek van belang. Aanvullend zijn er op land ook andere argumenten die de keuze mede bepalen (zie ook paragraaf 6.1.6). Zo leiden licht, geluid en de zwarte rook die bij affakkelen optreden tot meer hinder bij omwonenden [26].

6.2.7 *Fracken*

Hydraulische putstimulatie (fracken) is een techniek om olie en gas vanuit het reservoir beter naar de boorput te laten stromen. Bij fracken wordt vloeistof onder hoge druk gebruikt om scheuren ('fracks') in de betreffende laag aan te brengen. Meestal zijn die scheuren enkele tientallen meters lang met een doorsnede van enkele millimeters. De scheuren ontstaan in het reservoir op 2-4 km diepte. De frackvloeistof bestaat uit water (100-600 m³) waaraan mijnbouwhulpstoffen zijn toegevoegd. Na het fracken wordt de put schoongemaakt en wordt de frackvloeistof gedeeltelijk (1/3 tot 2/3 deel) teruggewonnen. De rest van de frackvloeistof blijft achter in de geologische formatie. Omdat er op die diepte geen biologische activiteit is, zal de frackvloeistof niet of nauwelijks worden afgebroken. Het teruggewonnen water dat tijdens en na het fracken naar boven wordt gepompt bevat, naast de mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten daarvan, chemische en radioactieve stoffen uit de diepe ondergrond. Het wordt afgevoerd en verwerkt als afvalwater. Om emissie naar het milieu te voorkomen wordt voorafgaand aan het fracken door modelberekeningen vastgesteld of de boorput de verhoogde druk en temperatuur tijdens het fracken kan doorstaan. Om micro-aardbevingen te voorkomen wordt rond de put extra seismisch onderzoek naar breuken uitgevoerd. Tijdens het fracken wordt gemonitord of de maximale druk niet wordt overschreden. Het Besluit algemene regels milieu mijnbouw (BARMM) en de Richtlijn bodembescherming (NRB) bevatten nog aanvullende regels om milieuschade te voorkomen. Sinds 1954 heeft fracken in Nederland 338 keer plaatsgevonden. Hierbij hebben zich geen incidenten met gevolgen voor mens en milieu voorgedaan [27]. Deze ongevalsanalyse is achteraf uitgevoerd en was niet gedetailleerd.

Om de risico's van fracken in beeld te brengen is nader onderzoek nodig. Daarnaast is onderzoek nodig naar het precieze lot van de in de diepe ondergrond achterblijvende frackvloeistof.

6.2.8 *Ontmanteling*

Op land is ontmanteling geregeld via het Mijnbouwbesluit (artikel 5.1.4). Voor het mijnbouwwerk wordt een sluitingsplan ingediend dat door het SodM wordt beoordeeld. De feitelijke ontmanteling verloopt hetzelfde als

bij offshore mijnbouwinstallaties. De bovengrondse installaties worden verwijderd en de verbuizing wordt 6 meter onder het maaiveld afgezaagd en met een laatste hoeveelheid cement afgesloten. Op land wordt de put daarna gedurende zes maanden gemonitord. Na die periode wordt het terrein zo veel mogelijk in de oorspronkelijk staat teruggebracht. Ook hier geldt dat de afgevoerde verbuizing sterk radioactieve scale kan bevatten wat om een zorgvuldige behandeling (verwijdering) vraagt.

Zoals in paragraaf 5.5 aangegeven, is er onduidelijkheid over de kwaliteit van cement als afsluiting op de langere termijn. Onderzoek van ECN bij 185 van de 1312 buiten gebruik gestelde boorputten liet zien dat er 'geen relevante methaanemissies' te meten waren. Toch waren niet alle boorputten goed afgesloten. Bij 29 verlaten putten werden 'reguliere gasbelletjes' waargenomen in de putkelder [28]. Volgens onderzoekers van de universiteit Utrecht en TNO lekken er in Nederland naar schatting enkele tientallen tot een paar honderd verlaten putten, maar is de totale hoeveelheid methaan die uiteindelijk de lucht ingaat waarschijnlijk klein, ook omdat het gas in de bodem reageert met zuurstof [29].

Recent is bij een oude gaswinningslocatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) in Monster methaan in de bodem aangetroffen bij een in de jaren negentig afgesloten put. De lekkage is relatief gering, 4 liter methaan per etmaal. De NAM gaat de boorput openen en opnieuw afsluiten. Het repareren zorgt voor overlast bij omwonenden: geluid, gezondheidsklachten als gevolg van de rookgassen van de dieselgeneratoren en schade aan de woningen door trillingen [30].

Er is in Nederland weinig ervaring met lekken uit afgesloten putten. Het is niet bekend welke omvang van lekkage verwacht kan worden en er is geen normering voor welke hoeveelheid vanuit milieu of gezondheidsoogpunt acceptabel is.

Om inzicht te krijgen in de omvang van lekkage van afgesloten boorputten in Nederland en de ontwikkeling van deze lekkages in de tijd, is nader onderzoek nodig. Als lekkages structureel blijken, is onderzoek naar stabielere manieren van afsluiten en naar eventuele normstelling nodig.

Bij lekkage in het open veld naar de buitenlucht liggen veiligheidsproblemen (explosie, verstikking) niet voor de hand. Bij lekkage onder gebouwen kan er door ophoping van methaan in kruipruimtes of kelders wel een veiligheidsprobleem ontstaan.

6.3 Geothermie

6.3.1 Algemeen

Deze verkenning beperkt zich tot diepe geothermie (dieper dan 500 meter onder maaiveld) omdat die onder het toezicht van het SodM valt. Ondiepe geothermie en warmte-koudeopslag maken geen deel uit van deze milieu-inventarisatie, provincie of gemeente voeren daar het toezicht uit. Bij diepe geothermie wordt met een zogenoemd 'doublet' warm water uit de diepe ondergrond naar de oppervlakte gebracht. Dat water is zout, bevat mijnbouw hulpstoffen en chemische en radioactieve stoffen uit de diepe ondergrond. In de productiebuisc wordt het warme water opgepompt (op twee kilometer diepte is de temperatuur van het water ongeveer 70 °C). Nadat een deel van de warmte in een warmtewisselaar is onttrokken, wordt het water via de injectiebuisc

teruggepompt naar dezelfde watervoerende laag. Zo verandert de druk in die laag nauwelijks. De afstand tussen het productiepunt en het injectiepunt bedraagt circa 1-2 km.

Internationaal wordt fracking gebruikt om de doorlaatbaarheid van de watervoerende lagen te verhogen. In Nederland is fracking bij geothermie nog niet toegepast.

In 2016 waren er in Nederland 14 geothermie-installaties operationeel die samen ongeveer 3 petajoule per jaar produceren. In het Klimaatakkoord is een grote groei voor geothermie voorzien, naar 50 petajoule per jaar in 2030 en naar meer dan 200 petajoule per jaar in 2050.

De geothermie is een relatief jonge sector. Het Staatstoezicht op de Mijnen heeft in 2017 een Staat van de Sector Geothermie gepubliceerd [31]. Daarin signaleert het SodM een aantal problemen die mogelijk gevolgen voor milieu en omwonenden hebben.

6.3.2 *Winningsplannen*

Volgens de Mijnbouwwet moeten ondernemers die een geothermie-installatie gebruiken over een door de minister van Economische Zaken en Klimaat goedgekeurd winningsplan beschikken. Op dit moment beschikt geen enkele ondernemer over een goedgekeurd winningsplan, ook niet voor de operationele winningen. Daardoor is er onvoldoende inzicht in mogelijke gevolgen van de winning voor mensen en milieu en is er ook geen zicht op een ordentelijke ontmanteling van de installatie na de operationele periode.

6.3.3 *Boorputten*

Door een ander ontwerp van de boorput bij geothermie zitten er minder barrières tussen het opgepompte en geïnjecteerde (zout) water dan bij de olie- en gaswinning. Dat betekent kans op lekkage van zout water met mijnbouwhulpstoffen, chemische stoffen en radioactieve stoffen, niet alleen in de diepe ondergrond, maar ook in de hoger gelegen bodemlagen met daarin grondwaterpakketten die voor drinkwaterwinning worden gebruikt. Daarnaast kan, door onvoldoende afdichting van niet-doorlatende lagen, stroming optreden die leidt tot verontreiniging van hoger gelegen, zoete watervoerende lagen met zout water. Incidenten hebben zich al voorgedaan.

Dit risico op grondwater- en bodemverontreiniging kan worden beperkt door gebruik te maken van meerwandige putconstructies, van voldoende corrosiebestendig materiaal in combinatie met adequate lekmonitoring en beheersmaatregelen.

6.3.4 *Testwater*

Als de geothermie-installatie in productie is, gaat het om een vrijwel gesloten systeem en zijn productie en injectie van water in evenwicht. In de opstartfase van een doublet komt formatiewater naar boven bij het ontwikkelen van de putten en het testen daarvan. Het geheel van water dat vrijkomt wordt 'testwater' genoemd. Per put gaat het om 3500-6000 m³. De kwaliteit van het testwater is moeilijk te voorspellen, daarom kan de benodigde lozingsvergunning pas na oppompen van het testwater worden aangevraagd. Op dit moment wordt het testwater per tankwagen afgevoerd en, na eventuele zuivering, geloosd op het

oppervlaktewater. Om daarbij te voldoen aan de Waterwet en het Besluit lozen buiten inrichtingen (Blbi) is meestal een vorm van zuivering nodig. Omdat de aanvraagprocedure voor lozing tijd kost (negen maanden) moeten grote hoeveelheden testwater tijdelijk worden opgeslagen. Het opslaan van testwater op de inrichting valt onder BARMM. Deze opslag brengt risico's mee voor mens en milieu zoals morsen, lekkage, overstort na hevige regenval, enz. Er zijn incidenten voorgekomen waarbij het SodM handhavend heeft moeten optreden. De geothermiesector heeft alternatieven voor het verwerken van testwater onderzocht [32]. Herinfiltreren in de eigen injector en het verdampen van het testwater komen daarin als meest aantrekkelijke opties naar voren. Op dit moment geeft de sector aan dat het niet duidelijk is onder welke voorwaarden (juridisch/beleidsmatig) die technieken kunnen worden toegepast.

Om alternatieven voor het verwerken van testwater in beeld te brengen, het afvoeren van testwater te versnellen en deze alternatieven in het beleidsmatige en juridische kader in te bedden, is nader onderzoek nodig.

6.3.5 *Productie*

Bij veel geothermieputten komt opgeloste olie of gas met het opgepompte water mee, dat moet worden afgescheiden voordat het water kan worden geïnjecteerd. Onvoldoende deskundigheid, onderhoud en beheer van deze scheidingsinstallatie kan tot verontreiniging van de bodem leiden.

Het geïnjecteerde water bevat, naast de oorspronkelijke bestanddelen uit de diepe ondergrond, ook mijnbouwstoffen en hun reactieproducten. Deze worden als 'vreemde' stoffen in het reservoir gebracht. Op dit moment ontbreekt inzicht in de aard en hoeveelheid van de mijnbouwstoffen die worden geïnjecteerd. Ook is niet duidelijk op welke termijn deze stoffen worden afgebroken en of zij zich (opwaarts) kunnen verplaatsen.

Om een goed beeld te krijgen van omvang en aard van de mijnbouwstoffen en hun reactieproducten die bij geothermie worden geïnjecteerd en naar afbraak en (opwaarts) transport van deze stoffen is nader onderzoek nodig.

6.3.6 *Radioactiviteit*

Het met het productiewater meekomende aardgas kan ook worden afgafakkeld. Daarbij komt radon vrij dat zich in de atmosfeer verspreidt. Soms wordt de CO₂ van het affakkelen afgevangen om als bemesting in kassen te dienen. Met de CO₂ komt er dan ook radon in de kas terecht. Tijdens de boorfase en de productie ontstaan ook natte sludges. Een eerste schatting is dat het momenteel gaat om circa 60-100 ton/jaar voor de gehele sector [33], en dat deze hoeveelheden, gezien de ontwikkeling van geothermie, aanzienlijk toe zullen nemen. Net als bij de olie- en gaswinning kan sludge radioactief radium en lood bevatten. Daarnaast kan radioactiviteit zich ophopen in ketelsteen (scale) dat zich afzet op verbuizing en installaties. Hoeveel ketelsteen ontstaat, is afhankelijk van de toepassing van scale-inhibitors, die door de vorming van een dunne film op de wand van de buizen het aankoeken van ketelsteen (deels) voorkomen. Een schatting geeft aan dat het om 200-2000 kg per installatie gaat.

Op dit moment kan nog niet worden overzien of het om vrijgestelde, meldingsplichtige of vergunningplichtige sludges en scales gaat.

Het is onvoldoende bekend hoeveel radioactieve sludges en scale bij geothermie ontstaan en wat het stralingsniveau van deze afvalstoffen is

6.3.7 *Ontmanteling*

In Nederland is geen ervaring met het ontmantelen van geothermie-installaties. Daarvoor is de sector nog te jong. Voor het afsluiten van de productie en injectieput gelden in principe dezelfde voorwaarden als bij de olie- en gaswinning.

6.3.8 *Geothermie en seismische activiteit*

Onder de gebieden die de Structuurvisie ondergrond als kansrijk voor geothermie beschouwt bevinden zich ook gebieden met breuklijnen en relatief hoge seismische activiteit. Deze kan van natuurlijke oorsprong (Zuidoost Nederland) of een gevolg van de gaswinning zijn (Groningen). Injectie van water in zo'n gebied kan aardbevingen veroorzaken en, omgekeerd, aardbevingen kunnen tot lekkages van de boorputten leiden. Recent heeft het SodM twee aardwarmteprojecten in Limburg, nabij de Tegelen-breuk, uit voorzorg stilgelegd.

Om inzicht te krijgen of en onder welke voorwaarden geothermie kan worden toegepast in gebieden met breuklijnen en relatief hoge seismische activiteit, is nader onderzoek nodig.

6.3.9 *Bebouwde omgeving*

Geothermie-installaties bevinden zich mogelijk dichterbij woningen en maatschappelijke voorziening dan boorputten voor de winning van olie en gas. Dat zou tot hinder kunnen leiden. Bovendien kunnen incidenten daardoor een grote maatschappelijke impact hebben. Als dit, na een nadere analyse, correct blijkt te zijn, kan overwogen worden of er in de wetgeving minimale afstanden tussen woningen en geothermie-installaties of andere voorwaarden opgenomen dienen te worden.

Om duidelijkheid te krijgen over veilige afstanden tussen geothermie-installaties en woningen, scholen, ziekenhuizen, enz. is nader onderzoek nodig. Afhankelijk van de resultaten daarvan kan worden overwogen om minimale afstanden en voorwaarden in beleid of regelgeving op te nemen.

6.3.10 *Verdienmodel*

Volgens de Mijnbouwwet kan een vergunning op grond van de financiële mogelijkheden van de aanvrager worden geweigerd als onvoldoende verzekerd is dat de aanvrager zal voldoen aan de hem op te leggen verplichtingen. Initiatiefnemers kunnen er daarom belang bij hebben om de business-case rooskleuriger voor te stellen, bijvoorbeeld door niet de kosten van de volledige life-cycle van de geothermie-installatie mee te nemen [31]. Kosten voor onderhoud en incidenten kunnen te laag worden geraamd, evenals de kosten van ontmanteling van de installatie. Er kan worden bezuinigd op de kwaliteit van de gebruikte materialen. Deze gang van zaken levert naast kostenverlaging, een toenemend risico op negatieve milieueffecten op. Het SodM signaleert [31] dat dit tot incidenten kan hebben geleid die mogelijk te wijten zijn aan het

gebruik van inferieure materialen of de inzet van onvoldoende deskundig personeel. Onvoldoende reserveringen kunnen leiden tot faillissement van de ondernemer. Hierdoor zou de maatschappij dan moeten opdraaien voor eventuele gevolgen van incidenten of voor een zorgvuldige ontmanteling van de installatie.

Deze bedrijfscultuur kan de maatschappelijke acceptatie van geothermie negatief beïnvloeden en tot ongerustheid bij omwonenden leiden.

6.3.11 *Versterking sector*

Gezien de verwachte groei van de geothermiesector in de komende tientallen jaren (van 3 naar 200 petajoule) kan de sector een grote impact hebben op mens en milieu, vooral op grondwater, bodem, emissie van radon en radioactief afval. In een brief aan de Tweede Kamer kondigt de minister van EZK een aantal versterkingsmaatregelen aan die 'nodig zijn om de jonge geothermiesector toekomstbestendig te maken' [34]. Het gaat om:

- eisen ten aanzien van interferentie met grondwaterzones;
- eisen om corrosie te voorkomen;
- eisen aan bassins en silo's waarin het testwater wordt opgeslagen;
- eisen ten aanzien van de grootte van de mijnbouwlocatie;
- betere toetsing op financiële draagkracht bij de vergunningverlening;
- vergroten van de kennis van de ondergrond;
- continuïteit van kennis en ervaring;
- vereenvoudiging, stroomlijning en transparantie mijnbouwregelgeving.

6.4 **Zoutwinning**

6.4.1 *Algemeen*

Jaarlijks wordt in Nederland ruim 6 miljoen ton steenzout gewonnen en ongeveer een kwart miljoen ton magnesiumzout. De winning vindt plaats in het noorden en oosten van het land, meestal op een diepte tussen 100 en 1600 meter. Er zijn drie bedrijven actief (AkzoNobel, Frisia en Nedmag) met in totaal 16 winningsvergunningen (1 januari 2018). Winning van zout gebeurt door oplossingsmijnbouw. Er wordt een conductor tot de eerste niet-doorlatende laag geheid. Binnen deze conductor wordt een buis tot in de zoutlaag neergelaten. In die buis wordt een tweede, smallere buis aangebracht, die enkele meters dieper in de zoutlaag reikt. Door de ruimte tussen de beide buizen wordt water naar beneden geleid waardoor het zout oplost. De hierdoor gevormde pekkel gaat door de druk van het water via de binnenste buis omhoog. Dit pekkelwater wordt getransporteerd naar de verwerkingslocatie, waar het zout in een verdampingsinstallatie wordt afgescheiden. Bij de zoutwinning ontstaan zogenoemde zoutcavernes, met pekkel opgevulde holtes in de zoutlaag.

Zoutwinning vindt al sinds 1918 plaats. Enkele recente incidenten zoals de lekkage van met diesel vervuild pekkelwater op het terrein van AkzoNobel en vanuit een zoutcaverne, hebben geleid tot maatschappelijke zorg over de veiligheid en toekomstgerichtheid van de sector. Dat signaleert ook het SodM in 2018 in de Staat van de Sector

Zout [35]. De voornaamste zorgpunten die het SodM signaleert worden hierna behandeld.

6.4.2 *Mijnbouwhulpstoffen*

De zoutwinning gebruikt mijnbouwhulpstoffen, zoals diesel, biociden en anticorrosiemiddelen. Diesel wordt gebruikt om een laag op de pekels te vormen die afbraak van het dak van de caverne voorkomt. Per caverne gaat het om honderden kubieke meters diesel. De mijnbouwonderneming heeft een inspanningsverplichting om de diesel, na afloop van de winning, terug te winnen. De feitelijke terugwinning varieert sterk, van bijna niets tot vrijwel alles. Achterblijvende diesel kan in de diepe ondergrond en het diepe grondwater terecht komen. Onderzoek naar een minder belastende hulpstof, zoals stikstof, is nodig. Bij incidenten kan vervuiling met diesel optreden, aan het oppervlak, in de bodem of in het grondwater. Vooral deze laatste vervuiling is ernstig, grondwater vervuild met diesel is ongeschikt voor drinkwaterwinning en landbouw. Bij Veendam is recent pekels uit een scheur in het dak van een zoutcaverne gestroomd. Op dit moment wordt nog onderzocht of deze lekkage gevolgen heeft voor het grondwater.

Om bodem- en waterverontreiniging terug te dringen en in de toekomst te voorkomen is nader onderzoek nodig naar betere terugwinning van de gebruikte diesel en naar alternatieven voor de bescherming van het caverne dak die minder schadelijk zijn voor bodem en grondwater.

6.4.3 *Opslag in verlaten zoutcavernes*

Verlaten zoutcavernes bieden mogelijkheden voor de opslag van diverse stoffen (CO₂, gasolie, stikstof, waterstof, vlieggas). Ondergrondse opslag wordt besproken in paragraaf 6.5.

6.4.4 *Instabiele zoutcavernes*

In het verleden is soms te veel zout uit een caverne gewonnen en lagen de cavernes te dicht bij elkaar. Dit kan tot instabiliteit van de zoutcavernes leiden. In Twente zijn 61 cavernes mogelijk instabiel. Het is belangrijk deze cavernes goed te monitoren om bijtijds maatregelen te kunnen nemen. Instabiele zoutcavernes kunnen instorten waardoor plotselinge bodemdaling (zinkgat, verdwijngat) optreedt. Instorten levert een groot milieurisico, grote hoeveelheden pekels en diesel kunnen naar de diepe ondergrond lekken. Om instabiele cavernes in de toekomst te voorkomen heeft AkzoNobel de 'Good Salt Mining Practice' (GSMP)-richtlijn ontwikkeld.

6.4.5 *Bodemdaling*

Zoutwinning leidt tot bodemdaling. Die kan geleidelijk verlopen (in een aantal jaren enkele centimeters tot decimeters bodemdaling over een kilometers groot gebied) of plotseling (in enkele uren, enkele meters bodemdaling over een zeer klein gebied). Geleidelijke bodemdaling kan gevolgen hebben voor het peilbeheer van grond- en oppervlaktewater.

6.4.6 *Verontreinigingen tijdens winning*

Transportleidingen (bovengronds of enkele meters onder het maaiveld), putten en cavernes kunnen gaan lekken waardoor pekelswater en diesel in het milieu terecht kunnen komen. Dergelijke lekkages zijn ook daadwerkelijk gevonden. AkzoNobel staat onder verscherpt toezicht

vanwege lekkages door onvoldoende controle en achterstallig onderhoud. In 2017 lekte 250 m³ pekkel de Twentse bodem in, in 2016 1400 m³. Ook lekkages in de boorputten en de cavernes komen voor:

- Eind jaren tachtig lekte in een boorput pekkelwater met diesel weg op een diepte van 50 en 100 meter. Die lekkage werd pas in 2015 ontdekt. In totaal is circa 11 m³ dieselolie en circa 21 m³ pekkel gelekt. Met, volgens berekeningen van AkzoNobel, een verspreiding van maximaal 50 meter (diesel) en 3000 meter (pekkel). Omdat de dichtstbijzijnde waterwinning meer dan 5 kilometer weg ligt is die volgens deze berekeningen niet bedreigd.
- Bij Veendam is onlangs een scheur in het dak van een zoutcaverne van Nedmag ontdekt waardoor pekkel en diesel zijn weggestroomd.

Dit type verontreiniging vormt potentieel een ernstige bedreiging voor mens en milieu.

6.4.7 *Ontmanteling*

Als de toegelaten hoeveelheid zout gewonnen is wordt de boorput buiten bedrijf gesteld. Binnen een jaar dient dan volgens het Mijnbouwbesluit (artikel 39, lid 1) een sluitingsplan te zijn ingediend (het winningsplan van de ondernemer bevat dat niet). Momenteel is er een groot aantal mijnbouwputten buiten bedrijf gesteld waarvoor nog geen sluitingsplan is opgesteld en waarvoor ontmanteling van de installaties nog niet heeft plaatsgevonden. Deze boorputten zijn onvoldoende gezekerd wat gevolgen kan hebben voor het milieu.

Na sluiting wordt de diesel uit de caverne zo veel mogelijk teruggewonnen en de productiebuizen en bovengrondse installaties worden verwijderd. De casing wordt 2,5 meter onder maaiveld afgezaagd en afgedicht met cement. Verlaten putten worden niet gemonitord op lekkage.

Ook na ontmanteling van de put zijn verontreinigingen mogelijk.

- De caverne kan gaan lekken omdat de druk na afsluiting, door instromend zout toeneemt. Het mengsel van pekkelwater en diesel in de caverne, dat nu onder druk staat, kan door haarscheurtjes uit de caverne lekken, waardoor de scheurtjes uitslijten tot een groter lek. Als er zich boven de zoutlaag een ondoordringbare laag bevindt, blijft de vervuiling beperkt tot grote diepte en vormt geen bedreiging voor landbouw en drinkwatervoorziening. Is dat niet het geval, dan kan de verontreiniging het grondwater bereiken met schade voor drinkwatervoorziening en landbouw.
- Als oude boorputten niet zorgvuldig worden afgesloten, kan lekkage van pekkelwater verontreinigd met diesel en andere mijnbouwhulpstoffen optreden naar bodem, grondwater en op maaiveld.

6.4.8 *Verdienmodel*

De vergunningverlener kan in de vergunning financiële eisen stellen aan de ondernemer, waardoor gegarandeerd wordt dat gevolgen van incidenten kunnen worden gesaneerd en dat inactieve putten op een goede manier kunnen worden ontmanteld en verlaten. Als dat onvoldoende gebeurt, kan het betekenen dat de maatschappij uiteindelijk voor deze kosten opdraait.

6.4.9 *Bedrijfscultuur*

Het SodM signaleert dat ondernemingen vooral zijn gericht op het beheersen van de risico's tijdens de winning en het reageren op incidenten [35]. Er is onvoldoende aandacht voor de langere termijn, preventief onderhoud, corrosiebestrijding en goede materiaalkeuze. Er is achterstand bij het op een verantwoorde manier afsluiten en verlaten van putten die uit productie zijn genomen. Transparantie en communicatie over risico's en incidenten met de omgeving (bevoegd gezag, omwonenden) laat te wensen over. Ook de kennis over de processen in de (diepe) ondergrond tijdens de winning en daarna, en de daaraan gekoppelde risico's is onvolledig. Tot slot ontbreekt een visie op en aanpak van de risico's die na de winning kunnen optreden.

6.5 **Ondergrondse opslag**

6.5.1 *Algemeen*

Mijnbouw laat 'ruimtes' achter in de diepe ondergrond die in principe geschikt zijn voor de opslag van stoffen. Op kleine schaal gebeurt dat al (aardgas, gasolie, stikstof). Voor de nabije toekomst is voor ondergrondse opslag van CO₂ een belangrijke rol in het klimaatbeleid voorzien, vooralsnog alleen offshore.

6.5.2 *Andere stoffen dan CO₂*

In Nederland worden op diverse locaties stoffen opgeslagen in de diepe ondergrond. Dit betreft vooral tijdelijke opslag (buffering) van aardgas in gasvelden (bij Langelo en Grijpskerk) om bij koude aan de piekvraag te kunnen voldoen. Ook bij Alkmaar is sinds 1997 zo'n piekgasinstallatie in bedrijf. Verder worden zoutcavernes benut voor opslag van stikstof (Winschoten) en gasolie (Marssteden). In 2011 is een gasopslag in zoutkoepels bij Zuidwending in gebruik genomen.

AkzoNobel heeft een pilot opgezet om te onderzoeken of de opslag van vlieggas, afkomstig van afvalverwerker Twence, in instabiele zoutcavernes mogelijk is. Het mes snijdt dan aan twee kanten. De zoutcaverne wordt gestabiliseerd en het afvalprobleem van Twence is opgelost. Een belangrijk probleem is dat vlieggas als het eenmaal opgeslagen is, in tegenstelling tot olie, aardgas of stikstof, niet meer teruggehaald kan worden. Daarmee voldoet deze opslag niet aan een belangrijke eis uit LAP3. Een tweede probleem is de maatschappelijke onrust die over de mogelijke opslag ontstond. Daarom is AkzoNobel in overleg met Twence en de betrokken gemeenten eind 2015 met de pilot gestopt.

Opslag van andere stoffen zoals perslucht, waterstof of radioactief afval vindt in Nederland niet plaats.

De opslag van de strategische olievoorraad in Twente onder industriegebied Marssteden is in 2014 ter discussie komen te staan na een olie lekkage vanuit een zoutcaverne net over de grens bij het Duitse natuurgebied Amtsvonn. Hierbij is olie via de verbuizing vanuit de caverne aan het oppervlak gekomen met ernstige verontreiniging als gevolg [36].

De technische aanpak in Nederland verschilt van die in Duitsland. In Nederland wordt gebruikgemaakt van dubbelwandige buizen, gevuld met anticorrosievloeistof en drukdetectie. In Duitsland van enkelwandige buizen. In Enschede gaan er twee boorgaten naar de caverne, één om

gasolie in en uit de caverne te pompen en één om pekkel in en uit de caverne te pompen. In Duitsland is er slechts één boorgat. Ondanks deze verschillen ontstond er maatschappelijke onrust over de opslag van de strategische olievoorraad. AkzoNobel besloot daarop in 2017 de opslag niet uit te breiden, hoewel de vergunning dat toestond.

Nadat in 1970 47.000 m³ radioactief afval in een oude zoutmijn in Duitsland (Assse) was opgeslagen bleek deze mijn instabiel te zijn. Instorten van de cavernes dreigt en het radioactieve afval komt in contact met binnen sijpelend grondwater [37]. Uiteindelijk besloot de Duitse overheid in 2010 dat het radioactieve afval zo snel mogelijk naar boven gehaald moet worden.

6.5.3 CO₂

Het regeerakkoord van Rutte III zet in op een grote bijdrage aan de klimaatproblematiek van het afvangen en opslaan van CO₂ in de diepe ondergrond (ondergrondse opslag van 18 megaton CO₂ per jaar in 2030). Het realiseren van deze schaalvergroting zal veel vragen van vergunningverlener en toezichthouder. Op dit moment bedraagt de jaarlijkse CO₂-opslag niet meer dan 20 kiloton in een klein demonstratieveld onder de Noordzee (K12B).

Onshore opslag van CO₂ is niet van de grond gekomen. Een project van SHELL om CO₂ uit Pernis per pijpleiding naar Barendrecht te transporteren en op te slaan in een leeg aardgasveld is na tegenstand van omwonenden in 2010 geschrapt. Ook mogelijke opslag in het noorden (Boerakker, Sebaldeburen of Eleveld) kon niet op maatschappelijk draagvlak rekenen. Omwonenden vinden de garanties dat het CO₂ ingesloten blijft onvoldoende. Zij zijn bang voor ernstige gevolgen als CO₂ mocht vrijkomen, ook al is de kans daarop klein.

Focus is nu op de opslagmogelijkheden voor CO₂ onder zee, bijvoorbeeld voor CO₂ van bedrijven op de Maasvlakte in een leeg gasveld, voor de kust van Rotterdam.

6.5.4 Potentiële risico's

Ondergrondse opslag kan een bijdrage leveren aan de oplossing van maatschappelijke vraagstukken. Nationale en internationale ervaring laat zien dat opslagplaatsen soms worden ingericht zonder adequaat onderzoek, met milieuverontreiniging als gevolg. Het is daarom van belang dat bij het verkennen van de mogelijkheden van ondergrondse opslag, vooraf een analyse van alle potentiële risico's wordt opgesteld, niet alleen op de korte termijn (0-100 jaar), maar ook op lange, geologische termijn (10.000 jaar). Zo'n risicoanalyse kan, in combinatie met open communicatie, bijdragen aan maatschappelijke acceptatie van de ondergrondse opslag.

Om een goede maatschappelijke afweging over ondergrondse opslag te kunnen maken, is een risicoanalyse nodig voor die specifieke opslag die alle potentiële risico's, zowel op de korte termijn (0-100 jaar) als op een geologische tijdschaal (10.000 jaar), in beeld brengt.

6.6 Wind op zee

6.6.1 *Algemeen*

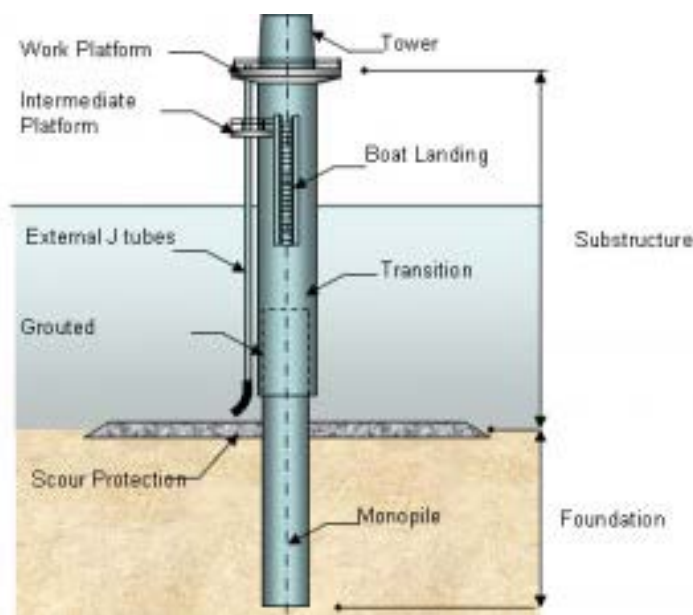
Windenergie op zee moet een belangrijke bijdrage leveren aan een duurzame energievoorziening. In 2023 zal er door windparken op zee 4,5 gigawatt elektriciteit geproduceerd moeten worden. Daarna gaat de ontwikkeling door. In de 'Routekaart windenergie op zee 2030' is een toename met 7 gigawatt in 2030 voorzien. De minister van EZK is samen met de ministers van Infrastructuur en Waterstaat, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties verantwoordelijk voor kavelbesluiten en vergunningverlening. Het toezicht is verdeeld over het SodM, Rijkswaterstaat (RWS), de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) en de Autoriteit Consument en Markt (ACM). Het SodM ziet toe op naleving van de Warenwet, de Arbeidstijdenwet en de Arbeidsomstandighedenwet en (gedelegeerd) op de voorschriften in de kavelbesluiten volgend uit hoofdstuk 6 van het Waterbesluit. RWS ziet toe op naleving van de Waterwet en op de voorwaarden in het kavelbesluit voor bescherming van de ecologische belangen. De NVWA ziet toe op de overige bepaling in de Wet natuurbescherming. De ACM ziet toe op het elektriciteitstransport.

6.6.2 *Aanleg*

Voor de Nederlandse windparken worden zogenoemde monopiles gebruikt. Die bestaan uit een verticale metalen staaf (monopile of funderingspaal) die in de zeebodem wordt geheid. Over de funderingspaal komt een 'transition piece' en daarop de windmolenmast (Figuur 3).

Heien heeft de grootste impact tijdens de aanleg van een windmolenpark. Hierdoor ontstaan sterke geluidsgolven in zee. De grootste effecten ondervinden zeezoogdieren (zeehond, bruinvis, dolfijn). Bruinvissen maken geluid en gebruiken dat om te navigeren. Heien kan die 'echolocatie' verstoren, waardoor de populatie onder druk komt te staan. Ook jonge vissen hebben last van het onderwatergeluid omdat zij stroming gebruiken om zich te verplaatsen en niet actief kunnen vluchten voor het geluid. Het effect van geluid op vissen is nog onvoldoende onderzocht.

Bij aanleg van windmolenparken wordt een aantal maatregelen getroffen om schade door het geluid van heien zo veel mogelijk te voorkomen. Bruinvissen worden weggejaagd met een hard geluid. In het begin van de heiwerkzaamheden is het vermogen laag en stijgt geleidelijk waardoor dieren weg kunnen zwemmen of vliegen. Om aan de geluidsnorm voor onderwatergeluid te voldoen kan een huls rond de hei-installatie of een bellenscherm worden toegepast.



Figuur 3 Schema fundering windmolen op zee (monopile).

<http://coastalenergyandenvironment.web.unc.edu/ocean-energy-generating-technologies/offshore-wind-energy/environmental-impacts-of-inshore-and-offshore-wind-installations/noise/>

Windmolens moeten worden aangesloten op het hoogspanningsnet op land. Daarvoor wordt in een windmolenpark een platform met een transformatorstation gerealiseerd. Vanaf dat transformatorstation gaan elektriciteitskabels door de zeebodem en ondergronds (onshore) naar een transformatorstation op land. Via een hoogspanningsstation vindt aansluiting op het hoogspanningsnet plaats.

6.6.3 Productie

6.6.3.1 Effecten zeewater

Metaalcoatings kunnen desintegreren en dan tot verontreiniging van zeewater leiden. Bij een monopile is de funderingspaal niet gecoat en is het effect op het zeewater beperkt. Bescherming van de metaaldelen tegen corrosie gebeurt meestal met 'opgedrukte stroom'. Hierdoor is het gebruik van opofferingsanodes, die zink aan het zeewater afgeven, niet nodig. Indien er toch opofferingsanodes worden toegepast, dan moeten die van aluminium zijn en zijn er grenzen gesteld aan het gehalte van zware metalen. Op de funderingspaal zal enige aangroei van mosselen en andere zeeorganismen ontstaan, maar die heeft geen gevolgen voor corrosie of sterkte. Daarmee is de impact van de mastconstructie op het zeeleven beperkt.

Windturbines worden gesmeerd. Om vervuiling van de zee door de smeerolie te voorkomen bevatten de turbines 'lekbakken'. Bij de smeerolie gaat het om relatief kleine hoeveelheden. Afgewerkte olie en oliefilters worden opgeslagen in containers die periodiek naar land worden afgevoerd voor verdere verwerking.

Biociden die tot verontreiniging van het zeewater kunnen leiden, worden niet toegepast bij windparken op zee [38].

6.6.3.2 Ecologie

Mogelijke effecten

Een windpark in productie heeft effecten op de ecologie.

- Vogels kunnen geraakt worden door de wieken en verliezen een deel van hun leefgebied. Dit kan worden tegengegaan door de locatiekeuze en grotere windturbines, die per geproduceerde MW aanzienlijk minder vogelslachtoffers maken. Tijdens de vogeltrek kan de rotatiesnelheid van de bladen worden teruggebracht waardoor er minder slachtoffers vallen.
- Vleermuizen die over de Noordzee trekken kunnen door de wieken geraakt worden. Dat kan gedeeltelijk worden voorkomen door de windmolens tijdens de vleermuistrek, als er weinig wind is, stil te zetten.
- Sommige vissen (haaien) en zeezoogdieren (zeehond, bruinvis, dolfijn) zijn gevoelig voor de elektromagnetische velden van de elektriciteitskabels. In ondiep water (bij aanlanding) kunnen die velden een barrière vormen voor die dieren.
- Bodemdieren kunnen baat hebben bij een windmolenpark. Door de funderingspalen en de stortsteen kan 'nieuwe natuur' ontstaan. Bovendien wordt het bodemleven niet langer verstoord door (bodem)visserij.
- Vissen en zeezoogdieren kunnen last hebben van verstoring door vreemde elementen in hun leefgebied. Aan de andere kant bieden windparken een voedselrijk gebied, een schuilplaats en is er geen (bodem)visserij. Er worden initiatieven ondernomen om in de toekomstige windmolenparken nieuwe riffen te ontwikkelen waardoor de biodiversiteit in de Noordzee kan toenemen.

Monitoring

Veel ecologische effecten zijn onvoldoende in beeld. Sinds 2016 loopt een vijfjarig programma om de effecten van operationele windparken te monitoren (Wind op Zee Ecologisch Programma, Wozep [39]). Er wordt gekeken naar effecten op beschermde habitats, soorten zeezoogdieren (bruinvis, zeehonden), zee- en kustvogels, trekkende landvogels, bodemfauna, vis en over de Noordzee trekkende vleermuizen. De resultaten van Wozep kunnen ertoe bijdragen de (cumulatieve) effecten van windmolenparken op de ecologie te minimaliseren.

Cumulatie

Nu het aantal windparken op zee snel toeneemt, kan niet worden volstaan met een ecologische beoordeling van de impact van elk individueel park. Daarom is het 'Kader Ecologie en Cumulatie' (KEC) opgesteld [40]. Binnen het KEC wordt onderzocht wat de gecumuleerde ecologische effecten kunnen zijn van bestaande en in aanbouw zijnde windparken op zee en andere offshore-activiteiten.

6.6.4 Ontmanteling

Windturbines hebben een levensduur van circa 30 jaar. Daarna worden rotor, mast en 'transition piece' verwijderd en afgevoerd naar land. De funderingspalen worden tot 6 meter onder de zeebodem verwijderd. De elektriciteitskabels kunnen worden verwijderd. Als de kabels te diep in het sediment liggen, worden ze achtergelaten.

6.7 Netbeheer gasleidingen

6.7.1 Algemeen

Gasunie Transport Services (GTS), een dochteronderneming van de Nederlandse Gasunie is de netbeheerder van het landelijk gastransportnet in Nederland, in totaal ongeveer 12.000 km. Het gastransportnetwerk van GTS bestaat uit een landelijk hogedruknet (HTL, 65-80 bar) en regionale netwerken (40 bar).

Naast GTS zijn er zeven regionale netbeheerders verantwoordelijk voor het gastransport naar de eindgebruikers. Die beheren het distributienet met middendruk (RTL, 1-8 bar), in totaal circa 34.000 km buisleiding. Uiteindelijk wordt het gas onder lage druk (100 mbar) naar de zogenoemde kleinverbruikers (circa 7,1 miljoen.) getransporteerd. De totale omvang van het lagedruk distributienet is circa 88.000 km. Het SodM houdt toezicht op de veiligheid van het gastransportsysteem. De Autoriteit Consument en Markt houdt toezicht op de kwaliteit van de netwerken, leveringszekerheid en transporttarieven en de Inspectie Leefomgeving en Transport op externe veiligheid.

6.7.2 Aantallen storingen/lekkages

Recent is door KIWA in opdracht van Netbeheer Nederland een uitgebreide analyse van storingen en lekkages in het gastransportnet in 2017 opgesteld [41].

Tabel 7 Aantal lekken en storingen in het regionaal en landelijk gasnet in 2017 [37]

regionaal gasnet (RTL)		landelijk gastransportnet (HTL)	
lekken	storingen	lekken	storingen
37.698	55.503	6	1

De registratie maakt onderscheid tussen lekken en storingen. Een storing hoeft niet altijd tot lekkage te leiden. Ongeveer 25% van de storingen wordt veroorzaakt door graafwerkzaamheden. Het Kadaster wil graafschade beperken door via KLIC informatie over de ligging van kabels en leidingen te verstrekken. Het doel van KLIC is graafschade te beperken. Ook de Wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken (WIBON) wil gevaar of economische schade door beschadiging van ondergrondse kabels of leidingen voorkomen.

Onderzoek van het SodM in 2018, gebaseerd op eigen toezichtcijfers, leidde tot een hogere schatting voor het aantal lekken en verstoringen dan in Tabel 7. Dit onderzoek gaf aan dat er in 2017 ongeveer 60.000 lekken en 78.000 storingen waren [42]. De oorzaak van deze verschillen is niet duidelijk.

Om de oorzaken van het verschil in aantal lekkages tussen de opgave van Netbeheer Nederland en het SodM te achterhalen is nader onderzoek nodig.

6.7.3 Emissies

Gaslekkages leiden tot emissie van vooral methaan. Volgens de nationale emissieregistratie bedroeg de emissie van methaan uit gastransport en distributie in 2016 bijna 10.000 ton. Naast methaanemissie en

bodemverontreiniging kunnen lekkages bij ophoping leiden tot explosie en brand.

Tabel 8 Emissie van methaan uit het gasnet naar lucht in ton voor 2016 [43]

	methaanemissie (2016) ton
Gastransport	4.037
Gasdistributie	5.678
totaal gasnet	9.715

De schatting voor de methaanemissie voor gasdistributie (5678 ton) uit de emissieregistratie komt goed overeen met de waarde van 5710 ton in de rapportage die KIWA in 2017 voor Netbeheer Nederland heeft opgesteld [44].

De emissie door gastransport en distributie bedraagt ongeveer 1,3% van de totale methaanemissie in Nederland in 2016 (798.000 ton). In totaal is er in ongeveer 96 miljard m³ (69 miljoen ton) gas getransporteerd. Dat betekent dat de methaanemissie door transport circa 0,015% van het gastransport bedraagt.

Naast emissies naar lucht die het gevolg zijn van een incident komen ook kleine gaslekken in het gasdistributienet voor. Dit zijn lekkages die niet door mensen geroken kunnen worden. Deze kunnen via zogenoemde lekzoekrondes worden gedetecteerd, maar hoeven, afhankelijk van de klasse-indeling, niet meteen gerepareerd te worden. In 2017 ging het om 4930 van deze niet-urgente lekken [41].

6.7.4 *Bodemverontreiniging*

Bij gaslekken kunnen naast methaan ook andere stoffen in de bodem terecht komen. Recent is het vermoeden ontstaan dat lekkages in het gastransportnet lokale bodemverontreiniging met benzeen veroorzaken. In een steekproef bleek op vijf van de zestien onderzochte locaties de concentratie van benzeen in de bodem boven de interventiewaarde van 1,1 mg/kg droge stof te liggen [45]. De interventiewaarde geeft, in het kader van de Wet bodembescherming, het niveau aan waarboven sprake is van ernstige bodemverontreiniging. Onderzoek hiernaar is nog niet afgerond.

Bij werkzaamheden is het vanuit milieuoogpunt en voor werknemers belangrijk te controleren of de bodem in de buurt van de gasleiding verontreinigd is (benzeen, zware metalen, asbest). Als dat zo blijkt te zijn moeten de werknemers beschermende maatregelen treffen. De verontreinigde grond moet dan na de werkzaamheden, afhankelijk van de verontreiniging worden afgevoerd en verwerkt.

6.7.5 *Asbestleidingen*

Een klein deel van het gasnet bestaat nog uit leidingen van asbestcement. In 1990 ging het om 2165 km en in 2016 nog om 1017 km, 0,8% van het totaal [44]. Bij werkzaamheden aan deze leiding zijn extra maatregelen nodig met betrekking tot persoonlijke bescherming van werknemers en met betrekking tot verpakken, afvoeren en verwerken van de buizen. Na verwijderen dient de omringende grond op aanwezigheid van asbestvezels te worden gecontroleerd.

6.7.6 *Toekomst gasnet*

Als gevolg van de energietransitie zou het gasnet overbodig kunnen worden of een andere transportfunctie kunnen krijgen. Een verkenning van de toekomstmogelijkheden voor Netbeheer Nederland gaf aan dat het bestaande gasnetwerk met de juiste maatregelen prima ingezet kan worden om gassen zoals waterstof of biomethaan te distribueren. Daar waar distributie van dergelijke gassen gewenst is, kan het gasnet van de toekomst in grote mate gelijk blijven aan het huidige aardgasnetwerk [46]. Het SodM laat momenteel een onderzoek uitvoeren naar de impact van de energietransitie op de veiligheid van het gasnet en het gewenste toezicht daarop.

6.8 **Nazorg kolenwinning**

6.8.1 *Achtergrond*

In Zuid-Limburg is steenkool gewonnen, tussen Kerkrade in het zuidoosten tot aan de Maas bij Geleen in het Noordwesten. De eerste steenkoolwinning vond al plaats in de twaalfde eeuw nabij Kerkrade. In het industriële tijdperk was het mogelijk geworden om ook de steenkool op een grotere diepte te winnen en bereikte de steenkoolproductie zijn maximale omvang. De Nederlandse steenkolenmijnen werden tussen 1967 en 1974 vanwege economische redenen gesloten.

In 2007 heeft het Duitse ingenieursbureau Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS) een verkenning van de gevolgen van grondwaterstijging uitgevoerd [47]. Naar aanleiding van de verzakking bij het winkelcentrum 't Loon in Heerlen (2011) en publicaties van prof. Ramon Hansen (TU Delft) over de bodembeweging als gevolg van de voormalige steenkolenwinning in Zuid-Limburg [48] besloot het ministerie van EZK nader onderzoek te starten. In 2014 werd aan een consortium van bedrijven en universiteiten onder leiding van IHS een opdracht gegeven om de gevolgen in kaart te brengen, de risico's te inventariseren en een pakket van maatregelen voor te stellen [49]. De resultaten van het onderzoek zijn na een review door de Britse Coal Authority eind 2016 gepubliceerd. Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek heeft de minister van EZK afspraken gemaakt met de provincie en de desbetreffende gemeenten. De provincie en de gemeenten voeren het pakket van maatregelen uit. Het inrichten van een kenniscentrum en informatieloket in de provincie maakt hiervan deel uit. Het ministerie zorgt voor de financiering van het pakket van maatregelen.

6.8.2 *De na-ijlende gevolgen: mijnschachten en het stijgende mijnwater*

6.8.2.1 *Mijnschachten*

Bij het beoordelen van mogelijke risico's is kennis van de mijnen essentieel. Op dat punt is er verschil tussen de industriële mijnschachten (negentiende en twintigste eeuw) en de historische mijnschachten. De industriële schachten zijn goed gedocumenteerd. In totaal gaat het om 39 schachten met een diepte tot ruim 1000 meter. Drie schachten hebben een hoog veiligheidsniveau. Voor 30 schachten is monitoring opgezet en bij zes schachten is nader onderzoek en mogelijk sanering nodig. Bij de 59 historische schachten ligt de situatie ingewikkelder. De documentatie is onvolledig en de locaties zijn niet nauwkeurig bekend. Deze schachten vormen een potentieel risico (verzakking, verdwijngat) bij bestaande bouw, infrastructuur en nieuwbouw. Om toekomstige

schade te voorkomen wordt een programma uitgevoerd om de schachten te lokaliseren, te inspecteren en te saneren.

6.8.2.2 Het stijgende mijnwater

Tijdens de steenkolenwinning was er sprake van grote bodemdaling. In sommige gebieden betrof dit wel 10 meter. Met het sluiten van de mijnen werd ook het wegpompen van mijnwater, nodig om de dieper gelegen mijnwerken droog te houden, stopgezet. Voor een deel van het mijngebied werd de ontwatering, in opdracht van een Duits mijnbouwbedrijf, gehandhaafd vanwege nog actieve Duitse mijnen net over de grens. Pas na de sluiting van de laatste Duitse mijn aldaar is het wegpompen van mijnwater in 1994 volledig gestopt.

Sinds 1970 lopen de steenkolenmijnen geleidelijk weer vol mijnwater. Het mijnwater drukt de bodem omhoog waardoor de bodem in het voormalige steenkolenwinningsgebied stijgt. In totaal verwacht men een bodemstijging van circa 35-50 cm. Dit proces is nog gaande. Naar verwachting zal het nog 15-20 jaar duren tot de uiteindelijke evenwichtssituatie is bereikt. Het grootste deel van de stijging heeft echter al plaatsgevonden, de bodem stijgt geleidelijk met ongeveer 1 cm per jaar.

De mijnen in het noordwestelijke en centrale deel van Zuid-Limburg zijn volledig volgelopen. In delen van het Zuidoostelijk mijngebied is dat niet het geval en wordt nog een totale stijging van het mijnwater met zo'n 40 meter verwacht. De stijging varieert tussen 2 tot 5 meter per jaar. Ten zuidoosten van Kerkrade zullen er enkele mijngebieden niet volledig onderlopen. Dit betreft het zogenoemde historische mijnbouwgebied. In dit gebied is de mijnbouw in Limburg begonnen. Destijds was men niet in staat om grote hoeveelheden water weg te pompen. Dus alleen de 'droge steenkool' was toen winbaar.

6.8.2.3 Effecten stijgend mijnwater

De stijging van het mijnwater zorgt voor bodemstijging. Het kan ook leiden tot grondwaterstijging, grondwatervervuiling, het vrijkomen van mijngas en micro-aardbevingen

De belangrijkste conclusie uit het IHS-onderzoek is dat er geen directe veiligheidsrisico's zijn die te maken hebben met stijgend mijnwater of de mijnbouw. Een eventuele relatie met micro-aardbevingen is niet aangetoond. Wel is volgens de onderzoekers extra inzet nodig op het gebied van monitoring (bodemstijging, grondwater) en historisch onderzoek van de mijnschachten. Ook is er behoefte aan een regionaal expertisecentrum. Deze inzet is nader gespecificeerd in het pakket van maatregelen dat op dit moment door de regio en het ministerie wordt uitgevoerd. De stand van zaken met betrekking tot bodemstijging, grondwater, mijngas, aardbevingen en het expertisecentrum is:

Bodemstijging

Ministerie en regio monitoren de bodemstijging in de gehele mijnstreek met behulp van inSAR-satellietmetingen. Het expertisecentrum analyseert en beoordeelt de monitoringresultaten en is verantwoordelijk voor eventuele vervolgacties. Inmiddels is de bodemstijging, na 25 jaar, in een langzame gelijkmatige fase gekomen die in het algemeen niet tot problemen leidt. Speciale aandacht is er voor drie gebieden waar de

geologische formatie breuken bevat en waar ongelijkmatige stijging niet volledig kan worden uitgesloten.

Grondwater

Het stijgende mijnwater leidt ook tot een hogere grondwaterstand. Dat kan in enkele lager gelegen gebieden tot vernatting leiden. Deze vernatting blijft naar verwachting gering en resulteert niet in schade aan natuur of gebouwen.

Het stijgende mijnwater zou over enkele decennia kunnen infiltreren in het grondwater. Het sterk gemineraliseerde mijnwater zou dan de kwaliteit van het grondwater negatief beïnvloeden. Omdat grondwater voor drinkwater en in de levensmiddelenindustrie wordt gebruikt, is goed dekkende monitoring essentieel. Het IHS-onderzoek gaf aan dat de monitoring in een deel van het mijngebied onvoldoende dekkend was. Daarom werden in de tweede helft van 2018 nieuwe grondwaterobservatieputten aangelegd. Daarmee is er een 'early-warning'-netwerk (58 peilbuizen op 35 locaties) dat voorspelt of en waar het mijnwater in contact zou kunnen komen met hoger in de bodem gelegen grondwaterpakketten. Als dat dreigt op te treden moeten beheersmaatregelen worden getroffen.

Mijngas

In het gebied ten zuidoosten van Kerkrade, waar de mijnschachten niet zullen vollopen, kan zich mijngas in de schachten ophopen. Mijngas bestaat voornamelijk uit methaan en kooldioxide. Methaan kan tot explosies leiden en kooldioxide, door verdringing van zuurstof, tot verstikking. In het gebied rond Kerkrade bestaat het mijngas voornamelijk uit CO₂. Mijngas kan door scheuren en spleten in de bodem en in de fundering in gebouwen terechtkomen. Het IHS-onderzoek beveelt aan bestaande gebouwen binnen de 'beschermingszones' voor uittredend mijngas bij oude mijnschachten in kaart te brengen en in die gebouwen CO₂ te monitoren. Bij nieuwbouwprojecten in die gebieden kunnen meteen bouwkundige voorzorgsmaatregelen worden getroffen. Hulpdiensten en burgers in die gebieden worden actief voorgelicht om alert zijn op de aanwezigheid van mijngas.

Aardbevingen

Het relatief snel stijgende mijnwater in de jaren zeventig en negentig heeft mogelijk tot twee zwermen van kleine aardbevingen geleid. Het IHS onderzoek heeft echter deze hypothese niet kunnen onderbouwen of afwijzen. Nu de fase van langzame stijging is aangebroken is invloed van het stijgende mijnwater op de seismische activiteit minder waarschijnlijk. Dat betekent niet dat (zwermen) aardbevingen in het seismisch actieve gebied van Limburg niet meer zullen voorkomen, maar die aardbevingen hebben waarschijnlijk geen relatie met de mijnbouw.

Expertisecentrum

In het kader van de nazorg is een regionaal expertisecentrum opgericht onder verantwoordelijkheid van provincie en betrokken gemeenten. Het expertisecentrum is sinds september 2018 functioneel. Het ondersteunt gemeenten, burgers en andere betrokkenen. Daarnaast is het verantwoordelijk voor de monitoring (bodemstijging mijnwater, grondwater), heeft het een adviesfunctie en kan inspecties laten uitvoeren.

6.8.2.4 Verantwoordelijkheid nazorg en mijnschade

De nazorg van de kolenwinning is primair de verantwoordelijkheid van de provincie Limburg en de twaalf betrokken gemeenten [50]. Vanuit het ministerie van EZK (directie Energie en Omgeving) is er actieve ondersteuning, met mensen en middelen. Over de periode 2018-2025 neemt de regio jaarlijks ruim 3 ton voor zijn rekening en het ministerie van EZK (gemiddeld) ruim 1 miljoen per jaar.

Particulieren die schade hebben aan hun huis waarbij de veiligheid in het geding is, kunnen aanspraak maken op een vergoeding uit het Calamiteitenfonds Mijn(water)schade. Dit fonds is in 2015 ingesteld door de Staat in samenwerking met de regio met een startkapitaal van € 2 miljoen, waarvan € 1 miljoen van het ministerie van EZK.

6.8.2.5 Maatschappelijk

Angst voor onvoorziene effecten kan bij burgers tot ongerustheid leiden. Zij kunnen met algemene vragen of zorgen bij het expertisecentrum terecht. Het expertisecentrum speelt ook een rol bij individuele schadegevallen. Via historisch onderzoek wordt beoordeeld of de schade aan de mijnbouw gerelateerd kan zijn. Die schade kan voorlopig uit het ingestelde calamiteitenfonds worden vergoed en in de toekomst vanuit de nog in te stellen 'permanente adequate afhandeling van mijnbouwschade' [51].

6.8.3 *Mijnsteenbergen*

Na beëindigen van de kolenwinning bleef er een aantal mijnsteenbergen achter die PAK's en zware metalen bevatten. Deze mijnsteenbergen zijn in de jaren tachtig via een grootschalig herstructureringsproject 'van zwart naar groen' aangepakt. Mijnsteenbergen werden gesaneerd of bedekt met schone grond en beplant of bebouwd. Momenteel zijn alle mijnsteenbergen begroeid of bebouwd, waardoor verwaaiing niet kan voorkomen. Via inSAR-satelliet metingen wordt de bodembeweging en daarmee ook de stabiliteit van de mijnsteenbergen gemonitord. Uitloggen van verontreiniging naar het grondwater blijft in principe mogelijk maar zal, omdat de provincie Limburg een monitoringssysteem voor het grondwater heeft opgezet, in ieder geval gedetecteerd worden.

7 Afsluitende opmerkingen

De verkenning van de milieuaspecten verbonden aan de activiteiten waar het SodM toezicht op houdt levert een aantal signaleringspunten op, meestal lacunes in kennis, die per paragraaf in een apart kader zijn opgenomen. In Bijlage 1 zijn deze signaleringspunten bij elkaar gezet. De signaleringspunten zijn opgesomd in de volgorde waarin ze in dit rapport voorkomen. Die volgorde moet dus niet als prioritering gezien worden. Bijlage 1 bevat tevens een tabel waarbij de signaleringspunten (op dezelfde volgorde) worden weergegeven en waarbij wordt aangegeven op welk milieucompartiment ze betrekking hebben en onder welke SodM-sector ze vallen. Korthedshalve is in die tabel niet de volledige tekst uit het signaleringskader opgenomen, maar een korte omschrijving. In Bijlage 2 zijn de signaleringspunten gesorteerd per SodM-sector weergegeven.

De signaleringspunten zijn zeer uiteenlopend van aard, variërende van een verouderd protocol voor injectiewater en verschillen tussen gegevensbronnen (productievolume olie en gaswinning, lekkages in het gasnet) tot het ontbreken van inzicht in migratie en afbraak van stoffen in de diepe ondergrond. De signaleringspunten die telkens in een apart kader zijn gezet, zijn hoofdzakelijk nieuwe of openstaande kennislacunes. Vanuit het oogpunt van de beleidscyclus en de toezichthouder zijn er verschillende categorieën signaleringen. Het is zinvol deze signaleringen in samenhang te beschouwen:

1. *Nieuwe en openstaande kennislacunes*
Voor deze kennislacunes is de afweging of en hoe deze lacune wordt ingevuld nog niet gemaakt. Het kan om een beperkte vraag gaan, zoals de verschillen in productievolume voor olie en gas die verschillende betrokkenen rapporteren of om een kennislacune die om een uitgebreidere aanpak vraagt, zoals het ontbreken van inzicht in mogelijke migratieroutes voor stoffen vanuit de diepe ondergrond en in de afbraak van mijnbouw hulpstoffen in de diepe ondergrond.
2. *Kennislacunes met lopend onderzoek*
Dit zijn kennislacunes waarvoor reeds onderzoek is ingezet, maar waarvoor nog geen (volledig) overzicht van de resultaten beschikbaar is. Een voorbeeld is het ontbreken van inzicht in lekkages vanuit oude boorputten.
3. *Kennislacunes waaruit beleidssignalen volgen*
Tijdens het onderzoek om de kennislacune in te vullen of na afronding ervan kan duidelijk worden dat de nieuwe kennis om aanpassing in de uitvoeringspraktijk, in de wet- en regelgeving of om nieuw beleid vraagt. Het SodM kan dit signaal naar andere actoren in de keten (vergunningverlener, ondernemer) doorgeven, zoals in een Staat van de Sector.
4. *Kennislacunes proces afgerond*
Als de kennislacune is ingevuld en eventuele beleidssignalen in de uitvoeringspraktijk of wet- en regelgeving zijn verwerkt kan het proces als afgerond worden beschouwd.

De verkenning geeft een overzicht van de stand van zaken op dit moment. De komende decennia zullen toezichthouders van het SodM, in verband met de energietransitie, worden geconfronteerd met enkele grote veranderingen. Het gaat onder andere om het snel en op grote schaal ontwikkelen van geothermie, de snelle groei van wind op zee, het realiseren van grootschalige afvang van CO₂ gecombineerd met ondergrondse opslag en de mogelijke vervanging van aardgas in het leidingennet. Een ander voorbeeld is de verantwoorde ontmanteling van het grote aantal offshore productieplatforms dat de komende vijftien jaar uit bedrijf zal worden genomen. Het SodM wil staan voor veiligheid en gezondheid van burgers en werknemers, bescherming van het milieu en zorg voor onze natuurlijke hulpbronnen. Daarvoor zullen kennis, beleid, wet- en regelgeving en uitvoeringspraktijk ook moeten mee-ontwikkelen. Het opzetten van toezichtprojecten op de milieuonderwerpen zal daarbij een essentieel onderdeel zijn om het naleefgedrag per sector in beeld te brengen.

Bijlage 1. Overzicht van de gesignaleerde punten in de sector die onder SodM-toezicht vallen, op volgorde waarop de punten in het rapport voorkomen

1. Om omvang en aard van de productie bij de olie- en gaswinning eenduidig vast te stellen, is inzicht nodig in de oorzaak van de verschillen in productiegegevens tussen de opgave van NLOG, de getallen in de e-MJVs, de gegevens aangeleverd volgens het convenant met de olie- en gaswinningsindustrie en de CBS-opgave.
2. Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.
3. Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater, is nader onderzoek nodig.
4. Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of de biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt), is nader onderzoek nodig.
5. Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden, is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
6. Om de beoordeling van injectie van productiewater door het SodM in overeenstemming te brengen met het vigerende beleid (LAP3, Nationaal Waterplan) en met de stand der techniek met betrekking tot mogelijke alternatieven voor waterinjectie, is actualisatie van het SodM-protocol nodig.
7. Om een vollediger beeld van de door de offshore olie en gaswinning op zee geloosde stoffen te krijgen, is een meer gedetailleerde monitoring van mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten in het productiewater bij een groter aantal productieplatforms nodig.
8. Om duidelijkheid te verkrijgen over de verschillen tussen de ecologische beoordeling van lozingen van productiewater op zee volgens het CHARM-model en de ecologische risicobeoordeling volgens REACH, is nader onderzoek nodig.
9. Om inzicht te krijgen in de bijdrage die het vervangen van afblazen door affakkelen aan de Nederlandse klimaatdoelstelling kan leveren, is nader onderzoek nodig. Daarbij is van belang of deze vervanging op een veilige manier kan plaatsvinden en of vervanging in verband met andere emissie en/of hinder mogelijk is.

10. Om de milieurisico's van de ontmanteling van offshore productieplatforms te minimaliseren, is het belangrijk een adequaat toezichtsregime te ontwikkelen waarin de verantwoordelijkheden van het SodM, de ILT en het bevoegd gezag zijn vastgelegd en dat de hele ontmantelingsketen beslaat.
11. Om de risico's van fracken in het algemeen en de risico's van fracken bij geothermie in het bijzonder in beeld te brengen, is nader onderzoek nodig. Daarnaast is onderzoek nodig naar het precieze lot van de in de diepe ondergrond achterblijvende frackvloeistof.
12. Om inzicht te krijgen in de omvang van lekkage van afgesloten boorputten in Nederland en de ontwikkeling van deze lekkages in de tijd, is nader onderzoek nodig. Als lekkages structureel blijken, is onderzoek naar stabielere manieren van afsluiten en naar eventuele normstelling nodig.
13. Om alternatieven voor het verwerken van testwater in beeld te brengen, het afvoeren van testwater te versnellen en deze alternatieven in het beleidsmatige en juridische kader in te bedden, is nader onderzoek nodig.
14. Om een goed beeld te krijgen van omvang en aard van de mijnbouwhulpstoffen en hun reactieproducten die bij geothermie worden geïnjecteerd en naar afbraak en (opwaarts) transport van deze stoffen, is nader onderzoek nodig.
15. Om een goed beeld te krijgen van de hoeveelheid radioactieve sludges en scale die bij geothermie ontstaan en het stralingsniveau van deze afvalstoffen, is nader onderzoek nodig.
16. Om inzicht te krijgen onder welke voorwaarden geothermie kan worden toegepast in gebieden met breuklijnen en relatief hoge seismische activiteit, is nader onderzoek nodig.
17. Om duidelijkheid te krijgen over de afstanden tussen geothermie-installaties en woningen, scholen, ziekenhuizen, enz., is nader onderzoek nodig. Afhankelijk van de resultaten daarvan kan worden overwogen om minimale afstanden en voorwaarden in beleid of regelgeving op te nemen.
18. Om bodem- en waterverontreiniging terug te dringen en in de toekomst te voorkomen, is nader onderzoek nodig naar betere terugwinning van de gebruikte diesel en naar alternatieven voor de bescherming van het cavernedak die minder schadelijk zijn voor bodem en grondwater.
19. Om een goede maatschappelijke afweging over ondergrondse opslag te kunnen maken, is een risicoanalyse nodig voor die specifieke opslag die alle potentiële risico's, zowel op de korte termijn (0-100 jaar) als op een geologische tijdschaal (10.000 jaar), in beeld brengt.
20. Om de oorzaken van het verschil in aantal lekkages tussen de opgave van Netbeheer Nederland en het SodM te achterhalen, is nader onderzoek nodig.

signalering	milieucompartiment	sectoren
onduidelijkheid productievolume olie en gas	lucht, diepe ondergrond, oppervlaktewater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore
onduidelijkheid migratie/afbraak stoffen diepe ondergrond	bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie, zoutwinning, ondergrondse opslag
onduidelijkheid verminderen/alternatief mijnbouwhulpstoffen	bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie, zoutwinning
onduidelijkheid geïdentificeerd gebruik mijnbouwhulpstoffen	bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie, zoutwinning
onduidelijkheid effectiviteit afsluiting boorputten	lucht, bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie, zoutwinning
verouderd SodM-protocol injectiewater	bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore
onduidelijkheid mijnbouwhulpstoffen in productiewater	bodem, diepe ondergrond, oppervlaktewater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore
onduidelijkheid verschillen CHARM en REACH	oppervlaktewater	olie- en gas offshore
onduidelijkheid affakkelen versus afblazen	lucht	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie
ontwikkelen adequaat toezichtsregime offshore productieplatforms	lucht, bodem oppervlaktewater	olie- en gas offshore
onduidelijkheid risico's fracken	bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas offshore, olie- en gas onshore, geothermie
onduidelijkheid omvang lekkage boorputten (land)	lucht, bodem, diepe ondergrond, grondwater	olie- en gas onshore, geothermie, zoutwinning
onduidelijkheid verwerking testwater geothermie	lucht, bodem, grondwater	geothermie

onduidelijkheid omvang mijnbouwhulpstoffen injectiewater	bodem, diepe ondergrond	geothermie
onduidelijkheid omvang en activiteit radioactieve sludge/scale	lucht, bodem	geothermie
onduidelijkheid geothermie en seismische activiteit	bodem, diepe ondergrond, grondwater	geothermie
onduidelijkheid afstand bebouwing en geothermie-installaties	lucht, bodem	geothermie
terugdringen diesel als mijnbouwhulpstof	bodem, diepe ondergrond, grondwater	zoutwinning
onduidelijkheid risico's ondergrondse opslag	bodem, diepe ondergrond, grondwater	ondergrondse opslag
onduidelijkheid omvang gaslekkages	lucht, bodem, grondwater	beheer gasnet

Bijlage 2. Signaleringspunten gesorteerd per sector

Olie- en gaswinning (offshore)

- Om omvang en aard van de productie bij de olie- en gaswinning eenduidig vast te stellen, is inzicht nodig in de oorzaak van de verschillen in productiegegevens tussen de opgave van NLOG, de getallen in de e-MJVs, de gegevens aangeleverd volgens het convenant met de olie- en gaswinningsindustrie en de CBS-opgave.
- Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.
- Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater, is nader onderzoek nodig.
- Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of de biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt), is nader onderzoek nodig.
- Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden, is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- Om de beoordeling van injectie van productiewater door het SodM in overeenstemming te brengen met het vigerende beleid (LAP3, Nationaal Waterplan) en met de stand der techniek met betrekking tot mogelijke alternatieven voor waterinjectie, is actualisatie van het SodM-protocol nodig.
- Om een vollediger beeld van de door de offshore olie en gaswinning op zee geloosde stoffen te krijgen, is een meer gedetailleerde monitoring van mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten in het productiewater bij een groter aantal productieplatforms nodig.
- Om duidelijkheid te verkrijgen over de verschillen tussen de ecologische beoordeling van lozingen van productiewater op zee volgens het CHARM-model en de ecologische risicobeoordeling volgens REACH, is nader onderzoek nodig.
- Om inzicht te krijgen in de bijdrage die het vervangen van afblazen door affakkelen aan de Nederlandse klimaatdoelstelling kan leveren, is nader onderzoek nodig. Daarbij is van belang of deze vervanging op een veilige manier kan plaatsvinden en of vervanging in verband met andere emissie en/of hinder mogelijk is.
- Om de milieurisico's van de ontmanteling van offshore productieplatforms te minimaliseren, is het belangrijk een adequaat toezichtsregime te ontwikkelen waarin de

verantwoordelijkheden van het SodM, de ILT en het bevoegd gezag zijn vastgelegd en dat de hele ontmantelingsketen beslaat.

- Om de risico's van fracken in het algemeen en de risico's van fracken bij geothermie in het bijzonder in beeld te brengen, is nader onderzoek nodig. Daarnaast is onderzoek nodig naar het precieze lot van de in de diepe ondergrond achterblijvende frackvloeistof.

Olie- en gaswinning (onshore)

- Om omvang en aard van de productie bij de olie- en gaswinning eenduidig vast te stellen, is inzicht nodig in de oorzaak van de verschillen in productiegegevens tussen de opgave van NLOG, de getallen in de e-MJVs, de gegevens aangeleverd volgens het convenant met de olie- en gaswinningsindustrie en de CBS-opgave.
- Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.
- Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater, is nader onderzoek nodig.
- Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of de biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt), is nader onderzoek nodig.
- Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden, is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- Om de beoordeling van injectie van productiewater door het SodM in overeenstemming te brengen met het vigerende beleid (LAP3, Nationaal Waterplan) en met de stand der techniek met betrekking tot mogelijke alternatieven voor waterinjectie, is actualisatie van het SodM-protocol nodig.
- Om een vollediger beeld van de door de offshore olie en gaswinning op zee geloosde stoffen te krijgen, is een meer gedetailleerde monitoring van mijnbouwhulpstoffen en reactieproducten in het productiewater bij een groter aantal productieplatforms nodig.
- Om inzicht te krijgen in de bijdrage die het vervangen van afblazen door affakkelen aan de Nederlandse klimaatdoelstelling kan leveren, is nader onderzoek nodig. Daarbij is van belang of deze vervanging op een veilige manier kan plaatsvinden en of vervanging in verband met andere emissie en/of hinder mogelijk is.
- Om de risico's van fracken in het algemeen en de risico's van fracken bij geothermie in het bijzonder in beeld te brengen is nader onderzoek nodig. Daarnaast is onderzoek nodig naar het

precieze lot van de in de diepe ondergrond achterblijvende frackvloeistof.

- Om inzicht te krijgen in de omvang van lekkage van afgesloten boorputten in Nederland en de ontwikkeling van deze lekkages in de tijd, is nader onderzoek nodig. Als lekkages structureel blijken, is onderzoek naar stabielere manieren van afsluiten en naar eventuele normstelling nodig.

Geothermie

- Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.
- Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater, is nader onderzoek nodig.
- Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of de biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt), is nader onderzoek nodig.
- Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden, is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- Om alternatieven voor het verwerken van testwater in beeld te brengen, het afvoeren van testwater te versnellen en deze alternatieven in het beleidsmatige en juridische kader in te bedden, is nader onderzoek nodig.
- Om een goed beeld te krijgen van omvang en aard van de mijnbouwhulpstoffen en hun reactieproducten die bij geothermie worden geïnjecteerd en naar afbraak en (opwaarts) transport van deze stoffen, is nader onderzoek nodig.
- Om een goed beeld te krijgen van de hoeveelheid radioactieve sludges en scale die bij geothermie ontstaan en het stralingsniveau van deze afvalstoffen, is nader onderzoek nodig.
- Om inzicht te krijgen onder welke voorwaarden geothermie kan worden toegepast in gebieden met breuklijnen en relatief hoge seismische activiteit, is nader onderzoek nodig.
- Om duidelijkheid te krijgen over de afstanden tussen geothermie-installaties en woningen, scholen, ziekenhuizen, enz., is nader onderzoek nodig. Afhankelijk van de resultaten daarvan kan worden overwogen om minimale afstanden en voorwaarden in beleid of regelgeving op te nemen.

Zoutwinning

- Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de

afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.

- Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden voor het reduceren van de hoeveelheid mijnbouwhulpstoffen in het productiewater en van de kennis over en toepassing van de alternatieven voor injectie van productiewater, is nader onderzoek nodig.
- Om een duidelijk beeld te krijgen of de in de mijnbouw toegepaste hulpstoffen worden gebruikt op de door REACH- of de biocidenverordening aangegeven manier en het daarbij behorende blootstellingsscenario (geïdentificeerd gebruikt), is nader onderzoek nodig.
- Om meer inzicht te krijgen in de integriteit van het afsluiten van boorputten met cementproppen op korte termijn (0-100 jaar) en naar mogelijke alternatieve afsluitmethoden, is meer onderzoek nodig. Aanvullend is inzicht nodig in de effectiviteit van de afsluiting op een meer geologische tijdschaal (10.000 jaar).
- Om inzicht te krijgen in de omvang van lekkage van afgesloten boorputten in Nederland en de ontwikkeling van deze lekkages in de tijd, is nader onderzoek nodig. Als lekkages structureel blijken, is onderzoek naar stabielere manieren van afsluiten en naar eventuele normstelling nodig.
- Om bodem- en waterverontreiniging terug te dringen en in de toekomst te voorkomen, is nader onderzoek nodig naar betere terugwinning van de gebruikte diesel en naar alternatieven voor de bescherming van het cavernedak die minder schadelijk zijn voor bodem en grondwater.

Ondergrondse opslag

- Om beter inzicht te krijgen in mogelijke migratieroutes voor stoffen (waaronder mijnbouwhulpstoffen) vanuit de diepe ondergrond naar (grond)water en bodem en beter inzicht in de afbraak van mijnbouwhulpstoffen in de diepe ondergrond, is nader onderzoek nodig.
- Om een goede maatschappelijke afweging over ondergrondse opslag te kunnen maken, is een risicoanalyse nodig voor die specifieke opslag die alle potentiële risico's, zowel op de korte termijn (0-100 jaar) als op een geologische tijdschaal (10.000 jaar), in beeld brengt.

Wind op zee

Geen signaleringspunten.

Netbeheer gasleidingen

Om de oorzaken van het verschil in aantal lekkages tussen de opgave van Netbeheer Nederland en het SodM te achterhalen, is nader onderzoek nodig.

Nazorg kolenwinning

Geen signaleringspunten.

Referenties

- 1 Jaarverslag Staatstoezicht op de Mijnen, 2017, Henri Faasdreef 312, 2492 JP Den Haag, publicatiedatum, 20 juni 2018, <https://magazines.sodm.nl/jaarverslag-sodm/2018/01/index>
- 2 Beleving Woonomgeving in Nederland; Inventarisatie Verstoringen 2016. R. van Poll, O. Breugelmans, I. van Kamp, RIVM Rapport 2018-0084, RIVM, Bilthoven, 2018
- 3 Bewust omgaan met veiligheid; op weg naar een veilige en gezonde leefomgeving. <https://magazines.rijksoverheid.nl/ienw/veiligheid-en-risicos/2017/01/index>
- 4 Een scan van de veiligheid en kwaliteit van onze leefomgeving. M. van Zijverden, R.J.M. Maas, M.G. Mennen, M.H.M.M. Montforts, RIVM Briefrapport 2017-0030, RIVM, Bilthoven, 2017
- 5 Emissies naar lucht in 2016, opgeteld voor de mijnbouwsectoren in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>): olie- gaswinning continentaal plat, olie- gaswinning land en transport en distributie olie en gas. Website geraadpleegd op 20 november 2018.
- 6 Belasting oppervlaktewater in 2016, opgeteld voor de mijnbouwsectoren in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>): olie- gaswinning land (inclusief continentaal plat en dienstverlening) en transport en distributie olie en gas. Website geraadpleegd op 20 november 2018.
- 7 Lekkages bij de zoutfabriek van AkzoNobel, alweer, NRC 26 juli 2017, NRC, Amsterdam
- 8 Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek. Integraal eindrapport, Haskoning DHV, voor de Nederlandse Aardolie Maatschappij, Referentie: I&BBD9591-100-100R002F01,12 december 2016
- 9 Evaluatie verwerking productiewater Schoonebeek, bevindingen NAM naar aanleiding van het Tussenrapport van Royal Haskoning DHV van 28 juni 2016. Brief NAM aan de minister van Economische Zaken, 24 oktober 2016, referentie EP201610207495
- 10 Invulling minimalisatie van mijnbouwhulpstoffen binnen onshore NAM, notitie NAM, EP201611206698, Asset Land, Assen, 7-12-2016
- 11 Mijnbouwregeling, Hoofdstuk 9, Gebruik en lozen van oliehoudende mengsels en chemicaliën <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014468/2018-01-01>
- 12 Cefas, Definitive Ranked Lists of Registered Products, te downloaden van <https://www.cefas.co.uk/cefas-data-hub/offshore-chemical-notification-scheme/downloads-and-useful-links/> rechterkolom onder 'Downloads and useful links'
- 13 Stimulering duurzame energieproductie. Brief van de minister van Economische Zaken en Klimaat, E.D. Wiebes, 31 429 nr. 282, Den Haag, 8 februari 2018
- 14 Beleidsnotitie Geothermie in relatie tot de openbare drinkwatervoorziening Gedeputeerde Staten van Limburg: 24 oktober 2017

- 15 CBS Statline 2016,
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1544113183259>
- 16 Commissie Integraal Waterbeheer Stand der Techniek Offshore Productiewater Olie- en Gaswinningsindustrie, februari 2002
- 17 Structuurvisie Ondergrond, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Den Haag, juni 2018, op 11 juni 2018 aangeboden aan de Tweede Kamer
- 18 Convenant Werkgroep injectie productiewater, NOGEPa, 2004
- 19 Grenswaarden voor specifieke vrijgave van natte sludges uit de Nederlandse olie- en gassector en geothermie. Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom. M. van der Schaaf en E. Folkertsma, RIVM Briefrapport 2017-0107
- 20 Emissies naar lucht in 2016, in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>) voor de offshore olie- en gaswinning totaal en voor affakkelen en afblazen apart. Website geraadpleegd op 20 november 2018.
- 21 Belasting oppervlaktewater in 2016, in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>) voor de offshore olie- en gaswinning (continentaal plat totaal). Website geraadpleegd op 20 november 2018.
- 22 Toets wettelijke controle affakkelen en afblazen aardgas: Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom, M. van der Schaaf, A. van der Reijden, RIVM briefrapport 2017-0114
- 23 Re-use & decommissioning report, Annual report 2018, National Platform for Re-use & Decommissioning (Nexstep)
- 24 Conclusie eindrapport heroverweging productiewater Schoonebeek. Brief van de minister van Economische Zaken H.G.J. Kamp aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 10 februari 2017
- 25 Emissies naar lucht in 2016, in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>) voor de olie- en gaswinning op land (totaal) en voor affakkelen en afblazen. Website geraadpleegd op 21 november 2018.
- 26 Environmental Implications of Flaring and Venting in Crude Oil and Natural Gas Production, Stanley Ngene, Kiran Tota-Maharaj, Paul Eke, Colin Hills, International Journal of Environmental Monitoring and Analysis, 2016; 4(6): 154-159
- 27 Inventarisatie Staatstoezicht op de Mijnen over de toepassing van fracking, de mogelijke consequenties en beoordeling daarvan. Brief van de minister van Economische Zaken H.G.J. Kamp aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 1 maart 2016
- 28 Methaan emissiemetingen aan buiten gebruik gestelde olie- en gaswinningsputten A. Hensen, W.C.M. van den Bulk en D. van Dinther, april 2017, ECN-E--18-032, ECN, Petten
- 29 J. Griffioen, interview op 11 september 2018, met De Correspondent, wetenschappelijk artikel in publicatie
- 30 Algemeen Dagblad, 21 november 2018
<https://www.ad.nl/westland/nam-gaat-weer-boren-bij-molenslag-in-monster~a71365800/>

- 31 Staat van de Sector Geothermie, Staatstoezicht op de Mijnen, Henri Faasdreef 312, 2492 JP Den Haag, juli 2017
- 32 Lozing van testwater bij geothermieprojecten; Afwegingskader. G. Bakema, B. Pittens, T. Aalten, H. Biemond, IF Technology bv, Arnhem, augustus 2016
- 33 Geothermie en ondiepe bodemenergie, R.O. Blaauboer, RIVM Briefrapport 2018-0014 in voorbereiding voor publicatie
- 34 Stimulering duurzame energieproductie. Brief van de minister van Economische Zaken en Klimaat, E.D. Wiebes, 31 429 nr. 282, Den Haag, 8 februari 2018
- 35 Staat van de sector zout, Staatstoezicht op de Mijnen, Henri Faasdreef 312, 2492 JP Den Haag, mei 2018
- 36 Vragen gesteld door de leden der Kamer, met de daarop door de regering gegeven antwoorden Aanshangsel van de Handelingen der Tweede Kamer, vergaderjaar 2013-2014, nr. 2192, 17 juni 2014
- 37 Schachanlage Asse II Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, website: <https://www.bge.de/de/asse/> geraadpleegd op 1 november 2018
- 38 MER NET OP ZEE HOLLANDSE KUST (NOORD) EN (WEST ALPHA), Deel A en Deel B, Arcadis Nederland B.V. Arnhem, april 2018
- 39 Wind op Zee Ecologisch Programma (Wozep) is een vijfjarig onderzoeksprogramma (gestart in 2016) om de kennisleemtes rond de ecologische effecten van windenergie op zee nader te onderzoeken.
<https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie/ecologie/wind-zee-ecologisch/>
- 40 KADER ECOLOGIE EN CUMULATIE t.b.v. uitrol windenergie op zee Deelrapport A: Methodebeschrijving, Versie 2.0; 26 mei 2016
- 41 Betrouwbaarheid van gasdistributienetten in Nederland, Resultaten 2017 Sabine van Amersfoort Kiwa Technology B.V. Apeldoorn in opdracht van Netbeheer Nederland, GT-180061, 12 april 2018
- 42 Persoonlijke mededeling Jantine Killaars / Annabelle van Roosmalen, Staatstoezicht op de Mijnen 1 november 2018
- 43 Emissies van methaan naar lucht in 2016, voor gasdistributie en transport in de Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl>): gastransport en gasdistributie. Website geraadpleegd op 21 november 2018.
- 44 Methaanemissie door Gasdistributie. Rapportage over 2016 volgens het Monitoringsprotocol Methaanemissie Gasdistributie H.A. Ophoff, Kiwa Technology B.V. Apeldoorn in opdracht van Netbeheer Nederland, GT-170094, 18 mei 2017
- 45 Vervolgonderzoek correlatie tussen gaslek en bodemverontreiniging door benzeen E.A. Polman, C.J.A. Pulles, A.A.M. Nipshagen, Kiwa Technology B.V. Apeldoorn in opdracht van Netbeheer Nederland, GT-100136, 24 september 2018
- 46 Toekomstbestendige gasdistributienetten, Kiwa Technology B.V., Apeldoorn in opdracht van Netbeheer Nederland, juli 2018
- 47 Bericht zu den möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Südlimburger Steinkohlenrevier - Vorstudie - Ingenieurbüro Heitfeld - Schetelig GmbH, in opdracht van het Nederlandse ministerie van Economische Zaken. Aken, februari 2007

- 48 Caro Cuenca, M., Hooper, A.J. & Hanssen, R.F. (2013), 'Surface deformation induced by water influx in the abandoned coal mines in Limburg, The Netherlands observed by satellite radar interferometry', *Journal of Applied Geophysics*. Vol. 88, pp. 1-11
- 49 Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg Uittreksel uit het samenvattende rapport met een overzicht van de voorgestelde maatregelen Projectgroep 'Na-ijlende gevolge steenkolenwinning Zuid-Limburg', GS-ZL, in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, 14 december 2016
- 50 Na-ijlende effecten van steenkoolwinning Inventarisatie van Juridische kaders in verband met de na-ijlende effecten van de steenkoolwinning in Zuid-Limburg AKD N.V. In opdracht van de provincie Limburg, april 2018
- 51 Brief van de minister van Economische Zaken Eric Wiebes aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, betreffende de Uitspraak rechtbank Limburg inzake Waarborgfonds mijnbouwschade Den Haag, 6 november 2018

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag