

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

TNO-rapport | TNO2018 R11080

Emissie van het broeikasgas methaan gerelateerd aan de olie- en gassector in Nederland met nadruk op exploratie en productie

Datum 27 september 2018

Auteur(s)

Joaquim Juez-Larré, Hugo Denier van der Gon, Stijn Dellaert, Jasper Griffioen, Manuel Nepveu,
en Rene Peters.

Exemplaarnummer 1
Oplage 1
Aantal pagina's 73 (incl. bijlagen)

Projectnummer 060.32126/01.08.03

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel
van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van
opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor
opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten
overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2018 TNO

Samenvatting

Inleiding en achtergrond

Tijdens het Tweede Kamerdebat van 14 november 2017 over “Gasvondst Schiermonnikoog: winnen of niet?”¹ hebben de Partij van de Dieren en GroenLinks aan minister Wiebes van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vragen gesteld over de mate waarop lekkages en het verbranden van aardgas bijdragen aan klimaatverandering. De minister heeft toegezegd deze vragen te beantwoorden. Op verzoek van het ministerie van EZK heeft TNO-AGE een nadere verkenning uitgevoerd naar methaanemissies in Nederland gerelateerd aan de olie- en gassector, aan de hand van publieke literatuur en rapportages. Bij de olie- en gassector worden in deze verkenning zowel exploratie en productie (E&P), transport, verwerking, distributie en opslag van olie en gas gerekend. Tevens was het verzoek deze emissies beknopt in een internationaal kader te plaatsen en om in detail te kijken naar lekkages uit olie- en gasputten.

Methaan (CH₄) is naast koolstofdioxide (CO₂) het belangrijkste broeikasgas. Als broeikasgas heeft methaan per gewichtseenheid een sterkere werking en een kortere levensduur in de atmosfeer dan CO₂. Vanwege de belangrijke invloed van methaan op het klimaat en de relatief korte levensduur, waardoor maatregelen op korte termijn effect hebben, verdient reductie van methaanemissies aandacht.

Naast een korte inleiding (Hoofdstuk 1), is het rapport in twee delen ingedeeld. Hoofdstuk 2 bevat een brede verkenning van de methaanemissies uit de olie- en gassector, in Nederland en omliggende landen, aan de hand van publieke literatuur en rapportages. Hoofdstuk 3 beschrijft een meer specifieke analyse van methaanlekkage uit de olie- en gasputten in Nederland, op het vasteland en op de Noordzee. In beide hoofdstukken worden enkele suggesties voor vervolgonderzoek geformuleerd.

Bronnen van methaanemissie en (relatieve) bijdrage van olie en gassector

Nederland rapporteert ongeveer 26 kiloton (kton) methaanemissie veroorzaakt door de olie- en gassector in 2015 (National Inventory Report, Coenen et al., 2017). Deze 26 kton is afkomstig uit de E&P sector (12,4 kton), gastransport (7,2 kton), gasdistributie (5,7 kton) en overige bronnen (0,5 kton). Dit is 3% van de totale jaarlijkse Nederlandse methaanemissie, die 760 kton bedragen. De methaanemissie uit de landbouwsector (520 kt) vormen ca. 70% van het Nederlandse totaal. De broeikasgasemissie (CO₂ en CH₄) uit de olie- en gassector bedragen ca. 2 Megaton (Mt) CO₂-eq. emissies en representeren daarmee circa 1% van de totale Nederlandse broeikasgasemissie (202 Mt CO₂-eq.²). Volgens het National Inventory Report (NIR) 2017 is de grootste bron van methaanemissie binnen de olie- en gassector het onshore en offshore afblazen van gas (12,2 kton/jaar).

¹ https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/plenaire_verslagen/kamer_in_het_kort/gasvondst-schiermonnikoog-winnen-niet

² Bij deze waarde zijn ook de broeikasgasemissies uit landgebruik, verandering van landgebruik en bosbouw meegenomen

Wanneer de bijdrage van de olie- en gassector wordt uitgedrukt als fractie van de totale antropogene methaanemissies per regio, is de verhouding als volgt:

- Mondiaal~22% (Saunois et al., 2016);
- Europa~10% (Saunois et al., 2016);
- EU-28 ~7% (EEA, 2017);
- Nederland ~3% (Coenen et al., 2017).

Bovenstaand overzicht verklaart waarom terugdringen van de methaanemissies uit de olie- en gassector mondiaal gezien steeds meer aandacht krijgt. Naast implementatie van BBT (Best Beschikbare Technieken) en verregaande emissiereductiemaatregelen sinds de jaren '90 wordt het lage percentage in Nederland mede verklaard door de dominantie van andere emissiebronnen, zoals de melkveehouderij.

Nederland kent een uitgebreid proces voor rapportage van methaanemissies waarbij verplichtingen en bepalingsmethoden zijn vastgelegd in wetgeving, convenanten en protocollen. De actoren rapporteren emissies via een elektronisch milieujaarverslag (e-MJV) of middels eigen publicaties. Voor bedrijven die rapporteren volgens het Activiteitenbesluit worden de emissietotalen gepubliceerd op de website van de emissieregistratie. Ook de operators in de E&P sector rapporteren methaanemissies via het elektronisch milieujaarverslag. Echter tot op heden worden de emissies uit E&P niet publiek beschikbaar gemaakt, maar alleen geaggregeerd gepubliceerd in het NIR. Hierbij gaat een deel van het detail verloren dat in de e-MJV gerapporteerde emissiecijfers wel aanwezig is. Ook de vraag of alle methaanemissies via het milieujaarverslag worden gepubliceerd, of dat bepaalde emissies, bijvoorbeeld uit incidenten, ontbreken kan niet beantwoord worden op basis van de publiek beschikbare geaggregeerde data.

Methaanemissie door de olie- en gassector in Nederland t.o.v. Europa

De gerapporteerde methaanemissie uit exploratie en productie (E&P) van olie- en gas voor Nederland en de ons omringende olie- en gasproducerende landen (Duitsland, Denemarken, Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk) bedragen samen ca. 90 kiloton in 2015. Nederland heeft hierin, gezien het belang en de omvang van gasproductie in Nederland, een bescheiden aandeel van 12,4 kiloton per jaar (14%).

Wanneer deze methaanemissies per land gedeeld worden door de productiecijfers komt Nederland voor E&P op een gemiddelde methaanemissie van 0,30 ton methaan/kton geproduceerd olie of gas in 2015. De emissiefactor voor onshore productie is 0,14 ton/kton, terwijl deze voor offshore productie 0,71 ton/kton bedraagt. Van de omringende landen is de gemiddelde emissiefactor het laagste in Duitsland met 0,22 ton/kton (onshore) en in Noorwegen (0,22 ton/kton, offshore) en het hoogste in het Verenigd Koninkrijk met 0,58 ton/kton (offshore). De relatief hoge methaanemissies van de Nederlandse offshore productie zijn te verklaren doordat operators op zee restgassen afblazen wanneer deze niet terug in het systeem gebracht kunnen worden, in plaats van (deels) af te fakkelen. De keuze voor deze methode is te herleiden tot een verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) aan de operators uit de jaren '80 om vogelsterfte door de fakkel bij testwerkzaamheden te voorkomen. In de ons omringende landen worden deze gassen hoofdzakelijk afgefakkeld, wat tot lagere methaanemissies leidt dan afblazen.

De methaanemissies uit gastransport, opslag en distributie kunnen ook worden uitgedrukt in een afgeleide emissiefactor per kilometer netwerk. De resulterende emissiefactoren voor Nederland zijn laag in vergelijking met de ons omringende landen. Er zijn verschillende factoren die dit aannemelijk maken, zoals goed onderhoud van het gasnet en het feit dat het gasnetwerk in een bodem ligt die niet snel aanleiding geeft tot leidingbreuk. Echter, de exacte oorzaak van de verschillen tussen de landen kan op basis van de publiek beschikbare getallen niet achterhaald worden.

Methaanlekkage bij buiten gebruik gestelde aardgasputten op land

Er zijn weinig gegevens bekend over eventuele lekkende putten op het Nederlandse territorium. Op basis van de mijnbouwregeling (Afdeling 8.5) worden putten in Nederland met cement/mechanische pluggen afgesloten, onder het oppervlak afgesneden en vervolgens afgedekt. Er bestaat geen voorschrijvende, wettelijke verplichting om deze putten daarna te inspecteren of te monitoren. Aan de hand van de zorgplicht in de Mijnbouwwet kan worden verlangd om putten te inspecteren of te monitoren.

De Universiteit Utrecht (UU) heeft in de zomer van 2017 bij 28 buiten gebruik gestelde aardgasputten en 1 aardolieput in Nederland veldonderzoek gedaan naar potentiële lekkage van aardgas (Cardon de Lichtbuer, 2017). De 29 onderzochte putten zijn geselecteerd vanwege de relatief eenvoudige toegankelijkheid om de methaanmetingen te kunnen uitvoeren. Van de 29 putten is bij één put (Monster-02 in gemeente Westland, Zuid-Holland) in de bodem lekkage van aardgas waargenomen. De geschatte methaanflux op 2 meter diepte bedraagt 443 g CH₄/uur (3.9 t/jaar) onder verstoorde condities. Dit is waarschijnlijk een overschatting van de flux onder niet-verstoorde condities. Op deze locatie treedt in de bodem ook oxidatie van methaan op, wat er toe leidt dat er geen noemenswaardige methaanemissie naar de lucht is.

Recentelijk heeft ECN (2017) een studie verricht naar potentiële methaanemissie bij 185 (van de ca. 1300) buiten gebruik gestelde olie- en gasputten en 9 (van de 11 bekende) actieve³ putten met gasbelletjes in de putkelder. De metingen werden uitgevoerd door benedenwinds van (buiten gebruik gestelde) putten te rijden met een meetwagen en aanvullend met een meetbox of slang op locatie te meten. ECN stelt dat er bij de gemeten groep buiten gebruik gestelde putten geen relevante methaanemissie is geconstateerd. Wel werden meerdere keren windafwaarts verhogingen met enkele tientallen tot duizenden ppb⁴ methaan waargenomen; vervolgmetingen konden niet verricht worden. Belangrijk om te beseffen is dat de achtergrondconcentratie van methaan in lucht ca. 1850 ppb is. Er zijn ook metingen verricht in de buurt van enkele actieve putten met gasbelletjes in de putkelder. In één actieve put met gasbellen (Oude Leede-01) was de emissie bij de put naar de lucht onder de detectielimiet van 0,2 g CH₄/uur (0,0018 t/jaar). Voor de andere actieve putten met gasbelletjes is geen éénduidige conclusie over potentiële emissie mogelijk op basis van de meetcampagne. De ECN-studie maakt aannemelijk dat er geen substantiële methaanemissies zijn bij de bemeten putten zonder uit te sluiten dat er lekkages zijn richting maaiveld.

³ Producerend of gesuspendeerd

⁴ Parts per billion

De bevindingen van de studie van de UU aan een beperkt aantal gemeten putten in Nederland (29 uit 1303) suggereren statistisch gezien een lekkage van naar schatting 26 tot 143 putten van alle onshore olie- en gasputten. Dit sluit aan bij de statistische resultaten uit buitenlandse studies. De ECN-studie beschrijft geringe en onverklaarde methaanemissies bij vijf locaties. De door TNO toegepaste statistiek gebruikt alle aanwezige onshore putten in Nederland als basis voor de prognoses. Voor een nauwkeurigere voorspelling van de faalkans is het echter noodzakelijk de oorzaak van de lekkage van put Monster-02 te kennen. Gezien de variatie in putconfiguratie, putleeftijd, gebruik, onderhoud, aanwezigheid van corrosieve stoffen, geologie, etc. is het voorstelbaar, dat bepaalde risico's slechts op een deel van de putten van toepassing zijn. Omdat in de komende decennia veel putten in Nederland zullen worden geabandonneerd, is het van belang de kans op methaanemissie door integriteitsproblemen te minimaliseren.

Methaanemissie op de Noordzee

Het is op basis van internationaal en nationaal onderzoek bekend dat (biogeen) methaan uit de Noordzeebodem lekt waarvan een deel ook de atmosfeer bereikt. Het gaat hierbij om natuurlijke "seeps", maar ook gaan om lekkage langs een olie- of gasput. Dit laatste is aangetoond voor drie geabandonneerde putten op het Noorse continentale plat. Sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw hebben verscheidene studies schattingen gemaakt van de methaanfluxen uit de zeebodem naar de Noordzee als ook vanuit de Noordzee naar de atmosfeer.

Er is forse onzekerheid over de grootte van de totale natuurlijke methaanflux vanuit de zeebodem naar de Noordzee (het waterlichaam) in vergelijking met de totale flux door lekkage langs de put (antropogene bron). In de eerder besproken offshore emissiecijfers uit exploratie en productie van olie en gas op de Noordzee zijn dergelijke lekkages niet opgenomen. De onzekerheid in de emissie vanuit het water van de Noordzee naar de atmosfeer is navenant. De (antropogene) methaanlekkage ontstaan na de blow-out in UK22/4b in het Engelse deel van het continentale plat (die plaats vond in 1990) is momenteel de grootste enkelvoudige bron van methaan op de Noordzee (700 ton/jaar).

De opschaling vanuit individuele metingen bij zowel natuurlijke als antropogene bronnen naar regionale fluxen gaat met grote onzekerheid gepaard. Deze onzekerheid betreft zowel de conceptuele aannames bij het opschalen als de ruimtelijke en temporele representativiteit van de metingen.

Resultaten uit twee studies in de Noordzee geven een extreem spreiding in schatting van de natuurlijke methaanflux: één rond 200 ton/jaar en de andere 87.000 – 6.200.000 ton/jaar. Als het om antropogene methaanflux gaat, leiden Vielstadte et al. (2017) op basis van de bevindingen van drie lekkende putten af dat de totale lekkage van 3.000 – 17.000 ton/jaar zou bedragen in de gehele Noordzee zonder de onzekerheid van de grootte van de flux bij individuele putten gedetailleerd uit te werken. Deze inschatting van antropogene effecten is verder gebaseerd op de veronderstelling dat één op de drie olie- of gasputten in de Noordzee één (of meerdere) ondiepe biogeen methaan accumulaties (bright spots tussen 200-800 m diep) doorboord en/of verstoord, wat geen vanzelfsprekendheid is. De auteurs veronderstellen daarbij ook dat er dan altijd lekkage optreedt langs het boorgat doordat het doorboorde gesteente verbroken is geraakt en zodoende een migratiepad voor het gas vormt. Ook dit is niet vanzelfsprekend want ondiepe,

plastische kleilagen kunnen opwaartse migratie langs de put beperken dan wel belemmeren. Tenslotte wordt microbiële oxidatie van methaan in het artikel verwaarloosd terwijl andere studies het optreden van methaanoxidatie in de zeebodem en de waterkolom aannemelijk maken.

Het is algemeen bekend dat Noordzeewater regelmatig oververzadigd is aan methaan ten opzichte van de atmosfeer. Dit betekent dat de Noordzee op Europese schaal een relevante bron is van methaan naar de atmosfeer. Bovendien is de Nederlandse situatie relatief ongunstig voor de methaanflux vanuit de Noordzeebodem richting de atmosfeer, omdat de Noordzee in het zuidelijk deel van het Nederlandse continentale plat ondiep is waardoor opborrelende gasbellen gemakkelijk het wateroppervlak bereiken.

Eerste duiding van het belang en omvang in Nederland

TNO concludeert op basis van het onderliggende onderzoek dat de huidige situatie in Nederland met betrekking tot methaanemissies uit de olie- en gassector niet verontrustend is. De relatieve bijdrage van de sector t.o.v. andere antropogene bronnen is beperkt. De exacte bijdrage blijft onzeker zoals de studie naar methaanemissie in Groningen laat zien (Yacovitch, 2018). Ook in Europa is de positie van Nederland gunstig. Wanneer de bijdrage van de olie- en gassector wordt uitgedrukt als fractie van de totale gerapporteerde antropogene methaanemissies is de verhouding in Europa 7-10% en in Nederland 3%. Ondanks het feit dat gerapporteerde emissiecijfers een onzekerheid kennen, zijn er goede redenen om aan te nemen dat deze fractie in Nederland laag is. Zo kan deze mede worden verklaard door verregaande emissiereductiemaatregelen in Nederland sinds de jaren '90 maar ook door de dominantie van andere emissiebronnen, zoals de melkveehouderij.

Er is beperkt onderzoek gedaan naar lekkende putten en daaruit kan statistisch geschat worden dat de trefkans 2 tot 11 op 100 putten is. Dit betekent dat van de naar schatting 26 tot 143 van de in totaal 1303 buiten gebruik gestelde putten mogelijke lekkage van methaan kan optreden. Er is hierbij een wezenlijk verschil tussen lekkage van een put en een relevante bijdrage aan de broeikasgasemissies van Nederland door lekkage. Bij (beperkte) lekkage ondergronds kan oxidatie van methaan optreden waardoor er mogelijk geen netto flux naar de atmosfeer is. Enkel methaan in de atmosfeer draagt bij aan het broeikaseffect. Er zijn nu bij ca. 200 buiten gebruik gestelde putten metingen verricht waarbij geen relevante flux naar de atmosfeer is vastgesteld. De tot nu toe beschikbare informatie geeft geen aanleiding te veronderstellen dat de geabandonneerde putten op land een significante bijdrage aan de broeikasgasemissies van Nederland leveren. Zoals gezegd geeft dit geen uitsluitel over mogelijke lekkage ondergronds.

De incidentele onderzoeken en metingen op het vasteland en de Noordzee geven een onvolledig beeld waardoor een goed inzicht in de omvang van de methaanemissies momenteel ontbreekt. Over de methaanemissies vanuit de Noordzee gerelateerd aan de exploratie en productie van olie en gas zijn er momenteel geen éénduidige metingen die inzicht verschaffen in het optreden van lekkages en de hiermee samenhangende emissies naar het Noordzeewater en de atmosfeer. De beperkte studies die bekend zijn suggereren een grote range van mogelijke methaanfluxen door zowel natuurlijke als antropogene oorzaken.

Suggesties voor het handelingsperspectief

- De rapportage van methaanemissies door de olie- en gassector voldoet aan de gestelde normen. Echter, om de lage methaanemissies (internationaal) te onderbouwen en verifiëren is op een aantal vlakken meer transparantie nodig. Dit betreft:
 - meer inzicht in de onderliggende emissiebepaling- en rapportageprocedures;
 - het zover mogelijk uitsplitsen van emissiecategorieën in (inter)nationale rapportages;
 - het jaarlijks publiceren van gedetailleerde methaanemissiecijfers, bij voorkeur per operator/actor en per bron/installatie, bijvoorbeeld op het publieke Emissieregistratie portaal, ten einde de transparantie te bevorderen;
 - Daarnaast moet ernaar gestreefd worden methaanemissies uit incidenten zoveel mogelijk mee te nemen in de rapportages en als zodanig te benoemen.
- Het opstellen en uitvoeren van een monitoringsplan voor geabandonneerde en actieve putten verdient opvolging. Het is aan te bevelen om de monitoring van de olie- en gasputten samen met de sector (NOGEPA) te ontwikkelen. NOGEPA heeft inmiddels zelf ook activiteiten in dit kader ontplooid. Prioriteit zou gelegd kunnen worden bij de inspectie van putintegriteit en monitoring van de atmosferische samenstelling van putten in de nabijheid van dichtbevolkte gebieden, putten die lang geleden zijn geabandonneerd en putten met hoge gehalten van corrosieve stoffen (b.v. H_2S).
- Een eenduidige definitie voor alle putstatus codes wordt aanbevolen, die vervolgens door alle operators wordt gebruikt.
- Methaanemissies gerelateerd aan de exploratie en productie van olie en gas op de Noordzee verdienen meer aandacht. Het is aangetoond dat het boren op de Noordzee kan leiden tot een verhoogde methaanflux vanuit de bodem naar de atmosfeer. Echter met welke omvang en hoe wijdverspreid dit plaatsvindt is zeer onzeker.
- Het afblazen van restgassen bij winningslocaties op de Noordzee, die niet in het systeem kunnen worden teruggebracht, leidt tot significante methaanemissies. In 1980 heeft Staatstoezicht op de Mijnen de operators in Nederland verzocht testwerkzaamheden (waarbij affakkelen plaats vindt) tijdig te onderbreken wanneer dit uit het oogpunt van bescherming van vogels gewenst is. Dit heeft er toe geleid dat men op het Nederlandse deel van de Noordzee is overgaan op afblazen in plaats van affakkelen. In de afgelopen decennia zijn er nieuwe inzichten ontstaan omtrent het belang van methaan en zijn er vergaande emissie-reducerende maatregelen genomen. De totale hoeveelheid gas die wordt afgeblazen is mede hierdoor aanzienlijk terug gedrongen. Desalniettemin verdient het aanbeveling om de voorkeur voor afblazen in overleg met belanghebbende partijen (waaronder natuurbeschermingsorganisaties) te heroverwegen en vervolgens de afspraken te documenteren en publiek te maken.
- De agrarische sector, met name de melkveehouderij, is de dominante bron van methaanemissie in Nederland. Een nadere analyse van de landbouwemissies en potentiële emissiereductie is mogelijk nuttig, maar is buiten de scope van dit rapport.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	9
2	Verkenning van de methaanemissies.....	10
2.1	Introductie	10
2.2	Methaanemissies in Nederland en West Europa	15
2.3	Conclusie	32
2.4	Methaan emissieverificatie met meerdere meetmethoden. Het Groningen gasveld.....	33
2.5	Aanbevelingen	35
2.6	Actuele ontwikkelingen	36
3	Methaanlekkages uit de olie- en gasputten in Nederland	38
3.1	Introductie putintegriteit	38
3.2	Diepe putten in Nederland	41
3.3	Methaanlekkage en diepe putten	46
3.4	Methaanlekkage op de Noordzee.....	52
3.5	Conclusies	59
3.6	Aanbevelingen	61
4	Referenties	63
4.1	Referenties Hoofdstuk 2	63
4.2	Referenties Hoofdstuk 3	67
4.3	Referentie bijlagen.....	69
5	Bijlagen	70
6	Ondertekening	73

1 Inleiding

Tijdens het Tweede Kamerdebat van 14 november 2017 over “Gasvondst Schiermonnikoog: winnen of niet?”⁵ hebben GroenLinks en Partij van de Dieren vragen gesteld aan minister Wiebes van Economische Zaken en Klimaat (EZK) over de mate waarop lekkages en het verbranden van aardgas bijdragen aan klimaatverandering. Op verzoek van het ministerie van EZK heeft TNO-AGE een nadere verkenning uitgevoerd naar methaanemissies in Nederland gerelateerd aan de olie- en gassector. Bij de olie- en gassector worden in deze verkenning zowel exploratie en productie (E&P), transport, verwerking, distributie en opslag van olie en gas gerekend.

Naast cijfers en vergelijkingen t.o.v. Europa en de wereld bevat het rapport ook een indicatieve duiding van het belang en de omvang van de methaanemissie in Nederland. Het ministerie heeft TNO tevens verzocht om de resultaten van recente studies naar methaanlekkage uit olie/gasputten onshore en offshore mee te nemen. Het rapport is ingedeeld in een brede verkenning van de methaanemissies van de olie- en gassector aan de hand van publieke literatuur en rapportages (hoofdstuk 2), en een meer specifieke analyse van methaanlekkage uit de olie- en gasputten in Nederland (hoofdstuk 3). Tevens worden per hoofdstuk enkele suggesties voor vervolgonderzoek geformuleerd.

⁵ https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/plenaire_verslagen/kamer_in_het_kort/gasvondst-schiermonnikoog-winnen-niet

2 Verkenning van de methaanemissies

2.1 Introductie

Methaan (CH_4) speelt een rol bij klimaatverandering en luchtkwaliteit. Voor luchtkwaliteit is de werking van methaan als precursor bij ozonvorming van belang. Naast methaan dragen vooral de componenten NMVOS (niet-methaan vluchtige organische stoffen) en NO_x (stikstofoxiden) bij aan ozonvorming. De rol van methaan als broeikasgas is belangrijker en dominanter in het (beleids)debat dan de rol bij luchtkwaliteit, waar het een heel beperkte rol heeft. De antropogene emissies van methaan worden daarom gerapporteerd onder het klimaatverdrag van de Verenigde Naties (UNFCCC) en niet onder de conventie voor *Long Range Transboundary Air Pollution* (Convention LRTAP). In de verdere discussie en analyse concentreren we ons op de rol van methaan als broeikasgas.

Als broeikasgas heeft methaan per gewichtseenheid een sterkere werking dan koolstofdioxide (CO_2). Daarmee is methaan een sterker broeikasgas dan koolstofdioxide. Dit komt tot uitdrukking in de *Global Warming Potential* (GWP), waarbij methaan uitgedrukt wordt in koolstofdioxide-equivalente emissies. Onder het Kyoto protocol van de Verenigde Naties (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) is afgesproken dat gerekend wordt met een GWP van 25 voor methaan op een 100-jarige tijdschaal op basis van IPCC (1996, 2007). Dat houdt in, dat 1 kilo methaan over een periode van 100 jaar, 25 keer meer aan het broeikaseffect bijdraagt dan 1 kilo koolstofdioxide. Recent onderzoek suggereert dat de GWP van methaan nog hoger is en in de range van 28–36 over een tijdshorizon van 100 jaar ligt (IPCC AR5, 2013).

Er zijn drie manieren waarop methaan gevormd kan worden:

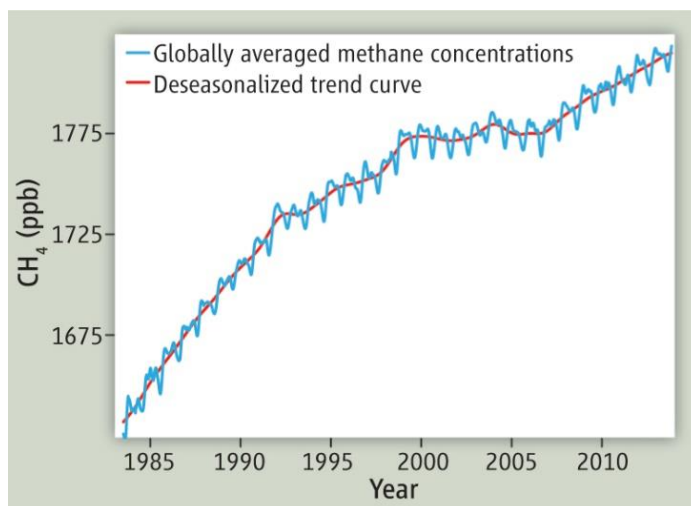
- **Biogeen:** bij afbraak (vergisting) van biogeen materiaal onder zuurstofarme condities.
- **Thermogeen:** wanneer resten plantaardig en dierlijk materiaal onder hoge druk en temperatuur samengedrukt worden in de aardkorst.
- **Pyrogeen:** Bij onvolledige verbranding van biomassa en biobrandstoffen.

Belangrijke antropogene bronnen ('sources') van methaan zijn de landbouw, afvalstortplaatsen en de exploratie en productie van fossiele brandstoffen. Grote natuurlijke methaanbronnen zijn moerassen (wetlands) en methaanlekken uit geologische formaties. Er is ook een aantal verwijderingsmechanismen ('sinks' of 'putten') voor methaan, te weten afbraak van methaan in de atmosfeer en in mindere mate opname van methaan in bodems, waar het door methaan-oxiderende bacteriën wordt afgebroken. De onzekerheid omtrent de grootte van de verschillende methaanbronnen en putten heeft te maken met het feit dat veel van deze processen op een ruimtelijk diffuse manier plaatsvinden en verschillende bronnen en putten elkaar ruimtelijk kunnen overlappen (Saunois et al., 2016).

2.1.1 Het mondiale en Europese methaانبudget

Het mondiale methaانبudget, oftewel de balans tussen bronnen (sources) en putten (sinks), kent veel onzekerheden. Het verschil tussen beiden veroorzaakt een verandering van de methaانconcentratie in de atmosfeer. Hoewel omvang en aard van bronnen en putten van methaان nog niet uitputtend in beeld zijn, kunnen veranderingen in de atmosferische methaانconcentraties nauwkeurig worden gemeten. Hierdoor is het verschil tussen de grootte van bronnen en putten op mondiale schaal nauwkeurig bekend (Nisbet et al., 2014; Figuur 2-1). Uit metingen van de mondiale methaانconcentratie blijkt dat deze stijgt. Hoewel de onzekerheden in de absolute grootte van de verschillende categorieën (emissie)bronnen (sources) en (opname)putten (sinks) voor methaان blijven bestaan, draagt de identificatie van de bronnen bij aan het definiëren van de meest effectieve reductiestrategieën.

Figuur 2-1 Mondiaal gemiddelde atmosferische methaانconcentraties. De concentraties kenden een sterke stijging voor 1992. De stijging nam vervolgens af en kwam bijna tot stilstand tussen 1999 en 2006, maar werd hervat in 2007. Data afkomstig van Nisbet et al., 2014.



De balans tussen methaان bronnen en putten is niet constant, zelfs niet over de laatste 20 jaar. Dit is duidelijk te zien in Figuur 2-1. Het gevolg is een variabele groeisnelheid van de concentratie methaان in de atmosfeer. Vanaf het jaar 2000 tot 2007 dacht men, dat het methaانبudget zich gestabiliseerd had (zie het plateau in Figuur 2-1). Sinds 2007 neemt de methaانconcentratie weer versneld toe (Nisbet et al., 2014). Deze recente periode van versnelde concentratietoename heeft het wetenschappelijke debat aangewakkerd omtrent de oorzaken van deze stijging en heeft de beleidspolitieke agenda bereikt.

Anderson en Broderick (2017) hebben in opdracht van Friends of the Earth een analyse gemaakt : *'Natural gas and climate change in relation to the EU Carbon Budget'*. Hierin wordt nader onderzocht of gas gezien kan en mag worden als een transitiebrandstof, indien de doelstelling van het Parijs akkoord moet worden gehaald. De recente stijging van de methaانconcentratie en de opwaartse bijstelling van de GWP zijn de directe aanleiding om kritischer naar methaان en methaانbronnen te kijken. Er is immers geen wetenschappelijke consensus omtrent de oorzaken. De belangrijkste genoemde oorzaken zijn:

- een toename van de (antropogene) biogene methaanemissies in de tropen (Nisbet et al., 2016);
- een stijging van de methaanemissie uit de olie- en gasindustrie, met name door de schaliegasrevolutie in Noord-Amerika (Brandt et al., 2014);
- een afname van de methaanafbraak in de atmosfeer (Dalsoren et al., 2016).

De laatstgenoemde oorzaak zou ertoe kunnen leiden dat, bij gelijkblijvende bronsterkte, de atmosferische concentratie toch harder gaat stijgen door verminderde afbraak. Er is nadrukkelijk nader onderzoek nodig om beslissender te concluderen wat de oorzaken zijn. Het meest waarschijnlijk is dat alle voornoemde componenten een rol spelen en er niet één enkele oorzaak is. Zeer recent hebben Worden et al. (2017) een analyse gepresenteerd die de verschillende oorzaken met elkaar in overeenstemming brengt. Onderdeel daarvan is een aanzienlijke stijging (12–19 Tg methaan per jaar) van de methaanemissie uit de exploratie en productie van olie en gas. Het mag duidelijk zijn dat het laatste woord over de toename van methaan sinds 2007, zoals te zien in Figuur 2-1, nog niet is gezegd.

Om de wereldwijde bronnen en afbraak van methaan in kaart te brengen, wordt gebruik gemaakt van zogenaamde top-down en bottom-up methoden. Bij de top-down methoden wordt de sterkte van methaanbronnen berekend via atmosferische observaties en satellietwaarnemingen in combinatie met atmosferisch-chemische transportmodellen. Bij de bottom-up methoden worden de methaanemissies berekend op basis van (statistische) gegevens over (economische) activiteiten binnen een sector en bijbehorende emissiefactoren. De Nederlandse emissieregistratie maakt gebruik van een bottom-up methodiek voor het bepalen van Nederlandse broeikasgasemissies ten behoeve van de rapportage van broeikasgasemissies onder het klimaatverdrag (zie ook sectie 2.2. en Coenen et al., 2017).

De meest recente inventarisatie van het mondiale methaانبudget is gepubliceerd door Saunio et al. (2016) in het kader van het Global Carbon Project. In Tabel 2-1 wordt een schatting gegeven van het jaarlijkse mondiale methaانبudget voor de periode 2003 – 2012. In de tabel staan de gemiddelde waarden, die zijn berekend uit resultaten van verschillende inventarisaties en modellen. Voor de hoofdcategorieën is de range van uitkomsten gegeven tussen vierkante haken. Zoals uit Tabel 2-1 blijkt is het verschil tussen de top-down en bottom-up methode het grootste voor de natuurlijke bronnen. De totale jaarlijkse wereldwijde methaanemissie is ongeveer 736 Mt. Daarvan komt 384 Mt (52%) uit natuurlijke bronnen en de overige 352 Mt (48%) uit antropogene bronnen. Landbouw (inclusief veehouderij en rijstbouw) is de belangrijkste antropogene bron (136 Mt), direct gevolgd door de fossiele brandstofsector (121 Mt). Binnen deze sector is een onderverdeling gemaakt in methaanemissies uit kolenmijnen (41 Mt, 12% van het totale antropogene budget) en methaanemissies uit de olie- en gassector plus de industrie (79 Mt, 22% van het totale antropogene budget). Hoewel Saunio deze post niet verder uitsplitst, kan op basis van andere literatuur gesteld worden dat de olie- en gassector hierin veruit het belangrijkste is (~90%⁶ volgens Höglund-Isaksson, 2012).

⁶ In Höglund-Isaksson (2012) worden de methaanemissies uit de olie- en gassector voor de 2005 baseline geschat op 98,4 Mt. De verbrandingsemissies (omvat de industrie) worden geschat op 10,7 Mt.

Het methaانبudget kan op basis van modelberekeningen worden verdeeld over verschillende regio's. Aan de rechterzijde van Tabel 2-2 staat het afgeleide methaانبudget voor Europa, zoals samengesteld door Saunois et al. (2016). Dit budget is incompleet, omdat niet voor alle bronnen en putten de ruimtelijke verdeling bekend is. In Europa is landbouw de belangrijkste antropogene bron van methaan met een bijdrage van ca. 10,4 Mt. De olie- en gassector en industrie hebben een lagere bijdrage van ongeveer 3,4 Mt in Europa.

Tabel 2-1 Wereldwijde en Europa jaarlijkse methaanemissies en opname per bron, in megaton methaan op basis van de bottom-up en top-down methode (Saunois et al., 2016). (-) cijfers niet beschikbaar.

Megaton methaan (jaarlijks gemiddelde)				
Periode	2003-2012			
Regio	Wereldwijd		Europa	
Methode	Bottom-up	Top-down	Bottom-up	Top-down
Natuurlijke bronnen	384 [257 – 524]	231 [194 – 296]	4,0	3,3
Natuurlijke wetlands	185	167	4,0	1,8
Overig natuurlijk	199	64		1,5
Overige bronnen op land	185	-	-	-
Oceanische bronnen	14	-	-	-
Antropogene bronnen	352 ^{b)} [340 – 360]	328 [259 – 370]	23,9	24,2
Landbouw & afval ^{a)}	195	188	17,2	15,7
Darmgisting & mest	106	-	10,3	-
Stortplaatsen & afval	59	-	6,9	
Rijstbouw	30	-	0,1	-
Fossiele brandstoffen	121	105	5,7	7,8
Kolenmijnen	41	--	1,9	-
Gas, olie & industrie ^{b)}	79	-	3,4	-
Biomassa & biobrandstof verbranding	30	34	1,0	0,7
Biomassa verbranding	18	-	0,1	-
Biobrandstof verbranding	12	-	0,9	-
Verwijdering (Sinks)	-	548	-	-
Chemische afbraak	-	515	-	-
Opname bodem	-	33	-	1,2
TOTAAL				
Bronnen (sources)	736 ^{c)} [596 – 884]	558 [540 – 568]	27,9	27,5
Verwijdering (Sinks)	-	548	-	-

^{a)} Landbouw & afval zijn samengevoegd, omdat beide een bijna gelijke isotootsignatuur hebben.

^{b)} Methaanemissie uit olie- en gassector plus methaanemissie uit verbranding van koolwaterstoffen in de industrie.

^{c)} De individuele bronnen tellen op tot minder (346) dan het totaal (352). Voor elke bron is het getal afkomstig uit meerdere studies. Geen enkele studie heeft bij alle bronnen de laagste schatting, waardoor er compensatie is. Het totaal van 352 Mt is een gewogen gemiddelde (zie ook Saunois et al., 2016).

2.1.2 Methaanemissies uit olie- en gassector

Methaanemissies treden in de olie- en gassector op bij de exploratie, productie, behandeling, opslag, transport en distributie van olie en gas. Meer specifiek kunnen methaanemissies in de E&P sector optreden bij boor- en productie-installaties, uit lekkende putten en bij lekkages in installaties en bij het affakkelen⁷ (flaring) of afblazen⁸ (venting) van restgassen die niet teruggebracht kunnen worden in het systeem of vrijkomen bij onderhoud wanneer een deel van de installatie van druk moet worden gelaten (Kang et al., 2016). Methaanemissies bij de behandeling, opslag, transport en distributie zijn vooral afkomstig van pneumatisch componenten, uit afblazen (bijv. tijdens onderhoud) of uit onvoorziene lekkages.

Zoals blijkt uit paragraaf 2.1.1 en Tabel 2-1, levert de olie- en gassector een niet te verwaarlozen bijdrage aan de totale mondiale methaanemissies (79 Mt (11%) uit de totale 736 Mt, inclusief verbrandingsemissies industrie). Op basis van het mondiale methaanbudget (Saunois et al., 2016; bottom-up), geeft Tabel 2-2 de jaarlijks methaanemissies uit de fossiele brandstofketen (120,6 Mt) en de onderliggende subsectoren waarbij de emissies uit de olie- en gassector en industrie (79,2 Mt) zijn verdeeld over de verschillende regio's. Voor Europa worden de methaanemissies uit deze sector geschat op ca. 3,4 Mt, of ongeveer 4,3% van het mondiale totaal uit deze sector (79,2 Mt).

Tabel 2-2 Bottom-up berekende methaanemissies uit fossiele brandstoffen, met emissies uit olie- en gassector en industrie uitgesplitst naar regio, in megaton methaan (Saunois et al., 2016). De "model range" cijfers komen uit de minimale en maximale waarden, welke door regionale modellen worden gegenereerd.

Megaton methaan	Bottom-up, 2003 - 2012	
	Gemiddeld	Range modeluitkomsten
Totaal fossiele brandstofketen (kolen/gas/olie)	120,6	114 - 120
1.- Kolenmijnen	41,3	26 - 50
2.- olie- en gassector & industrie	79,2	69 - 88
Centraal Eurazië en Japan	19,8	18,1 - 23,5
Rusland	17,4	15,6 - 22,3
Noord Afrika	8,7	5,7 - 13,5
Temp. Noord Amerika	8,0	6,1 - 13,3
Tropisch Zuid Amerika	6,4	2,3 - 15,4
Zuid oost Azië	4,4	4 - 4,8
Europa	3,4	1,5 - 5,3
China	2,7	1,8 - 3,3
Zuid Afrika	2,4	1 - 4,2
Boreaal Noord Amerika	2,0	1,2 - 2,5
India	1,7	0,9 - 3,5
Centraal Noord Amerika	1,5	0,1 - 2,3
Temp. Zuid Amerika	0,9	0,6 - 1,1
Oceanië	0,3	0,3 - 0,3

⁷ Bij affakkelen (flaring) worden de koolwaterstoffen verbrand in een fakkel. Afhankelijk van de efficiëntie van de fakkel kunnen hierbij onverbrande koolwaterstoffen ontsnappen naar de atmosfeer. Wanneer methaan ontsnapt, wordt dit meegenomen als een methaanemissie uit affakkelen.

⁸ Afblazen (venting) behelst het gecontroleerd afblazen van onverbrande koolwaterstoffen naar de atmosfeer.

2.2 Methaanemissies in Nederland en West Europa

2.2.1 Nederland

2.2.1.1 Gerapporteerde methaanemissies

De Annex I-landen⁹ moeten jaarlijks hun emissies van broeikasgassen, via het UNFCCC secretariaat, rapporteren aan de Conference of Parties. Dit gebeurt middels een National Inventory Report (NIR). De nationale emissierapportages ijlen doorgaans 2 jaar na, omdat de benodigde statistische gegevens beschikbaar moeten komen alvorens emissies berekend kunnen worden. Bij aanvang van deze rapportage was 2015 het meest recente jaar waarover de landen gerapporteerd hebben.

De door Nederland gerapporteerde methaanemissies over 2015, opgesplitst naar sector, worden weergegeven in Tabel 2-3. Over 2015 is een totale methaanemissie van 760 kt gerapporteerd. Dit staat gelijk aan ca. 10% van de totale Nederlandse broeikasgasemissies, uitgedrukt in CO₂ equivalente emissies (d.w.z. 19,0 Mt CO₂ eq. van de totale 201,74 Mt CO₂ eq.¹⁰) (Tabel 2-3). Hierbij is gerekend met een GWP over 100 jaar (GWP₁₀₀) waarde van 25 voor methaan.

De meeste methaanemissies in Nederland zijn afkomstig van de landbouw (519,92 kt, 70% van het totaal). De afvalsector is verantwoordelijk voor een fors deel van de methaanemissies (129,2 kt, 17 % van het totaal). Binnen deze sector komen de emissies vooral van stortplaatsen, waar anaerobe afbraak van organische afval voor methaanvorming zorgt. De gerapporteerde methaanemissie voor de energiesector (productie en verbranding van brandstoffen) is ca. 92,9 kt voor 2015. Dit is ongeveer 12% van de totale methaanemissie in Nederland. Binnen deze sector zijn de diffuse emissies uit de olie- en gassector verantwoordelijk voor bijna 1/3 van de methaanemissies (25,78 kt), dit komt overeen met ca. 3% van de totale Nederlandse methaanemissie, of ca. 0,3% van de totale Nederlandse broeikasgasemissies. Inclusief de overige broeikasgasemissies (CO₂) is de bijdrage van de olie- en gassector ca. 1% van de totale Nederlandse broeikasgasemissies.

Voor de drie eerdergenoemde sectoren, landbouw, afval en de olie- en gassector geldt dat de gerapporteerde methaanemissies de afgelopen 25 jaar zijn gedaald in Nederland. De methaanemissies in de landbouw zijn met ca. 14% gedaald sinds 1990. Bij de afvalsector is een daling van 77% te zien. Dit is o.a. gerealiseerd met het verbieden van storten van organisch afval. Dit afval gaat via gescheiden inzameling naar composteerinstallaties. Voorts zijn de bestaande stortplaatsen waar mogelijk afgedekt en wordt stortgas, bestaand uit hoofdzakelijk methaan, gewonnen. Methaanemissies uit de olie- en gassector zijn sinds 1990 met ca. 67% afgenomen. Voor het onderdeel exploratie en productie (E&P) is deze daling met 79% nog groter.

Tabel 2-3 (volgende pagina) Antropogeen veroorzaakte methaanemissies (kt/jaar) in Nederland voor 2015, gegroepeerd per sector. Bron: Coenen et al., 2017. De twee kolommen aan de rechterkant geven: methaanemissies in kt CO₂-equivalenten (groen); totale broeikasgasemissies in kt CO₂-eq van elke sector (blauw). (zie gegevens in taartdiagram).

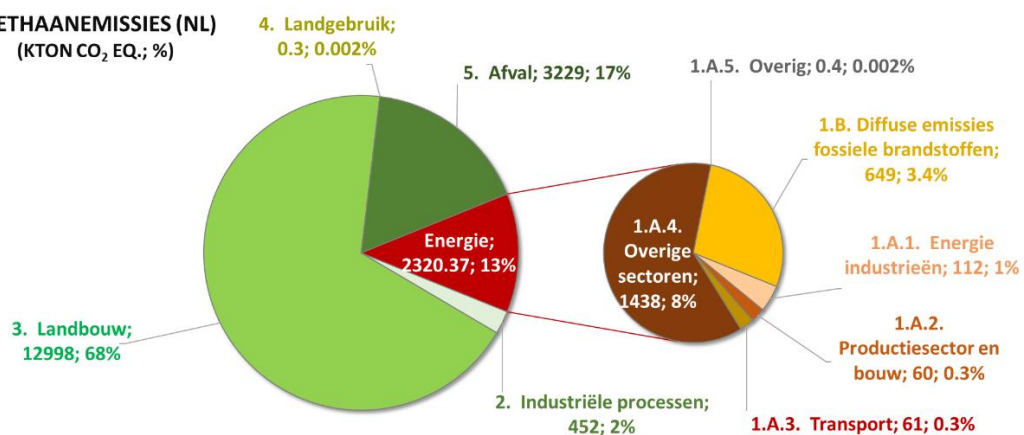
⁹ Zie voor alle Annex I landen:

http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php

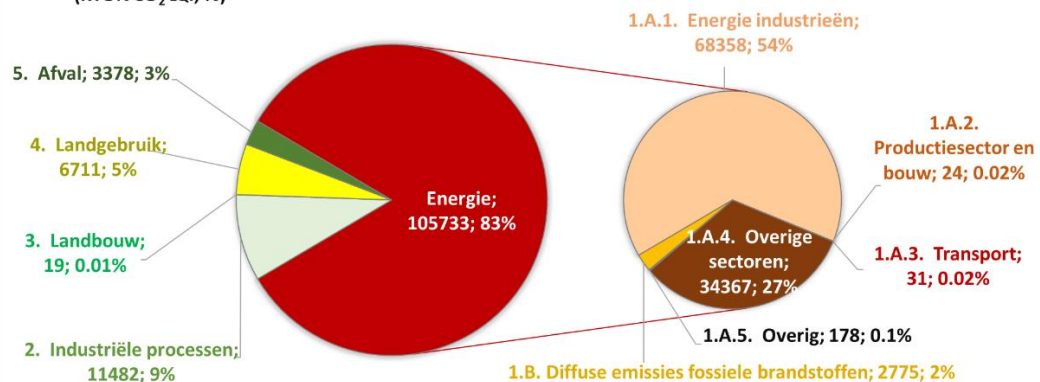
¹⁰ Bij deze waarde zijn ook de emissies uit landgebruik, verandering van landgebruik en bosbouw meegenomen

	CH ₄ emissies	Aandeel			CH ₄	Totaal GHG
	kt CH ₄	Subtotaal %			kt CO ₂ eq.	kt CO ₂ eq.
1. Energie	92,85	12%			2.321	160.968
1.A. Verbranding brandstoffen	66,87		8,8%		1.672	158.192
1.A.1. Energie industrieën	4,48			0,6%	112	68.358
1.A.2. Productiesector en bouw	2,39			0,3%	60	24.130
1.A.3. Transport	2,45			0,3%	61	31.160
1.A.4. Overige sectoren	57,53			7,6%	1.438	34.367
1.A.5. Overig	0,01			0,00%	0,37	178
1.B. Diffuse emissies fossiele brandstoffen	25,98		3,4%		649	2.775
1.B.1. Vaste brandstoffen	0,20			0,03%	5	816
1.B.2. Olie en aardgas en overige emissies uit energieproductie	25,78			3,4%	644	1.960
2. Industriële processen	18,08	2%			452	11.482
3. Landbouw	519,92	68%			12.998	19.210
4. Landgebruik, verandering van landgebruik en bosbouw	0,01	0,0%			0,33	6.711
5. Afval	129,18	17%			3.229	3.378
Totale emissies	760,04				19.001	201.749

METHAANEMISSIONS (NL)
(KTON CO₂ EQ.; %)



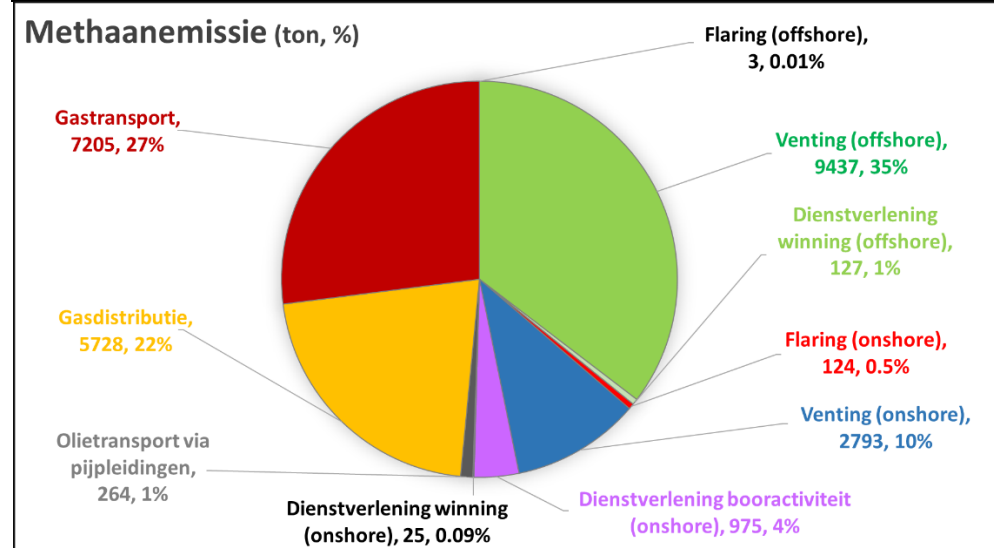
TOTAAL GHG EMISSIONS (NL)
(KTON CO₂ EQ.; %)



Tabel 2-4 toont de methaanemissies uit de olie- en gassector in 2015 (emissieregistratie, 2018), uitgesplitst naar proces. Onshore en offshore afblazen is, met 45% van de emissies, de belangrijkste oorzaak van methaanemissies in deze sector. Daarnaast zijn gastransport (27%) en gasdistributie (21%) grote bronnen. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen affakkelen/afblazen bij de productie van olie of aardgas.

Tabel 2-4 Uitsplitsing methaanemissies in 2015 van olie- en gassector naar bron (Emissieregistratie, 2018). Daaronder dezelfde gegevens in taartdiagram. (a) Totalen zijn afgerond. (b) De kleine afwijking in de totale emissies tussen Tabel 2-3 en sector 1.B.2. (O & G en overige emissies uit energieproductie) in Tabel 2-4 wordt veroorzaakt doordat een deel van de van de methaanemissies uit sommige processen wordt gerapporteerd onder sector 1.A.1. (Energie industrieën).

Proces omschrijving	Methaan emissie (ton)	Aandeel in sectortotaal
Aardolie- en gaswinning, affakkelen (flaring), offshore	3	0,01%
Aardolie- en gaswinning, afblazen (venting), offshore	9.437	35%
Aardolie- en gaswinning en dienstverlening voor de aardolie- en aardgaswinning, offshore	127	0,47%
Totaal exploratie en productie, offshore	9.567	36%
Aardolie- en gaswinning, affakkelen (flaring), onshore	124	0,46%
Aardolie- en gaswinning, afblazen (venting), onshore	2.793	10%
Aardolie- en gaswinning en dienstverlening voor de aardolie- en aardgaswinning, booractiviteiten	975	3,6%
Aardolie- en gaswinning en dienstverlening voor de aardolie- en aardgaswinning, onshore	25	0,09%
Totaal exploratie en productie, onshore	3.917	15%
Aardolieraffinage	222	0,8%
Olietransport via pijpleidingen	264	1,0%
Gasdistributie	5.728	21%
Gastransport	7.205	27%
Totaal opslag, transport, distributie en raffinage	13.419	50%
Nederland totaal (onshore & offshore)^{a, b}	26.903	



2.2.1.2 *Het rapportageproces van methaanemissies door de olie- en gassector*

De herkomst van de Nederlandse emissiecijfers wordt beschreven in het methodiekrapport van de taakgroep ENINA (energie, industrie en afval) van de Nederlandse emissieregistratie (RIVM, 2017). Een schematische samenvatting van het proces van methaanemissierapportage van de olie- en gassector (incl. de actoren, rapportageverplichtingen, emissiebepalingsmethoden en rapportagemedia) wordt gegeven in Tabel 2-5.

Exploratie en productie

Voor de operators actief in de exploratie en productie van olie- en gas in Nederland, geldt dat de rapportage van o.a. methaanemissies is afgesproken in een convenant¹¹ tussen de sector en de Nederlandse overheid. Het protocol¹² voor de rapportage is ook vastgelegd. Emissiebepaling dient te geschieden middels o.a. het gebruik van kentallen (bijv. uit *industry standards*), metingen en berekeningen. De operators rapporteren methaanemissies uit boorinstallaties en productie-installaties als gevolg van afblazen, affakkelen, stookinstallaties en overige diffuse emissies middels het elektronische milieujaarverslag (e-MJV). Dit milieujaarverslag wordt getoetst door SodM maar de emissies worden tot op heden niet per operator publiek beschikbaar gesteld^{13 14}. Ook methaanemissies uit onverhoopte gaslekages (incidenten) dienen volgens het protocol bepaald en gerapporteerd te worden, het is echter onduidelijk in hoeverre dit in de praktijk gebeurt. Deze incidenten dienen, bij een emissie van meer dan 1 kg methaan, ook aan SodM gerapporteerd te worden op grond van Wet milieubeheer 17.2, Arbobesluit 2.42c section 1 en de Offshore Safety Directive/Commission Implementation Regulation 1112/2014/EU.

Gastransport en opslag

De methaanemissies uit gastransport en opslag worden door Gasunie bepaald. De methaanemissies uit grote compressorstations en gasopslaglocaties worden onder het Activiteitenbesluit gerapporteerd middels een e-MJV. Deze emissies zijn per locatie in te zien op de website van de emissieregistratie¹⁵. De Gasunie rapporteert een totaal methaanemissiegetal voor gastransport en -opslag uit maatschappelijk oogpunt in haar jaarverslag. Bepaling van methaanemissies geschiedt middels o.a. het gebruik van kentallen, metingen en berekeningen.

Gasdistributie

De methaanemissies uit gasdistributie worden in opdracht van Netbeheer Nederland door KIWA bepaald en gepubliceerd (KIWA, 2016). Emissiebepaling geschiedt middels een berekening waarbij kentallen per type distributienet worden vermenigvuldigd met de totale lengte van dit type distributienet in Nederland. Deze kentallen zijn vastgesteld met behulp van metingen, waarbij ieder jaar op ca. 20% van het gasdistributienet metingen worden verricht.

¹¹ <https://www.nogepa.nl/download/convenant-milieujaarverslaggeving-olie-en-gasindustrie-03-10-2012/>

¹² <https://www.nogepa.nl/download/bepalingsprotocol-methaanemissies-e-mjv-02-08-18-2/>

¹³ Minister Kamp heeft in een kamerbrief de methaanemissies van alle operators over de jaren 2013-2015 publiek gemaakt.

¹⁴ NOGEPa is voornemens niet geaggregeerde methaanemissiegegevens zelf te gaan publiceren op haar website. Zie: <https://www.onsaardgas.nl/nederlandse-gassector-werkt-aan-verdere-reductie-van-methaan-uitstoot/>

¹⁵ Zie : <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/facility.aspx>

Olietransport

Methaanemissies uit olietransport in Nederland worden door het RIVM berekend door (zoals in veel andere landen) de totale getransporteerde hoeveelheid olie te vermenigvuldigen met een IPCC emissiefactor (5,4 kg methaan/m³ olie getransporteerd, zie Tabel 5-5 in de bijlagen).

Olieraffinage en opslag

De olieraffinaderijen rapporteren volgens het Activiteitenbesluit hun methaanemissies in het e-MJV. Deze zijn per locatie publiek beschikbaar op de website van de emissieregistratie.

Beoordeling en verificatie

De voorwaarde voor een adequaat emissiebepalings- en registratiesysteem ligt voor de meeste actoren vastgelegd in een milieuvergunning. Deze worden, evenals de gerapporteerde emissiecijfers getoetst, door het bevoegd gezag. Veel van de betrokken actoren hanteren *Leak Detection and Repair* (LDAR) programma's om lekkages op te sporen.

Aggregatie en rapportage

De emissiecijfers worden verzameld door de Nederlandse emissieregistratie. Vervolgens worden emissies per stof en per bedrijf gerapporteerd op de website van de emissieregistratie. Dit geldt alleen voor de bedrijven die rapportageplichtig zijn onder het Activiteitenbesluit. Ten behoeve van het NIR worden de emissies geaggregeerd tot de in de NIR gehanteerde categorieën en jaarlijks gerapporteerd. Hierbij worden in sommige gevallen emissies samengevoegd ondanks dat hier aparte categorieën voor bestaan en emissiecijfers voorhanden zijn. Voor Nederland gebeurt dit onder andere bij de methaanemissies uit venten en affakkelen, waarbij emissies uit de exploratie en productie van olie en gas niet afzonderlijk worden gerapporteerd, terwijl deze wel door operators apart worden opgegeven.

Tabel 2-5 Schematisch overzicht methaanemissierapportage olie- en gassector Nederland. Oranje en groene cellen komen overeen met confidentiële en publieke data respectievelijk.

Activiteit	Exploratie & productie (E&P)	Gastransport & opslag	Gasdistributie	Olietransport	Olieraffinage & opslag
Actoren	Olie- en gasproducenten/operators	Gasunie	Netbeheer Nederland	Oliedistributeurs	Olieraffinaderijen
Rapportageverplichting actor	↓ Convenant Rapportage emissies: boorinstallaties, stookinstallaties, venting, affakkelen, overig (inclusief diffuse emissies) ↓	↓ Grote compressorstations rapporteren volgens Activiteitenbesluit ↓	↓ geen ↓	↓ geen ↓	↓ Activiteitenbesluit ↓
Emissiebepaling	Emissiefactoren: industry standards en validatie & bepaling met metingen activiteitsdata: actoren ↓	Emissiefactoren: industry standards en validatie & bepaling met metingen activiteitsdata: actoren ↓	Emissiefactoren: industry standards en validatie & bepaling met metingen activiteitsdata: actoren ↓	Berekening emissies door Emissieregistratie met emissiefactor (IPCC TIER 1 default) en activiteitsdata (CBS) ↓	Emissiefactoren ondersteund met metingen en activiteitsdata ↓
Rapportagemedium	Elektronisch milieujaarverslag ↓	Elektronisch milieujaarverslag: - emissies compressorstations Gasunie rapporteert totale methaanemissies in jaarverslag ↓	Rapportage opgesteld door KIWA ↓		Elektronisch milieujaarverslag ↓
Beoordeling bevoegd gezag	Controle door bevoegd gezag ↓	Controle door bevoegd gezag ↓			Controle door bevoegd gezag ↓
Conversie van data	Controle en aggregatie door Emissieregistratie				
Rapportageverplichting NL	UNFCCC			Verdrag van Aarhus	
Landenrapportage	Rapportage geaggregeerde emissiecijfers broeikasgassen aan UNFCCC middels NIR/CRF			Voor bedrijven rapportageplichtig onder Activiteitenbesluit: publicatie geaggregeerde emissiecijfers op website Emissieregistratie per doelgroep/sector/stof/bedrijfstotaal	

2.2.1.3 Methaanemissies individuele operators

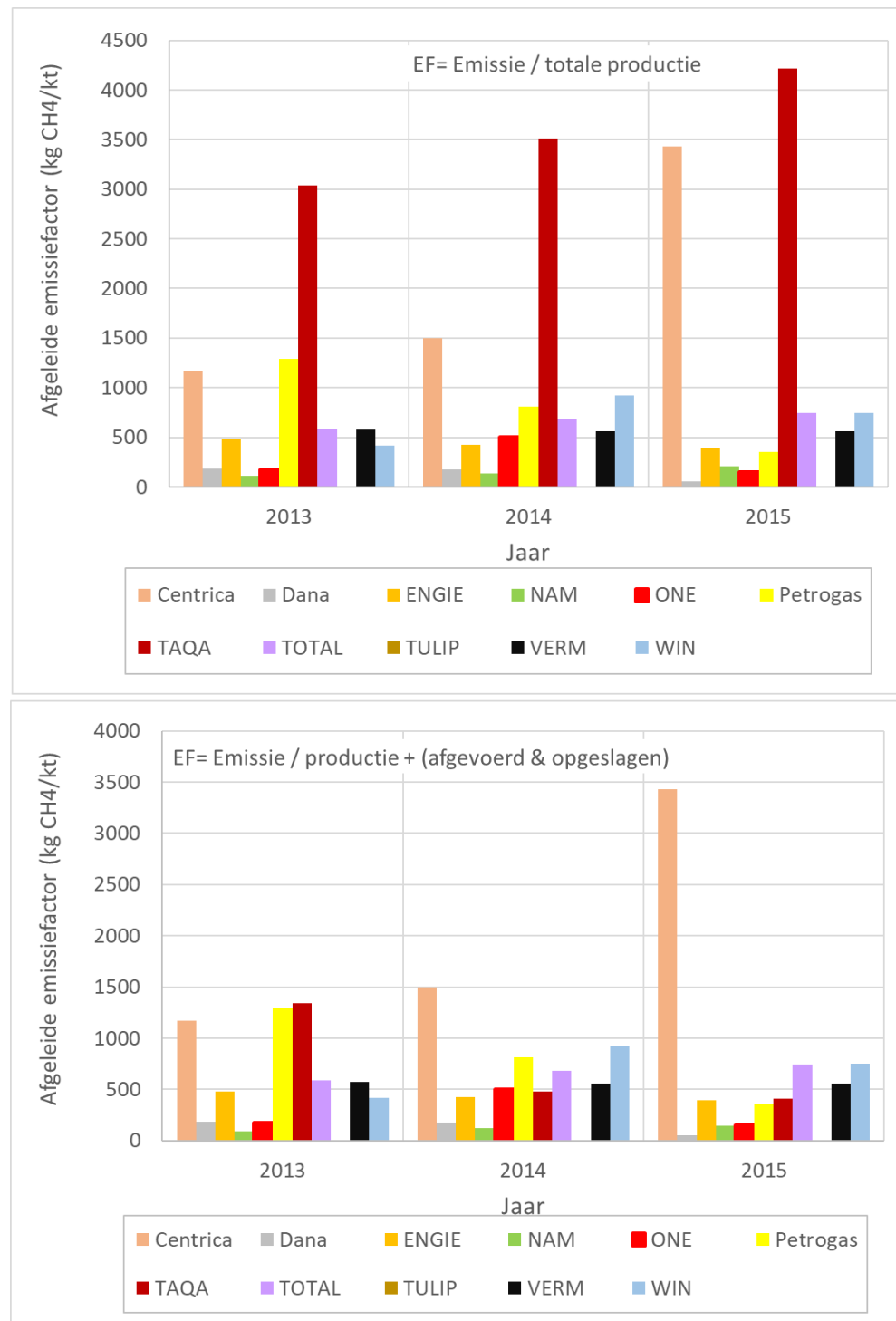
Naar aanleiding van een artikel in het Financieel Dagblad, waarin de Amerikaanse milieuorganisatie Environmental Defense Fund (EDF) stelde dat door Nederland gerapporteerde methaanemissies voor de olie- en gassector opvallend laag zijn (FD., 2016), heeft Minister Kamp in 2017 de methaanemissies per operator voor de periode 2013-2015 publiek gemaakt¹⁶ (zie cijfers in Tabel 5-4 in de bijlagen). Op basis van deze cijfers is de afgeleide emissiefactor gegeven per operator in Nederland. De waarden zijn berekend door de emissies per operator te delen door zijn respectievelijke productie van olie en gas¹⁷ (Figuur 2-2). Voor deze aanpak is gekozen omdat emissiecijfers niet apart voor de productie van olie of gas beschikbaar zijn. Gegevens over olie- en gasproductie per operator worden gepubliceerd via NLOG (NLOG, 2018a). Voor de periode 2010-2015 zijn deze gegeven in Tabel 5-2 in de bijlagen.

Figuur 2-2 (boven) laat grote verschillen zien tussen de methaanemissies per operator. Het meest opmerkelijke zijn de hoge emissiefactoren van TAQA en Centrica. Het verklaren van deze hoge emissiefactoren is niet mogelijk met publiek beschikbare data. Mogelijke oorzaken zijn dat TAQA weliswaar een relatief kleine en afnemende aardgasproductie en een stabiele aardolieproductie heeft, maar ook de operator is van de ondergrondse gasopslag in Bergermeer en Alkmaar. Als de gasstromen van deze twee gasopslagfaciliteiten (0,7/2,4/3,3 miljard Nm³ in 2013/2014/2015) meegenomen worden bij de berekening van de emissiefactor, leidt dat tot waarde die vergelijkbaar is met andere operators (Figuur 2-2, onder). Ook Centrica is een operator met een relatief lage aardgasproductie, maar het door Centrica geopereerde Markham platform is een belangrijk knooppunt voor gasdoorvoer. Deze gasstromen zijn nu niet zichtbaar in de berekening van de emissiefactor van Centrica. Uit deze voorbeelden blijkt dat het voor een adequate interpretatie van de emissiegegevens op onderdelen meer detail noodzakelijk is.

¹⁶ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32849-99.html>

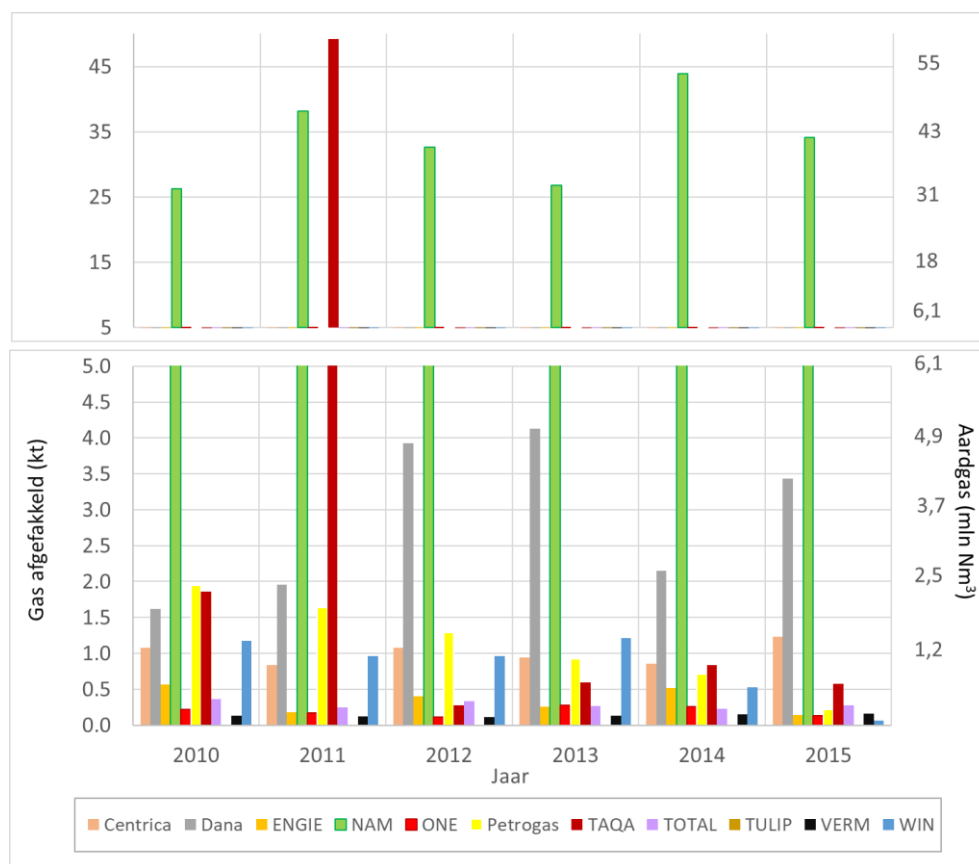
¹⁷ Bij het omrekenen van de geproduceerde aardgas volumes (Sm³) naar Mt is de conversiefactor 0,82 kg/Sm³ toegepast. Deze conversiefactor is ingeschat op basis van de gemiddelde gassamenstelling uit alle kleine velden in Nederland (bron: TNO-DINO database). Voor aardgas uit het Groningen veld is een andere conversie factor van 0,78 kg/Sm³ gebruikt. Voor olie is een conversiefactor van 910 kg/Sm³ gebruikt.

Figuur 2-2 (Bovenste grafiek) Emissiefactor afgeleid op basis van kg methaanemissie (zoals gerapporteerd in de referentie van de brief) per geproduceerde hoeveelheid olie of gas, per operator (op basis van NLOG referentie) (zie tabellen bijlage). (Onderste grafiek) Zelfde berekening, waarbij voor TAQA de gasstromen voor gasopslag zijn meegenomen. Dit leidt tot een verlaging van de hoge emissiefactor ten opzichte van de bovenste grafiek.



De publieke gegevens over de hoeveelheid afgefakkeld gas worden gepubliceerd via NLOG en zijn per operator weergegeven in Figuur 2-3 (zie ook bijlage Tabel 5-3). Ook hier zijn verschillen tussen operators te zien. Vooral NAM, maar ook DANA en in 2011 TAQA, fakkelen de grootste volumens van aardgas af. In 2011 werd de helft van het door NAM afgefakkelde volume bij vijf onshore faciliteiten afgefakkeld: Emmen GZI (25%), Ameland-Westgat-1W (14%), Ameland-Oost (9%), Tjuchem (8%) en Botlek (3%). Bij TAQA vond al het affakkelen van gas plaats bij de offshore condensaat/gas faciliteit P15-D. Bij DANA vond het affakkelen plaats bij P11b-De Ruyter (82%) en F02-A-Hanze (18%). Omdat er geen additionele informatie beschikbaar is, kan de aanleiding voor affakkelen niet verder worden onderzocht.

Figuur 2-3 Jaarlijks aardgas afgefakkeld per operator 2010 t/m 2015 in kt en miljoen Nm³ (Bron: www.nlog.nl).



2.2.2 Vergelijking methaanemissies exploratie en productie van olie en gas met omringende landen

2.2.2.1 De olie en gassector

Het gestandaardiseerde rapportageformat van de NIR maakt het in principe mogelijk om de emissiecijfers van de verschillende landen goed te vergelijken. Echter, er zijn belangrijke verschillen in de berekenwijze tussen de landen, waarbij niet alleen andere emissiefactoren, maar ook andere typen activiteitendata worden gebruikt die moeilijk met elkaar te vergelijken zijn. Hierdoor is het vaak lastig om te achterhalen waar verschillen in gerapporteerde emissies vandaan komen. De vergelijking wordt

verder bemoeilijkt, doordat in sommige gevallen de emissies niet per activiteit, maar in gecombineerde vorm worden gerapporteerd ('IE': Included Elsewhere).

In Tabel 2-6 staan de methaanemissies voor 2015 uit de olie- en gassector voor Nederland en de ons omringende gas- en olieproducerende landen (Duitsland, Denemarken, Verenigd Koninkrijk en Noorwegen). In deze tabel worden emissies uit exploratie en productie (E&P) groen gemerkt, terwijl emissies uit opslag, transport, distributie en raffinage geel gemerkt zijn.

Nederland rapporteert enkele methaanemissies uit E&P gezamenlijk ('IE'). Zo worden de methaanemissies uit verbranding tijdens E&P gerapporteerd onder de verbrandingsemissies in subsector **1. A. 1. c. ii Verbrandingsemissies in de industrie en olie- en gasextractie** van het Nationaal Inventory Report (Tabel 2-3). Deze bedragen ca. 1,1 kiloton methaan. Deze emissies zijn niet meegenomen in Tabel 2-6, welke alleen sector **1. B. 2 Diffuse emissies uit olie- en gasproductie** toont. Diffuse methaanemissies tijdens E&P worden allemaal gerapporteerd onder 'afblazen'. Voor de categorieën afblazen en affakkelen wordt geen onderscheid gemaakt tussen olie en gasproductie in de NIR. Ook andere landen rapporteren emissies niet altijd volledig uitgesplitst naar de beschikbare categorieën. Voor Noorwegen bijvoorbeeld staan de emissies uit E&P onder de categorie **1. B. 2. c. Afblazen**.

Ondanks de bovengenoemde kanttekeningen, zijn de NIR cijfers de belangrijkste informatiebron om de methaanemissies van de verschillende landen te kunnen vergelijken. De totale gerapporteerde methaanemissie uit de olie- en gassector van deze 5 landen bedraagt ca. 467 kt. Dit is ruim 8% van de methaanemissies uit alle sectoren in deze landen samen (5616 kt). Ook voor de EU-28 ligt het percentage methaanemissies afkomstig van de olie- en gassector op eenzelfde niveau: ca. 7%. Ruim 80% (379 kt) van de methaanemissies uit de olie- en gassector in deze 5 landen is afkomstig van de opslag, transport, distributie en raffinage van olie en gas en minder dan 20% van de emissies is gerelateerd aan exploratie en productie (ca. 90 kt). In de EU-28 is deze verdeling ongeveer 70% tegen 30%.

Wanneer alleen wordt gekeken naar de methaanemissies uit exploratie en productie is het Verenigd Koninkrijk met 50,3 kt/jaar de grootste emitter in de regio. Dit komt grotendeels door het afblazen (26,7 kt) en affakkelen (13,9 kt) van gas. Wat opvalt is dat emissies uit opslag, transport, distributie en raffinage in sommige landen het overgrote deel vertegenwoordigen (bijv. Duitsland), terwijl deze in andere landen beperkt bijdragen (bijv. Denemarken, Noorwegen en Nederland). Wat betreft affakkelen valt op dat methaanemissies uit affakkelen bij olieproductie in het Verenigd Koninkrijk en Duitsland veel hoger zijn dan uit affakkelen bij de exploratie en productie van aardgas (hoewel de absolute hoeveelheid beperkt is). Methaanemissie bij affakkelen is het gevolg van incomplete verbranding. Er wordt vaak uitgegaan van een efficiëntie van 99% van affakkelen.

Volgens de NIR cijfers is de totale methaanemissie niet proportioneel met de olie- of gasproductie. Kijken we naar de categorie **1. B. 2. b. Diffuse emissies uit aardgasproductie** (Tabel 2-6) dan is duidelijk dat Duitsland en het VK (veel) meer methaan emitteren dan Nederland en Noorwegen, hoewel die laatsten meer gas produceren. Ook als de categorie "affakkelen en afblazen" er bij betrokken wordt, verandert dit beeld niet. Op basis van publiek beschikbare getallen kan hieraan geen nadere duiding gegeven worden. Hoewel de rekenmethoden van landen worden

beschreven in de NIR, zijn de onderliggende cijfers niet altijd inzichtelijk. Niet duidelijk is in hoeverre eenmalige emissies uit incidenten worden meegenomen in de rapportage. Recente studies uit het buitenland wijzen erop dat deze verantwoordelijk kunnen zijn voor een groot deel van de methaanemissies (o.a. Zavala-Araiza et al., 2015; 2017).

Bij de vergelijking van de aan UNFCCC gerapporteerde totale emissies uit de olie- en gassector voor de 28 EU landen (1,357 Mt, Tabel 2-6 met de waarde van Sauniois et al. (2016) (3,4 Mt, Tabel 2-2), valt op dat de hoeveelheid gerapporteerd aan UNFCCC (veel) kleiner is. Daar zijn meerdere oorzaken voor:

- Niet alle landen in Europa behoren tot de EU-28; de emissie zal dus hoger zijn dan enkel de EU-28,
- In de mondiale studies, zoals Sauniois et al., heeft men één consistente emissie-inventarisatie nodig voor de hele wereld. De landen die aan UNFCCC rapporteren, beslaan slechts een deel van de wereld. Daarom kan deze informatie niet als zodanig gebruikt worden. Een consistente mondiale emissie-inventarisatie, zoals EDGAR (Janssens-Maenhout et al., 2017), gebruikt statistieken van bijvoorbeeld de International Energy Agency (IEA) en IPCC emissiefactoren. De zo berekende waarden kunnen (behoorlijk) hoger uitvallen dan bij gebruik van landen-specifieke emissiefactoren. Dat wil niet zeggen, dat de laatste voor dat specifieke land niet een betere benadering zijn.

In Tabel 2-7 zijn de methaanemissies uit de exploratie en productie van olie en gas (excl. opslag, transport, distributie en raffinage) vergeleken met de totale productie van olie en gas in de EU-28 plus Noorwegen en vijf individuele landen (Nederland (NLD), Denemarken (DNK), Duitsland (DEU), Verenigd Koninkrijk (UK) en Noorwegen (NOR) (BGR, 2018; ENS, 2018; NLOG, 2018b; OGA, 2018; Norsk Petroleum, 2018b)¹⁸. Hieruit is een emissiefactor berekend. Voor Nederland is specifieke data voorhanden om emissies onder te verdelen in onshore en offshore. Voor een aantal van de landen geldt, dat veruit het grootste deel van hun productie offshore (UK, NOR, DNK) of onshore (DEU) plaatsvindt.

De afgeleide emissiefactor (t/kt) voor offshore productie in Nederlands is een factor 5 hoger dan voor onshore productie (0,14 vs. 0,71 t/kt). De Nederlandse emissiefactor voor onshore productie is van vergelijkbare grootte als de emissiefactor van de productie in Duitsland (die voornamelijk onshore plaatsvindt). De Nederlandse emissiefactor voor offshore productie is één derde hoger dan de emissiefactor voor de (voornamelijk offshore) productie in het Verenigd Koninkrijk en zelfs ongeveer 3 maal hoger dan de emissiefactor voor de productie in Denemarken en Noorwegen, die geheel offshore plaatsvindt (Tabel 2-7). Vermoedelijk wordt dit verschil vooral veroorzaakt door de hoge emissie door offshore afblazen bij Nederlandse exploratie en productie van olie en gas. De methaanemissie in Nederland zou omlaag gebracht kunnen worden door het gas niet te af te blazen maar af te fakkelen, dit heeft echter mogelijk andere nadelige consequenties (zie 2.2.2.2 Affakkelen en afblazen).

¹⁸ Zie conversiefactoren in voetnoot 17.

Tabel 2-6 Methaanemissies uit olie- en gassector in 5 Europese landen in 2015 op basis van hun National Inventory Report (UNFCCC NIR), uitgesplitst naar activiteit. Brondata: (a) UBA, 2017, (b) DCE, 2017, (c) Brown et al., 2017, (d) Coenen et al., 2017, (e) NEA, 2017, (f) EEA, 2017. (DEU) Duitsland; (DNK) Denemarken; UK (Verenigd Koninkrijk); NLD (Nederland); (NOR) Noorwegen.

[illegible]

Tabel 2-7 Methaanemissie en afgeleide emissiefactor voor exploratie en productie van olie en gas¹⁹ (excl. opslag, transport & distributie en raffinage) voor Europa en individuele landen in het jaar 2015 Olie- en gasproductie EU-28 uit Eurostat, 2018. Emissiedata uit: UBA, 2017; DCE, 2017; Brown et al., 2017; Coenen et al., 2017; NEA, 2017; EEA, 2017. IEF = Implied Emission Factor = emissie/productie data.

		Methaanemissies (kt CH₄)	Olie- en gasproductie (Mt)	Implied Emission Factor (t/kt)^{b)}
Totaal	EU-28 + NOR	512	335,4	1,53
	NLD	12,4	40,8	0,30
	DNK	3,3	11,5	0,28
	DEU	2,0	9,1	0,22
	UK	50,3	86,9	0,58
	NOR	20,3	93,7	0,22
Onshore	EU-28 + NOR			
	NLD	2,9	27,5	0,14
	DNK	-	-	-
	DEU	-	9,0	0,22 ^{a)}
	UK	-	1,2	-
	NOR	-	-	-
Offshore	EU-28 + NOR			
	NLD	9,4	13,3	0,71
	DNK	-	11,5	0,28 ^{a)}
	DEU	-	0,05	-
	UK	-	85,7	0,58 ^{a)}
	NOR	-	93,7	0,22 ^{a)}

^{a)} vanuit de totale productie en de productie Onshore en Offshore valt af te leiden, dat de afgeleide emissiefactor nagenoeg volledig betrekking heeft op deze categorie. ^{b)} De "Implied Emission Factor" is voor olie en gas gezamenlijk berekend omdat bij sommige emissiebronnen geen onderscheid tussen olie en gas kan worden gemaakt.

In Figuur 2-4 staan de methaanemissies uit exploratie en productie van olie en gas voor de 5 Noordzeelanden van 1990 tot 2015 (UBA, 2017; DCE, 2017; Brown et al., 2017; Coenen et al., 2017; NEA, 2017). De gecombineerde olie- en gasproductie in megatonnen over dezelfde periode is weergegeven in Figuur 2-5¹⁹ (BGR, 2018; ENS, 2018; NLOG, 2018b; OGA, 2018; Norsk Petroleum, 2018b). Bijna alle landen laten een neerwaartse trend zien met afnemende emissies per eenheid productie. Alleen het Verenigd Koninkrijk vertoont een toename van de emissiefactor. De precieze oorzaak is niet bekend, maar deze ligt in het aardgas distributienetwerk en de afgefakkelde/afgeblazen hoeveelheid aardgas. Alles bij elkaar produceert het Verenigd Koninkrijk 40% van de 378,9 kt methaan uit de 5 landen in west Europa (Tabel 2-6).

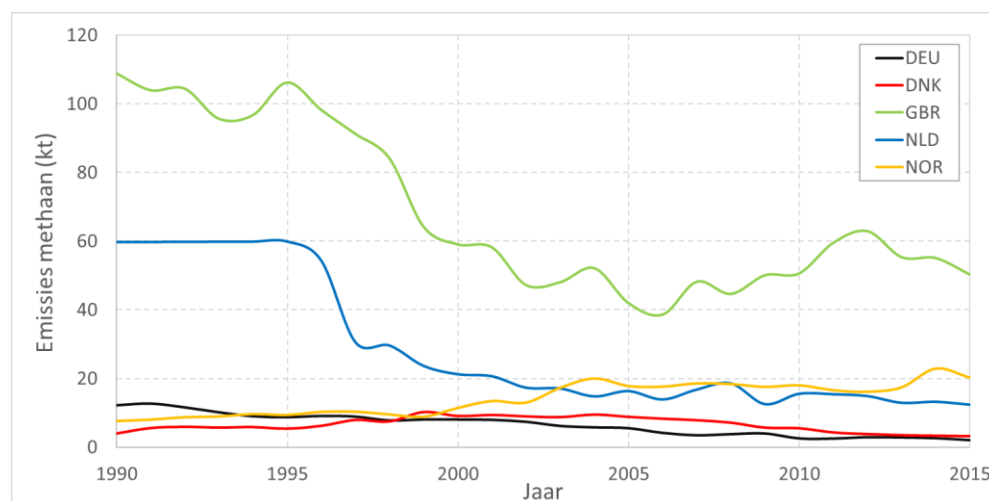
De methaanemissies in 2015 vanuit de Nederlandse olie- en gassector (25,8 kt) liggen op het niveau van Noorwegen (32,7 kt). De lage emissies in Nederland kunnen worden verklaard door enerzijds het grote volume gas uit het Groningen veld, dat door een relatief beperkt aantal moderne winningsinstallaties wordt geleid, en aan de andere kant door de maatregelen die de olie- en gassector nam om de methaanemissie te reduceren (EZ, 1994). In de periode tussen 1995 t/m 2004 nam de methaanemissie uit de olie- en gas exploratie en productie af van 59,8 kt tot 14,8

¹⁹ Zie conversiefactoren in voetnoot ¹⁷

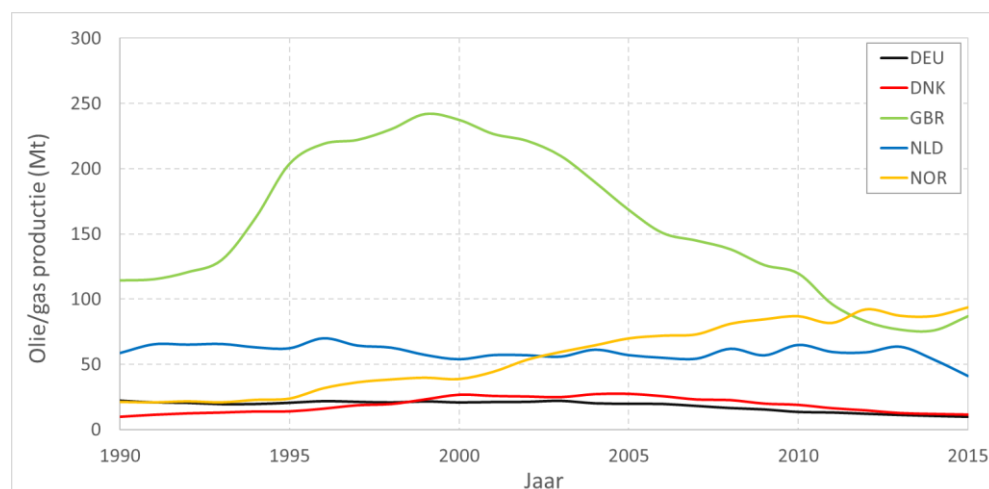
kt (Figuur 2-4). Dat is een reductie van circa 75%. Sindsdien zijn de methaanemissies rond die waarden gebleven. Echter, emissies als gevolg van afblazen van gas blijven relatief hoog (12,2 kt) en vormen 47% van de totale emissies in olie- en gassector. Samen met de 13,4 kt (51%) uit opslag, transport, distributie en raffinage zijn dit de belangrijkste bronnen. De methaanemissie gerelateerd aan de opslag/afvoer van aardgas in en uit de grote aardgasopslagen in Nederland (Norg, Bergemeer, Grijskerk en Alkmaar) worden samen met de “transmissie” emissies gerapporteerd (7,2 kt), welke 28% van de totale emissie van de olie- en gassector is. Zodoende zijn de emissies niet te relateren aan de afzonderlijke processen in de keten.

Het is van belang te beseffen dat methaanemissie uit de olie- en gassector in algemene zin van meer dan alleen de productie af hangt. In Nederland is sinds 2013 de productie van aardgas drastisch teruggebracht, tegelijkertijd is de emissie in dezelfde periode slechts beperkt gedaald.

Figuur 2-4 Methaanemissie uit exploratie en productie van olie- en gas over de periode 1990 – 2015 voor Duitsland (DEU), Denemarken (DNK), Verenigd Koninkrijk (GBR), Nederland (NLD) en Noorwegen (NOR).



Figuur 2-5 Olie- en gasproductie over de periode 1990-2015 voor de bovengenoemde 5 landen.



2.2.2.2 Affakkelen en afblazen

Er zijn verschillende situaties waarin het afblazen of affakkelen van gas plaatsvindt. Bij onderhoud kan een deel van een installatie worden afgeblazen, bijvoorbeeld om explosiegevaar te voorkomen. Daarnaast worden restgassen die niet terug in het systeem gebracht kunnen worden, afgeblazen of afgefakkeld. De keuze voor afblazen of affakkelen zal van meerdere factoren afhangen. Operators in Nederland passen offshore meestal afblazen toe. Dit komt voort uit een historische verzoek van SodM om testwerkzaamheden (waarbij affakkelen plaats vindt) tijdig te onderbreken wanneer dit uit het oogpunt van bescherming van vogels gewenst is. Dit heeft er toe geleid dat men op het Nederlandse deel van de Noordzee is overgaan op afblazen in plaats van affakkelen. Zover bekend is rondom dit verzoek en de precieze onderbouwing van de keuze (hoeveel vogelsterfte, hoeveel afblazen i.p.v. fakkelen) geen documentatie meer beschikbaar gebleken. In termen van broeikasgasemissies is het affakkelen van restgassen gunstiger omdat de hierbij vrijkomende CO₂ emissies²⁰ een minder sterke broeikaswerking hebben dan de methaanemissies die vrijkomen bij afblazen. Gezien het huidige besef van het belang van methaan als broeikasgas en broeikasgasemissiereductie zou het heroverwegen van deze praktijk (en documenteren van de argumenten en uiteindelijke keuze) op zijn plaats zijn, met inachtneming van andere belangen zoals de eerder genoemde mogelijke vogelsterfte. Overigens zijn er ook nog andere maatregelen mogelijk om broeikasgasemissies te reduceren naast het overstappen van afblazen naar affakkelen.

Om verschillende landen onderling te vergelijken in het toepassen van affakkelen en afblazen zou de hoeveelheid gas die wordt afgeblazen/afgefakkeld per eenheid productie moeten worden weergegeven. Daar de meeste landen hun hoeveelheid afgeblazen en afgefakkeld gas niet apart rapporteren, worden deze benaderd door de respectievelijk de methaan en CO₂ emissies in ogenschouw te nemen. De hoeveelheid CO₂ emissie, die per eenheid afgefakkeld gas vrijkomt, is constant, evenals de hoeveelheid methaanemissie per eenheid afgeblazen gas.

In Tabel 2-8 is de CO₂ emissie uit affakkelen als proxy voor de hoeveelheid afgefakkeld gas genomen. Hieruit blijkt dat affakkelen (veel) meer plaatsvindt bij de productie van olie dan van aardgas. In Nederland wordt affakkelen relatief beperkt toegepast in vergelijking met omliggende landen. Naast de eerder genoemde afspraak kan dit ook deels verklaard worden door het feit dat Nederland verhoudingsgewijs weinig olie produceert.

Uit Tabel 2-9 blijkt dat Nederland weliswaar de hoogste afgeleide emissiefactor heeft voor afblazen, maar dat de emissiefactoren in het VK en Noorwegen van eenzelfde orde grootte zijn. In deze landen wordt per eenheid productie dus niet significant minder gas afgeblazen. Voor Denemarken is de emissiefactor wel substantieel lager.

²⁰ Naast CO₂ komt er ook onverbrand methaan vrij als emissie uit de fakkeld. Operators rekenen typisch met een fakkeldrendement van 99%. Ca. 1% van het methaan komt dan onverbrand vrij.

Tabel 2-8 CO₂ emissies uit affakkelen vergeleken met olie- en gasproductie, 2015, in kiloton (UBA, 2017; DCE, 2017; Brown et al., 2017; Coenen et al., 2017; NEA, 2017). IEF = Implied Emission Factor = emissie/productie data. IE= Included elsewhere.

		DEU	DNK	GBR	NLD	NOR
CO₂ emissie affakkelen (kt)	Olieproductie	362	13	3.371	IE	16
	Gasproductie	19	1	267	IE	1.381
	Gecombineerd	IE	233	IE	54	IE
	Totaal	381	246	3.638	54	1.397
Productie (Mt)	Olieproductie	2,4	7,8	49,0	1,5	0,1
	Gasproductie	6,7	3,3	33,1	35,2	81,8
	Totaal	9,0	11,1	82,2	36,7	81,9
Implied Emission Factor (kt CO₂/Mt)	Olieproductie	154,0	-	68,8	-	244,4
	Gasproductie	2,8	-	8,1	-	16,9
	Totaal	42,1	22,2	44,3	1,5	17,1

Tabel 2-9 CH₄ emissies uit afblazen vergeleken met olie- en gasproductie, 2015, in kiloton (UBA, 2017; DCE, 2017; Brown et al., 2017; Coenen et al., 2017; NEA, 2017). Implied Emission Factor = emissie/productie data. IE= Included elsewhere. NO = "Not Occuring".

		DEU	DNK	GBR	NLD	NOR
methaanemissie afblazen (kt)	Olieproductie	IE	NO	10,4	IE	IE
	Gasproductie	IE	0,03	16,2	IE	IE
	Gecombineerd	IE	NO	IE	12,2	18,8
	Totaal	IE	0,03	26,7	12,2	18,8
Productie (Mt)	Olieproductie	2,4	7,8	49,0	1,5	0,1
	Gasproductie	6,7	3,3	33,1	35,2	81,8
	Totaal	9,0	11,1	82,2	36,7	81,9
Implied Emission Factor (kt CH₄/Mt)	Olieproductie			0,213		
	Gasproductie		0,010	0,490		
	Totaal			0,325	0,333	0,230

2.2.2.3 Gastransport en distributie

De bijdrage van transport en distributie van olie/gas in de totale methaanemissie verschilt per land (Tabel 2-6). Om de emissies beter met elkaar te kunnen vergelijken zijn in Tabel 2-10 de methaanemissies uit gastransport en distributie weergegeven in combinatie met de lengte van de betreffende transport- en distributienetwerken. Met behulp van deze waarden is een afgeleide emissiefactor per kilometer netwerk berekend. De afgeleide emissiefactor helpt om data van landen data onderling te vergelijken maar geeft geen verklaring voor de gevonden verschillen. Hier is nader onderzoek voor nodig en/of toegang tot onderliggende data.

Beschouwen we Tabel 2-10, dan valt op dat de gerapporteerde emissiefactor voor emissies uit het gastransportnetwerk in Duitsland (erg) hoog is. Voorts is de gerapporteerde emissiefactor voor het gasdistributienetwerk van Nederland relatief laag. Voor het VK is deze factor ca. 10 keer hoger, voor Duitsland is deze bijna 4 maal hoger.

In Nederland wordt de opsporing van lekkages en reparaties van transportleiding volgens het “Leak Detection And Repair” (LDAR) programma van Gasunie uitgevoerd, zoals beschreven in het jaarverslag 2017 (Gasunie, 2017). Elke leiding van de distributienetwerk wordt, conform de lekzoekprocedure van Netbeheer Nederland (2017), elke vijf jaar gecontroleerd. Wellicht is het onderhoud en de kwaliteit van het Nederlands netwerk beduidend beter dan in andere landen, maar ook dit verdient nader onderzoek en onafhankelijke meting door bijvoorbeeld SodM.

Tabel 2-10 Emissies gastransport en distributie (UBA, 2017; DCE, 2017; Brown et al., 2017; Coenen et al., 2017; NEA, 2017; verschillende onderliggende data en bronnen, zie noten).

Bron	Land	Lengte (km)	CH ₄ emissies (kt)	IEF ^{a)} (ton CH ₄ /km)
Gas transport netwerk	DEU	35.595 ^b	76,10	2,14
	DNK	900 ^c	0,03	0,04
	NLD	11.500^d	7,21	0,63
	UK	7.600 ^f	2,32	0,31
	NOR	-	IE	-
Gas distributie netwerk	DEU	505.000 ^b	88,77	0,18
	DNK	17.000 ^c	0,15	0,01
	NLD	124.917^e	5,73	0,05
	UK	280.000 ^f	148,93	0,53
	NOR	9.350 ^g	0,74	0,08

Bron data: (a) Afgeleide emissiefactor (emissies gedeeld door lengte netwerk), (b) UBA, 2017; (c) Energinet, 2017; (d) SodM, 2018. Betreft alleen het door Gasunie beheerde deel van het transport netwerk; (e) Coenen et al., 2017; (f) Dodds & McDowall, 2012; (g) Norsk Petroleum, 2018a; IEA, 2014.

2.3 Conclusie

Nederland rapporteert ongeveer 26 kiloton aan methaanemissies uit de olie- en gassector over 2015. Deze 26 kton is afkomstig van de E&P sector (12,4 kton), gastransport (7,2 kton), gasdistributie (5,7 kton) en overig (0,5 kton). Dit is 3% van de totale jaarlijks Nederlandse methaanemissies, die 760 kiloton bedragen. De methaanemissies uit landbouw vormen ca. 70% van het Nederlandse totaal. De broeikasgasemissies (CO₂ en CH₄) uit de olie- en gassector representeren circa 1% van de totale Nederlandse broeikasgasemissies.

De grootste bron voor methaanemissies binnen de Nederlandse olie- en gassector is het onshore en offshore afblazen van gas (12,2 kt/jaar). Wanneer de bijdrage van de olie- en gassector wordt uitgedrukt als fractie van de totale antropogene methaanemissies per regio, is de verhouding als volgt:

- Mondiaal ~22% (Saunois et al., 2016);
- Europa ~10% (Saunois et al., 2016);
- EU-28 ~7% (EEA, 2017);
- Nederland ~3% (Coenen et al., 2017) (1% van de broeikasgasemissies).

Naast verregaande emissiereductiemaatregelen in Nederland sinds de jaren '90 kan het lage percentage mede verklaard worden door de dominantie van andere emissiebronnen, zoals de melkveehouderij.

Voor Nederland en de ons omringende olie- en gasproducerende landen (Duitsland, Denemarken, Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk) liggen de gemiddelde methaanemissies uit exploratie & productie in de olie- en gassector op ca. 90 kiloton/jaar. Ondanks de relatief hoge gasproductie, heeft Nederland hierin een (zeer) bescheiden aandeel van 14% (12,4 kt).

Om de gerapporteerde emissies van de verschillende landen te kunnen vergelijken zijn afgeleide emissiefactoren berekend door de emissies te delen door de productie. De afgeleide emissiefactoren voor de E&P in de olie- en gassector zijn voor Nederland en omringende landen van een zelfde orde van grootte. Met uitzondering van die van het Verenigd Koninkrijk, die aanzienlijk hoger is. Nederland komt in 2015 op een methaanemissiefactor van 0,30 ton per geproduceerde kiloton olie en gas. De emissiefactor voor onshore productie is 0,14 t/kt, terwijl deze voor offshore productie 0,71 t/kt bedraagt. Van de omringende landen is de emissiefactor het laagste in Duitsland (onshore) met 0,22 t/kt en in Noorwegen (offshore) met 0,22 t/kt, en het hoogste bij het Verenigd Koninkrijk met 0,58 t/kt (offshore).

Belangrijk verschil met omringende landen is dat in Nederland offshore nauwelijks wordt afgefakkeld. Het is opmerkelijk dat, per eenheid productie, de methaanemissies uit afblazen desondanks vergelijkbaar zijn met die in het VK en Noorwegen.

Tussen de ons omringende landen bestaan duidelijke verschillen in hoe de methaanemissies over verschillende bronnen verdeeld zijn. De verschillen tussen landen kunnen op basis van de huidige beschikbare gegevens niet in alle gevallen verklaard worden. Vergelijking van emissierapportages van de verschillende landen wordt bemoeilijkt door:

- verschillende rekenmethodieken voor de emissies.
- een beperkt inzicht in de onderliggende cijfers.
- onduidelijkheid of incidentele methaanemissies worden meegenomen in de reguliere rapportages.

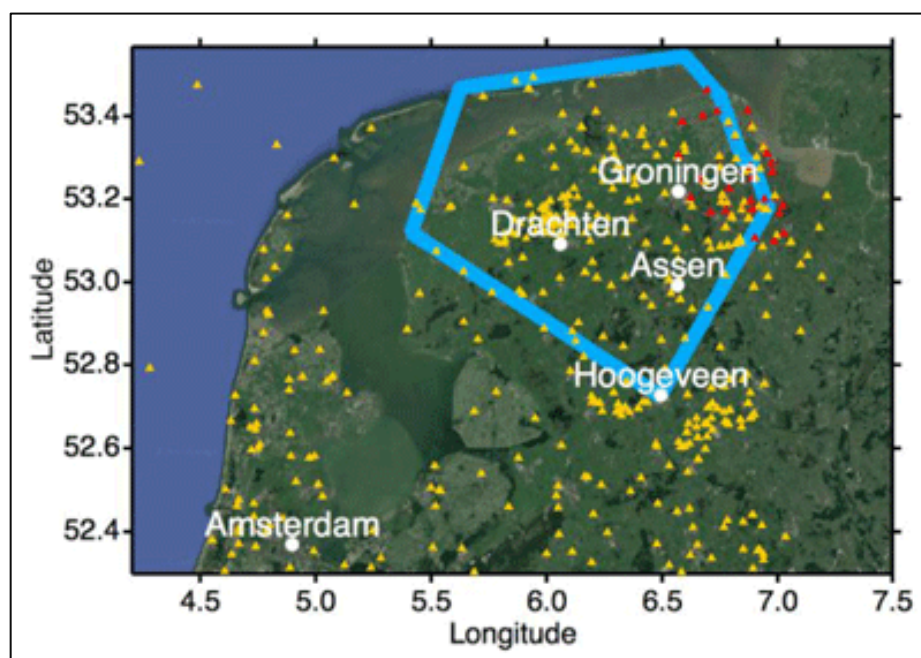
Het is relevant hierbij op te merken dat in Nederland de verantwoordelijkheid voor de emissierapportage bij de bedrijven ligt. De bepaling van de emissies naar de lucht is in detail beschreven in het Activiteitenbesluit in het geval van verbrandingsemissies. De rapportage van (methaan)emissies door operators in de exploratie en productiesector is geregeld via een convenant en staat beschreven in een rapportageprotocol. Controle van de emissiecijfers vindt plaats door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

2.4 Methaan emissieverificatie met meerdere meetmethoden. Het Groningen gasveld

Internationaal, met name in de VS, is in recente jaren veel onderzoek gedaan naar methaanemissies uit de exploratie en productie van olie en gas waarbij meerdere meetmethoden complementair aan elkaar worden ingezet. In grote lijn betreft het hier “bottom-up” methoden waarbij aan individuele installaties, kleppen, compressorstations e.d. gemeten wordt en “top-down” methoden waarbij boven en benedenwinds van een groter gebied zoals een heel gasveld gemeten wordt. De emissie schattingen met beiden methoden moeten vervolgens met elkaar in overeenstemming gebracht worden of op zijn minst een consistent beeld geven. Een overzicht van de resultaten van meer dan 30 studies in de VS is in juni 2018 gepubliceerd (Alvarez et al., 2018). Hieruit komt naar voren dat de methaanemissies uit de gasproductie en -toevoer keten equivalent zijn met 2,3% van de gas productie. In Nederland is dit volgens recente schattingen gebaseerd op de emissierapportages een factor 20 lager (Larsen et al., 2015; NOGEPa, 2018). Mede om dit verschil te kunnen verklaren is recentelijk een meetcampagne uitgevoerd in opdracht van Environmental Defense Fund (EDF). Doel was om op een vergelijkbare manier als in de Amerikaanse studies te meten over het Groningen gasveld. Hiertoe is in augustus 2016 gevlogen over een belangrijk deel van de gasvelden in Groningen en Friesland (Figuur 2-6) en is bij ongeveer 2/3 van de installaties aan de grond gemeten (Yacovitch et al., 2018). Voor een gedetailleerde beschrijving verwijzen we naar Yacovitch et al. 2018 en de daarin beschikbare aanvullende informatie (Supplementary Information). De belangrijkste resultaten staan samengevat in Tabel 2-11 en laten zien dat in de periode van de metingen de biogene bronnen (vooral melkveehouderij en stortplaatsen) lager waren dan verwacht maar de olie- en gassector emissies hoger dan verwacht op basis van de emissieregistratiegegevens. Het gevolg is dat de relatieve bijdrage van de olie- gassector aan de methaanemissie in het gebied met 20% aanzienlijk hoger was dan de verwachte 1,9%, maar omgeven door grote onzekerheid (-20% / +31%) als gevolg van beperkte meting van de tracer ethaan tijdens de vluchten (Zie Tabel 2-11). De verwachte 1,9% ligt dus binnen de onzekerheidsmarge, maar ver van de meest waarschijnlijke waarde. De EDF studie door Yacovitch et al. (2018) is de eerste grootschalige bottom-up – top-down methaan studie in Nederland sinds lange tijd en biedt waardevolle inzichten. Tegelijk zijn er een aantal belangrijke kanttekeningen te plaatsen. Ten eerste wordt er door Nederland en de sectoren op jaarbasis gerapporteerd. De EDF studie levert een “snapshot” voor een week in augustus die mogelijk niet representatief is voor het hele jaar. Een andere moeilijkheid is het feit dat er geen ruimtelijke toedeling van de emissies van de olie- en gasproductie beschikbaar is. De ruimtelijke verdeling van de emissiecijfers is daarom in de studie van Yacovitch et al. door TNO gedaan op basis van productiecijfers voor augustus 2016. Het is goed mogelijk dat in werkelijkheid de emissies anders verdeeld zijn bijvoorbeeld omdat er onderhoud gepleegd werd. Hoewel dit bij de NAM bekend zal zijn, is dat niet publiek beschikbaar

en is productie de meest voor de hand liggende proxy. Een meerwaarde van de studie is dat deze gedeeltelijk uitgevoerd is door dezelfde teams die in de VS hebben gemeten waardoor vergelijkbaarheid groter is en bevestigd wordt dat de emissies vanuit de Nederlandse onshore productieclusters laag zijn vergeleken bij Amerikaanse olie- en gasvelden (zie Tabel S13 in Yacovitch et al., 2018). De studie toont ook aan dat de combinatie van “bottom-up” en “top-down” methoden tot nieuwe inzichten kan leiden en het gebruik van ethaan (of andere tracers) beslissend is om onderscheid tussen fossiele en biogene oorsprong te maken. Dit is cruciaal voor brontoekenning. De onzekerheden in de studie zijn groot en de algemene conclusie is dat meer campagnes, met meer metingen van ethaan/ methaan ratio's nodig zijn om de onzekerheden te reduceren.

Figuur 2-6 De studie regio voor de Groningen gasveld studie is omcirkeld door de blauwe polygoon; Aardgas productielocaties (productieclusters, compressor stations, productielocaties) worden getoond als oranje driehoeken Productieclusters van het Groningen gasveld in rood. (Bron; Yacovitch et al, 2018)



Tabel 2-11 Methaan emissies en fossiel / biogeen ratio's voor de Groningen studie regio (bron Yacovitch et al., 2018)

CH ₄ Emissie (Mg uur ⁻¹)					Fossiele CH ₄ Emissies Attributie (deel van het totaal, %)	
Inventarisatie, per sector				Gemeten	Inventarisatie	Gemeten ^c
Agri	Olie & Gas	overig ^a	totaal	totaal		
10.9	0.26	2.9	14	8±2	1.9	20 ⁺³¹ ₋₂₀

a) Gedomineerd door stortplaatsen en afvalwaterzuiveringsinstallaties

b) Olie & gas sector vs. inventarisatie totaal

c) Experimentele attributie op basis van ethaan/methaan ratio's.

2.5 Aanbevelingen

Om meer inzicht te krijgen op de daadwerkelijke methaanemissies zijn er verbeteringen mogelijk zowel aan de kant van de bottom-up methodieken, als aan de kant van de top-down benaderingen. Juist het gebruik van beide methoden leidt uiteindelijk tot het sterk terugdringen van onzekerheden.

Er is in Nederland veel ervaring met het berekenen en rapporteren van emissies. De rapportages verlopen volgens een vastgelegd protocol. Toch concluderen we hier dat de transparantie van de emissiebepaling voor de olie- en gassector te beperkt is. Het is niet mogelijk de emissiegegevens op basis van publiek beschikbare gegevens te reproduceren, ook niet bij benadering. Voor de belangrijkste bron in Nederland (veehouderij) is dit bijvoorbeeld wel mogelijk door publiek beschikbare dieraantallen van het CBS en emissiefactoren van bijvoorbeeld het IPCC te combineren. Wanneer een dergelijke berekening met een zogenaamde Tier 1 methode voor de exploratie en productie van olie- en gas gedaan wordt, komt men veel hoger uit dan nu door Nederland gerapporteerd wordt. Dit is gerechtvaardigd door het gebruik van land-specifieke emissiefactoren die de Nederlandse situatie beter beschrijven. Echter dat de gerapporteerde emissiecijfers niet reproduceerbaar zijn met publieke gegevens is een zwak punt. Bij de bottom-up methodieken zijn op de volgende vlakken verbeteringen mogelijk:

- meer inzicht in de onderliggende emissiebepaling- en rapportageprocedures voor de verschillende methaanemissiebronnen in de olie- en gassector;
- Emissiebronnen zoveel mogelijk van elkaar onderscheiden in de (internationale) rapportages; In het geval van Nederland kan bijvoorbeeld gekeken worden of de emissies uit affakkelen en afblazen *bij de olieproductie* en de emissies uit affakkelen en afblazen *bij de gasproductie* niet geaggregeerd, maar apart vermeld kunnen worden in het NIR;
- het jaarlijks publiceren van gedetailleerde methaanemissiecijfers, bij voorkeur per operator/actor en per bron/installatie, bijvoorbeeld op het publieke Emissieregistratie portaal, ten einde de transparantie te bevorderen; Gezien het mogelijke belang van onvoorziene voorvallen en incidenten moet er naar gestreefd worden de methaanemissies die hier uit voortkomen zoveel mogelijk mee te nemen in de inventarisaties. Hierbij zou een aparte post benoemd kunnen worden zodat ook inzichtelijk wordt dat deze gebeurtenissen worden meegenomen en wat deze bijdragen aan totale emissies.

De kern van de aanbeveling is hier vooral de toegankelijkheid van Nederlandse emissiedata uit de olie- en gassector. Dat betreft zowel onderliggende data, meetprotocollen, de resultaten per installatie, als data-QC procedures. Deze verbeteringen maken het makkelijker om verschillen in door landen gerapporteerde emissies te verklaren en afwijkingen ten opzichte van standaardemissiefactoren te verantwoorden. Dit vraagt ons inziens niet om een verzwaring van de rapportage-inspanningen en lasten bij de sector, wel om publiek te maken wat nu nog niet publiek is.

Het gebruik van de land-specifieke emissiefactoren leidt tot een betrouwbaardere emissieschatting maar het is momenteel een tekortkoming dat een controle nagenoeg onmogelijk is. Om in deze omissie te voorzien, de inventarisaties te verifiëren, incidenten op te sporen en de top-down schattingen te verbeteren, zijn meer en gerichte methaanmeetgegevens nodig. De eerder genoemde “top-down”

metingen zijn in Amerika reeds veelvuldig uitgevoerd en leveren veel informatie omtrent de totale emissie vanuit een gebied (o.a. Allen, 2014; Karion et al., 2013; Alvarez et al., 2018) en hebben geleid tot aanzienlijke bijstelling van de US EPA emissie inventarisatie. Hierdoor is dus aanzienlijk meer zekerheid omtrent volledigheid van de emissie-inventarisaties verkregen. Een dergelijke studie voor Nederland is recent gepubliceerd door Yacovitch et al. (2018) maar door de beperkte omvang nog omgeven door grote onzekerheidsmarges.

2.6 Actuele ontwikkelingen

De belangstelling voor het broeikasgas methaan en de emissies vanuit de olie- en gassector is sinds het Parijs akkoord sterk toegenomen. Dit betekent dat er ook tijdens het schrijven van dit rapport ontwikkelingen gaande zijn die relevant (zullen) zijn maar waarvan de uitkomsten nu nog niet beschikbaar zijn. We willen deze hier kort benoemen.

Er wordt gewerkt aan een brede herziening van de offshore mijnbouwmilieu-vergunningen in het kader van Artikel 38 van de mijnbouwwet. Deze geactualiseerde vergunningen zullen ook voorschriften bevatten ten aanzien van de methaanemissie. Uitgangspunt daarbij is de implementatie van Best Beschikbare Technieken (BBT). Hierbij ligt de nadruk op gekanaliseerd beoogd afvoeren ('venting') en in mindere mate op diffuse emissie.

Tijdens het vergunningsproces voor offshore NOx-emissies werd aan de productiebedrijven (ook wel operators genoemd) gevraagd om in 2018 het initiatief te nemen bij het definiëren van methaanreducerende maatregelen en deze in het eerste kwartaal van 2019 aan de autoriteiten te overleggen op basis van een gestandaardiseerde aanpak en tijdlijn.

In het eerste kwartaal van 2018 heeft NOGEPA een nieuw registratie- en rapportageprotocol opgezet en aan Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) overlegd. Hierbij is aandacht besteed aan het publiekelijk toegankelijk maken van de gegevens. Volgens NOGEPA zullen in de nabije toekomst de emissies van de sector in meer detail toegankelijk zijn²¹. Zover is het echter nog niet. In dezelfde context is een 'fact sheet' over methaanemissie door de gasketen in Nederland op de websites van NOGEPA en KVGn gepubliceerd²².

Concreet in relatie tot de in dit rapport opgemerkte onzekerheid omtrent emissies op de Noordzee heeft NOGEPA op verzoek van SodM in de zomer van 2018 een offshore meetcampagne opgezet en door TNO-ECN laten uitvoeren. Resultaten hiervan worden eind 2018 verwacht.

De Climate and Clean Air Coalition (CCAC), Environmental Defense Fund (EDF) en het Oil and Gas Climate Initiative (OGCI) werken momenteel samen met het doel meer wetenschappelijke studies te publiceren over metingen van methaanemissies door de olie- en gassector. In dit kader is recentelijk met name over het Engelse deel van de Noordzee gevlogen. Resultaten van deze studie worden in 2019 verwacht en zijn wellicht ook relevant voor het Nederlandse deel van de Noordzee.

²¹ Zie ook voetnoot 14

²² <https://kvgn.nl/wp-content/uploads/2018/06/methaanemissie-factsheet-201806.pdf>

Zoals in dit rapport gedocumenteerd is gebleken dat er bij geabandonneerde olie- en gasputten een risico bestaat op lekkage. SodM heeft TNO recent opdracht gegeven om een leidraad te ontwikkelen die een handvat biedt (stappenplan) bij het vaststellen van een eventuele lekkage van aardgas (methaan) bij geabandonneerde olie- en gasputten op het Nederlandse vasteland. Deze leidraad dient voor het einde van 2018 gereed te zijn.

3 Methaanlekkages uit de olie- en gasputten in Nederland

Dit hoofdstuk geeft een beeld van de integriteitsproblematiek van diepe putten en hun mogelijke rol bij methaanemissie. Als eerste worden de primaire concepten over barrière/put integriteit beschreven aan de hand van resultaten van internationale studies over olie- en gasputten. Daarna wordt een overzicht gegeven van de kenmerken (aantal, type, diepte en status) van de putten binnen het Nederlands territorium en continentaal plat. Op basis van verschillende studies wordt vervolgens ingegaan op welke situaties aanleiding kunnen geven tot methaanemissies. Hierbij worden zowel natuurlijke als antropogene emissies behandeld.

3.1 Introductie putintegriteit

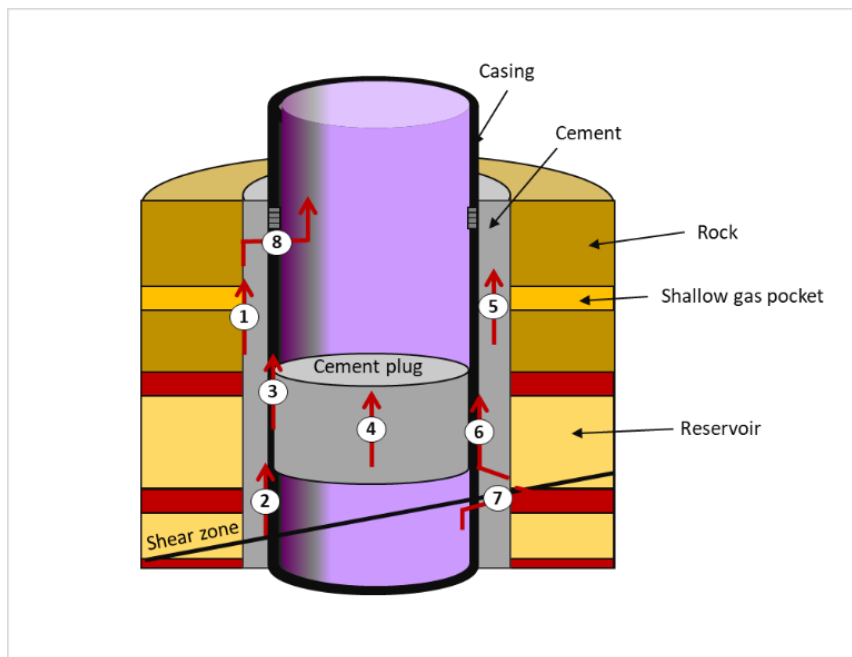
Een effectieve afdichting van de put voorkomt, naast het beschermen van grond- en oppervlaktewater, dat methaan en andere gassen uit diepe reservoirs in de atmosfeer kunnen komen. Lekkages in diepe putten kunnen verschillende oorzaken hebben wanneer de beschermende barrières worden doorbroken. Figuur 3-1 laat in een dwarsdoorsnede van een put de verschillende routes zien, waarlangs tijdens de productie en/of na het buiten gebruik stellen van de put lekkages kunnen plaats vinden.

Putbarrières omvatten elementen zoals verbuizing, productiebuys, kleppen, cement (tussen de verbuizingen en de rotsformatie) en de rotsformatie zelf. Barrières worden geclassificeerd als dynamisch (bijv. kleppen, blow-out preventer of zware boorspoeling) of statisch (bijv. cement, verbuizingen) en zijn niet altijd gemakkelijk toegankelijk voor inspectie of monitoring. De uitvoering van de barrières kan per put verschillen afhankelijk van het doel van de put (exploratie en/of productie), de diepte van de aardgas/olie reservoir(s) en de geologie van de rotsformatie. Mechanische en/of cementpluggen worden in de put geplaatst wanneer de put tijdelijk of permanent buiten gebruik gesteld wordt.

De term "well barrier failure" (falen putbarrière) verwijst naar het falen van één of meer putbarrières waarbij geen detecteerbaar lek in de ondergrond en/of aan het oppervlakte optreedt. "Well integrity failure" (falen putintegriteit) verwijst naar het falen van één of meerdere barrières, waarbij wel een meetbare lekkage buiten de put optreedt. Lekkages kunnen in de put worden gedetecteerd door drukveranderingen in de annulus of via metingen van gasconcentraties aan het maaiveld. Slechte cementbarrières kunnen op een aantal manieren worden geïdentificeerd door onder andere ultrasone frequentiedetectie. Om onderscheid te kunnen maken tussen thermogeen en biogeen methaan, wordt apparatuur gebruikt die de detectie van ethaangas mogelijk maakt en/of wordt gekeken naar de isotoopsamenstelling van het methaan. Ethaan is een indicator van de thermogene oorsprong van methaan²³. Het volume gas dat door de lekkage de oppervlakte bereikt is afhankelijk van de grootte van de methaanflux en de oxidatiesnelheid die onderweg door o.a. bacteriële sulfaatreductie plaats kan vinden. Dat laatste is afhankelijk van het gesteentetype, ecosysteem in de ondiepe ondergrond en het oppervlakteklimaat.

²³ Thermogeen gas bestaat uit methaan en alkanen met meer koolstofatomen, terwijl biogeen gas voornamelijk uit methaan bestaat.

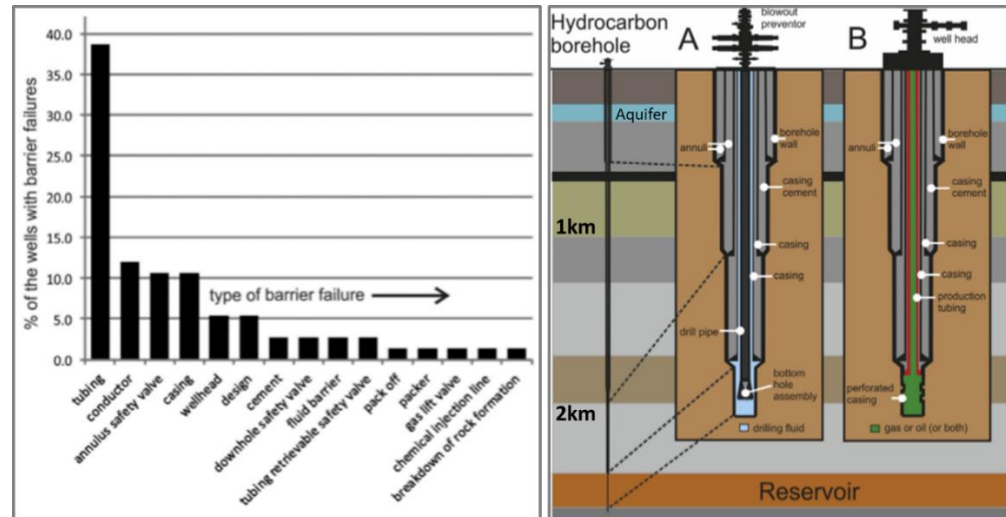
Figuur 3-1 Routes voor vloeistoflekage in een gecementeerde put (aangepast naar Davies et al., 2014). (1) tussen cement en omringende rotsformaties, (2) tussen verbuizing (casing) en omringend cement, (3) tussen cementplug en verbuizing of productiebuis, (4) door cementplug, (5) door het cement tussen de verbuizing en rotsformatie, (6) door de cement buiten de verbuizing en vervolgens tussen dit cement en de verbuizing, (7) langs een “sheared” boorput, (8) door de verbuizing joint of corrosie behuizing.



Ondanks de verschillen in wetgeving en “best practices” in de olie-/gassector over de hele wereld, heeft een aantal onderzoekers op basis van grote portfolio’s van olie/gas putten uit verschillende landen de meeste voorkomende oorzaken van barrière/integriteit falen bestudeerd (bijv. King & King, 2013; Davies et al., 2014). Deze studies richten zich op een breed spectrum aan boorlocaties: a) productie, injectie, en exploratie; b) terrein en continentaal plat; c) conventioneel (winning uit relatief goed doorlatende reservoirs) en onconventioneel (bijv. schaliegaswinning). Samen met de boorlocatie, type putten/barrières, put onderhoud/ouderdom en wetgeving spelen zij een rol in de faalkans.

De studie van Davies et al. (2014) betreft 25 putdatabases uit verschillende landen. Onder andere van het Nederlandse terrein met 31 putten (Vignes, 2011). Davies et al. concluderen dat voor alle bestudeerde databases het percentage putten met defecten aan putbarrières en/of gebrek aan putintegriteit zeer variabel is: 1,9 tot 75%. Het meest voorkomend is het falen van de productiebuis (tubing) als barrière (~37%) gevolgd door de conductor (de verbuizing van de eerste tientallen meters onder het maaiveld), annulus veiligheidsklep, en diepere verbuizing (casing) elk met een ~10% faalkans (Figuur 3-2). Volgens de auteurs is het falen van de barrière- of de integriteit van diepe putten redelijk goed gedocumenteerd voor conventionele diepe olie/gasputten in de operationele fase, maar het is duidelijk dat er weinig gegevens te vinden zijn in het publieke domein. Daardoor kan het aantal putten met barrière/integriteit falen worden onderschat vooral door een gebrek aan monitoring van buiten gebruik gestelde putten. Een betere beperking van de risico's en effecten zou te bereiken zijn wanneer systematische lange termijn monitoringsgegevens - voor zowel actieve als buiten gebruik gestelde putten - in het publieke domein beschikbaar zouden zijn.

Figuur 3-2 (Links) Oorzaken van barrière falen voor 75 (van 406) productie- en injectieputten op het Noorse continentaal plat (Vignes, 2011). (Rechts) Schematisch diagram van een typische putontwerp: (A): structuur van een exploratieboring; (B): een productieput. Dieptes waarop verschillende verbuizingen worden gebruikt, variëren afhankelijk van het geologie- en drukregime op de boorlocatie. De putdiameter is overdreven om secties duidelijker weer te geven (de diameter varieert van 12 tot 7 inches op diepte) (van Davies et al., 2014).



King & King (2013) komen met vergelijkbare percentages als Davies et al. (2014) voor putten met problemen met betrekking tot putbarrières en putintegriteit, maar ze stellen daarbij dat de werkelijke lekkagefrequentie van putten die nu in productie zijn, 0,005 tot 0,03% bedraagt. Het meest voorkomend probleem is hierbij lekkage op de verbindingen van de buizen. Zij stellen dat de faalkans van individuele putbarrières 10 tot 100 keer groter is, dan van de put als geheel. Ze stellen ook dat oudere (buiten gebruik gestelde) putten waarschijnlijk hogere faalkansen hebben.

Kang et al. (2016) hebben een studie verricht naar methaanlekkages bij buiten gebruik gestelde aardolie- en aardgasputten in Pennsylvania (USA). Er wordt onderscheid gemaakt tussen putten die “plugged” en “unplugged” zijn. Bij de eerste groep wordt een sub-groep “plugged but vented” onderscheiden voor de putten in gebieden met kolenafzettingen (hetgeen wettelijk verplicht is voor deze gebieden). De maximaal waargenomen methaanflux van de ongeventileerde “plugged” putten was enkele grammen per uur per put. Voor de “plugged but vented” en “unplugged” putten was de maximaal waargenomen flux een factor honderd hoger.

Boothroyd et al. (2016) hebben een vergelijkbare studie gedaan in Groot-Brittannië. Zij vonden bij 31 van de 102 onderzochte putten een significant verhoogde methaanconcentratie ten opzichte van de achtergrond en bij 39 putten een verlaagde concentratie. De gemiddelde flux, die zij hebben afgeleid voor de 102 putten is 1,8 g methaan/(uur.put) (ofwel 0.016 t/(jaar.put)) en het maximum was 16,2 g methaan/(uur.put) (ofwel 0.14 t/(jaar.put)). Ter vergelijking: een koe stoot gemiddeld 14 gram methaan per uur uit²⁴ (ofwel 0.12 t/(jaar.koe)).

²⁴ <https://resource.wur.nl/nl/show/Koeien-stoten-meer-methaan-uit-dan-gedacht.htm>

3.2 Diepe putten in Nederland

3.2.1 *Introductie*

Het Nederlandse territorium/continentaal plat is een gebied rijk aan delfstoffenvoorraden (De Jager en Geluk, 2007). Sinds 1940 zijn voor zover bekend 4960 diepe putten geboord (Tabel 3-1). Hiervan zijn 3933 putten naar aardgas en/of aardolie. Daarvan bevinden zich 2504 binnen het Nederlands territorium, en 1429 op het continentaal plat. Van deze putten hebben zeker 1462 putten aardgas en/of olie geproduceerd. Verder zijn er op land 54 geothermieputten, 657 zoutputten, 311 steenkoolputten en 5 diepe thermaal-waterputten gezet (Tabel 3-1).

Voor het voorliggende emissievraagstuk worden alleen de olie- en gasputten in beschouwing genomen. Bij de overige putten zijn geen of insignificante hoeveelheden olie of gas aangetroffen, maar deze putten - samen met hun respectievelijke vertakkingen - kunnen de oorzaak zijn van methaanlekkages met name door het doorboren van niet als reservoirs beschouwde gasvoorkomens.

Bij steenkolenboringen kunnen soms geringe hoeveelheden kolengas (coalbed methane) worden aangetroffen. Geothermieboringen hebben in enkele gevallen een geringe bijvangst vooral van gas. Deze hoeveelheden ($<1,5 \text{ mln Nm}^3/\text{jaar}$) worden bij de productieput afgescheiden en als brandstof ingezet of verwerkt bij een afvalverwerker (m.n. de olie bijvangst).

3.2.2 *Booractiviteit*

De vroegste booractiviteiten in Nederland vonden plaats in het midden van de 19e eeuw. Honderden diepe exploratieputten zijn gezet op zoek naar steenkool (Figuur 3-3). Rond 1920 bereikte de steenkoolexploratie haar hoogtepunt. De laatste exploratie steenkoolputten werden in het midden van de jaren tachtig van de vorige eeuw gezet. De booractiviteit voor de winning van zout kwam vanaf de vijftiger jaren van de vorige eeuw goed op gang, met een piek rond 1970 (circa 28 putten per jaar) (Figuur 3-3). Sindsdien is het aantal nieuwe zoutputten constant gebleven rond de 6-8 per jaar. Halverwege de jaren tachtig werden de eerste drie geothermieputten geboord. Het duurde echter 20 jaar totdat hernieuwde belangstelling voor geothermie leidde tot een toename van het aantal diepe geothermische projecten. Sinds 2006 zijn 48 geothermieputten geboord (Figuur 3-3).

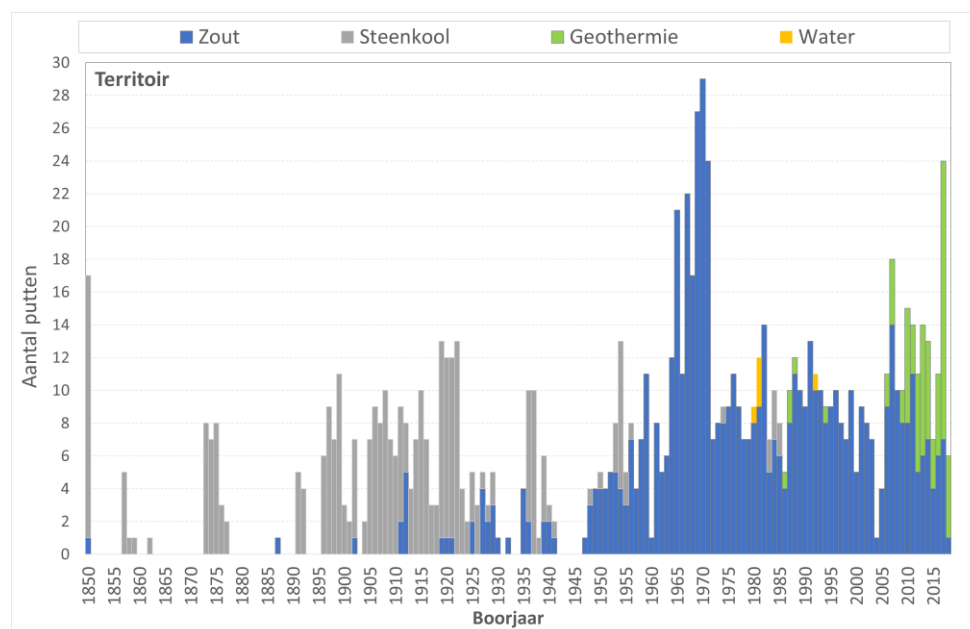
Booractiviteit voor exploratie en productie van olie en gas binnen het Nederlands territorium begon in de vroege 40-er jaren. Het begon iets later - rond eind 60-er jaren - op het continentale plat (Figuur 3-4 & Figuur 3-5). In beide gebieden bereikte deze booractiviteit een piek in de eerste helft van de 80-er jaren met ~100 putten (incl. vertakkingen) per jaar. Sindsdien is het jaarlijks aantal putten gestaag gedaald, vooral op land, vanwege de afname van het aantal potentiële olie- of gasvelden, economische factoren en de groeiende publieke weerstand tegen olie/gasexploratie en -productie activiteiten op land.

Het dieptebereik van olie/gas putten ligt meestal tussen de 2000 en 4000 meter. Dat is vergelijkbaar met die van de geothermische putten. Zout- en steenkoolputten zijn meestal ondieper met een diepte van enkele honderden meters tot ca. 2000 m.

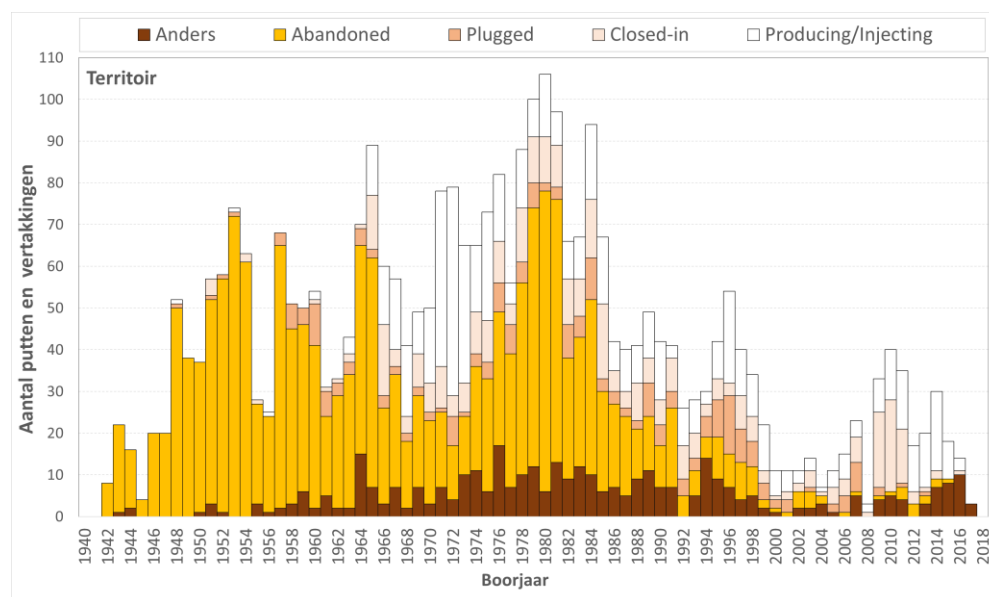
Tabel 3-1 Het aantal en type putten tot heden op territoire en continentaal plat in Nederland per mei 2018 (bron: www.nlog.nl). (*) Productiecijfers van oude putten, vooral olie putten, kunnen niet volledig zijn, daardoor dienen het aantal productie putten als een minimum beschouwd te worden.

Type put	Subtype	Territoir	Continentaal plat	Subtotaal
Olie/aardgas	Putten	2504	1429	3933
Olie/aardgas	Vertakkingen	826	678	1504
	Subtotaal	3330	2107	5437
<i>Totaal aantal productie putten (aardgas/olie-aardgas)</i>	-	<i>(797/82)*</i>	<i>(507/76)*</i>	<i>(1304/158)*</i>
<i>Productie putten aardgas alleen in het Groningen veld</i>	-	318	-	318
Geothermie	Putten	54	-	54
Geothermie	Vertakkingen	21	-	21
	Subtotaal	75	-	75
Zout	-	657	-	657
Steenkool	-	311	-	311
Water	-	5	-	5
Totaal		4378	2107	6485

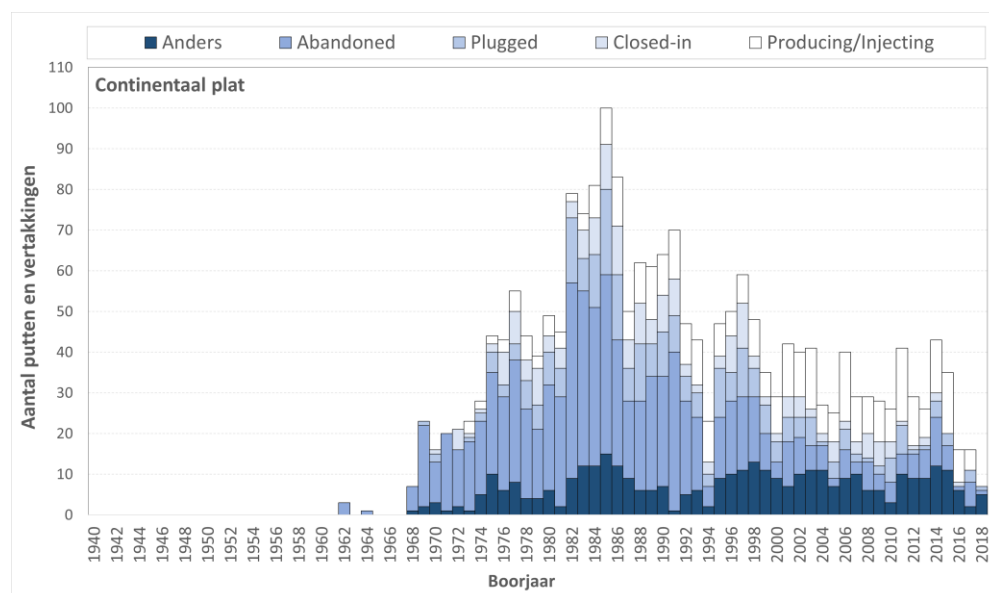
Figuur 3-3 Alle zout-, steenkool-, geothermie- en waterputten (incl. vertakkingen) binnen het Nederlandse territoire per mei 2018, uitgezet tegen het boorjaar (bron: www.nlog.nl). Het aantal geothermieputten omvat ook vertakkingen.



Figuur 3-4 Aantallen jaarlijks geboorde olie- en gasputten (incl. vertakkingen) per 01/01/2018, uitgezet tegen het boorjaar binnen het Nederlands territorium. De putten zijn op basis van hun status onderverdeeld (bron: www.nlog.nl).



Figuur 3-5 Aantallen jaarlijks geboorde olie- en gasputten (incl. vertakkingen) per 01/01/2018, uitgezet tegen het boorjaar binnen het Nederlands continentaal plat. De putten zijn op basis van hun status onderverdeeld (bron: www.nlog.nl).



3.2.3 Status putten

Gedetailleerde informatie over boren, afwerking, workovers en abandonneren van putten zijn in dag-boorrapporten, "end-of-well"-, technische- en abandonneringsrapporten te vinden. Deze rapporten zijn conform de Mijnbouwwet in bezit van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). Gegevens uit de dag-boorrapporten, informatie over lithostratigrafie, logs, diepte, deviatie, verbuizing (casing), productiebuizen (tubings) en olie/gas/water productie, worden opgenomen in de nationale database (TNO-DINO database). Een deel van deze informatie wordt - na het verstrijken van de confidentialiteitstermijn - via het NLOG portaal publiek gemaakt (www.nlog.nl). Voor oudere putten - vooral ouder dan 20-30 jaar - kan de informatie incompleet zijn. Hierdoor kunnen omissies voorkomen in de bepaling van de statussen en potentiële integriteit van putten.

Op basis van de putstatus, zoals gegeven in het Nederlandse olie- en gasportaal (www.nlog.nl), hebben 1303 van de 2504 olie/gas putten (excl. vertakkingen) op het Nederlands territorium de status "geabandonneerd" (Tabel 3-2, Figuur 3-4). Conform Afdeling 8.5 van de Mijnbouwregeling²⁵ dienen onder andere de volgende zaken te worden uitgevoerd bij het buiten gebruik stellen van een put:

- i) een cement plug van 100 meter (of een mechanische plug met direct erop een cement plug van ten minste 50 m) wordt geplaatst ter hoogte van of boven elk geperforeerde segment van de verbuizing;
- ii) in elke annulaire ruimte tussen de series van de verbuizing van een buiten gebruik te stellen put wordt een afsluiting aangebracht over een lengte van ten minste 100 meter vanaf de schoen van de daaraan direct voorafgaande verbuizing.
- iii) indien een buiten gebruik te stellen put door een reservoir gaat, waarvan de inhoud mogelijk naar het oppervlak kan stromen, wordt ter hoogte van de verbuizingsschoen die zich het dichtst boven het reservoir bevindt, in zowel de put als alle annulaire ruimten op hetzelfde niveau een cementplug van ten minste honderd meter aangebracht.
- iv) de verbuizing van de buiten gebruik te stellen put wordt verwijderd tot ten minste 3 meter onder het maaiveld of 6 meter onder de zeebodem verwijderd. In de verbuizing wordt zo dicht mogelijk onder de 3m dan wel 6 meter verwijdering een cementplug aangebracht van ten minste honderd meter.

De status van "geabandonneerd" geeft soms niet een volledig en accuraat beeld van de mate van ontmanteling. Figuur 3-6 laat twee momentopnames zien van twee geabandonneerde putlocaties, met links de situatie toen de put nog actief was, en rechts de huidige situatie. Op de locatie bij het Rijswijk olieveld bevinden zich twee putten met de status geabandonneerd. Beide putten en productie-installaties zijn inmiddels volledig ontmanteld en het gebied is tot moestuinen herontwikkeld. Bij de andere locatie, bij het Roden gasveld, is ondanks het abandonneren van één van de twee putten, de ontmanteling niet volledig en zijn twee spuitkruizen nog te zien. Dit voorbeeld toont de noodzaak aan voor het stellen van een standaard en eenduidige definitie voor alle putstatus codes die door de operators kunnen worden gebruikt.

In de Nederlandse mijnwetgeving is er geen voorschrijvende verplichting om putten te monitoren nadat ze buiten gebruik gesteld zijn. Daarom is er weinig bekend over de huidige integriteit van geabandonneerde putten op land en op zee, om een kwantitatieve inschatting te kunnen maken over de trefkans op lekkage. Aan de hand

²⁵ <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014468/2018-01-01#Hoofdstuk8>

van de zorgplicht in de Mijnbouwwet kan – indien daartoe aanleiding is – worden verlangd om putten te inspecteren of te monitoren²⁶.

Naast de 1303 geabandonneerde putten zijn er in Nederland op land 144 putten “plugged”, 298 closed-in (ingesloten) en 499 actief (status produceren/ injecteren). Het operationele karakter van putten maakt dat de status van produceren/ injecteren geregeld kan wisselen met die van ingesloten. Daarnaast hebben 260 putten een status “anders”, wat ook aangegeven wordt met “niet geclassificeerd” of “onduidelijk status”. De actuele status van een putstelsel kan op basis van de status van geassocieerde putten en vertakking(en) worden afgeleid.

Op het continentaal plat is de status van de 1429 bestaande putten als volgt verdeeld: 655 geabandonneerd, 177 plugged, 119 closed-in, 217 in productie/injecterend (Tabel 3-2; Figuur 3-5). Vergelijkbaar met territoire, zijn er op het continentaal plat 261 putten waarvan de status niet nauwkeurig bekend is die als “anders” zijn geclassificeerd.

Figuur 3-6 Google foto's van twee locaties op twee tijdstippen (Image©digital Globe): (Boven) Olie putten Rijswijk; (Onder) Roden-1 satelliet productie locatie. Put status 1/1/2018: RWK-08 & 18: Geabandonneerd. ROD-101 (Geabandonneerd); ROD-102 (Closed-in).



²⁶ <https://www.sodm.nl/onderwerpen/methaan>

Tabel 3-2 Type statussen putten. Tussen haakjes aantal putten plus vertakkingen. ^{a)} "Anders" betekent niet geclassificeerd of onduidelijk status: bijv. technisch mislukt en sidetracked, gesuspendeerd (suspended), afgewerkt tot put (completed to well).

	Olie/gas territoire	Olie/gas continentaal plat	Geothermie	Zout	Steenkool	Water
Geabandoneerd	1303 (1691)	655 (848)	1 (1)	170	59	2
Plugged	144 (230)	177 (294)	7 (11)	4	0	0
Closed-in	298 (385)	119 (218)	6 (7)	14	1	3
Producing/ injecting	499 (644)	217 (382)	22 (30)	437	0	0
Anders^{a)}	260 (380)	261 (365)	18 (26)	32	251	0
Totaal	2504 (3330)	1429 (2107)	54 (75)	657	311	5

3.3 Methaanlekage en diepe putten

3.3.1 Inventarisatie putintegriteit

In 2008 heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), in samenwerking met de Petroleum Safety Authority in Noorwegen, een steekproef onderzoek uitgevoerd naar de staat (integriteit) van actieve olie- en gasputten in Nederland (SodM, 2008)²⁷. Deze studie omvatte 31 putten op het Nederlandse vasteland. De aanleiding van deze studie was het resultaat van een soortgelijk onderzoek in Noorwegen waar bij 73 van de 406 onderzocht putten (18%) integriteitsproblemen zijn geconstateerd. In Nederland zijn bij 4 van de 31 onderzochte putten barrièreproblemen geïdentificeerd (1 van de 26 productieputten en 3 van de 5 injectieputten). De problemen bij de injectieputten hangen samen met versterkte corrosie door zuurstofopname van het injectiewater (Vignes, 2011). Omdat het aantal onderzochte putten beperkt was, kan uit het resultaat geen statistisch verantwoorde conclusie worden getrokken. De resultaten voor wat betreft actieve putten worden door SodM niet als alarmerend beschouwd. Zoals voorgeschreven in Afdeling 8.4.4. van de Mijnbouwregeling hadden de operators de boven genoemde "probleemputten" reeds bij SodM gemeld. Op basis hiervan heeft SodM in 2009 mogelijke verbeterpunten met de olie- en gasindustrie (in NOGEPA verband) besproken.

3.3.2 Individuele veldwaarnemingen

Medewerkers van de Universiteit Utrecht (UU) hebben in de zomer van 2017 onderzoek gedaan naar potentiële lekkage van aardgas bij 28 geabandonneerde gasputten en 1 olieput op land. Hiertoe is bij deze putten een veldonderzoek gedaan (Cardon de Lichtbuer, 2017) (Figuur 3-7; Tabel 3-3). Deze locaties waren vooral gekozen vanwege toegankelijkheid om de methaanmetingen rondom de put te kunnen uitvoeren. Alleen bij de buiten gebruik gestelde put Monster-02 put (MON-02, gemeente Westland) is lekkage van aardgas waargenomen. Dit is vastgesteld aan de hand van fluxmetingen in combinatie met isotoopanalyse van gasmonsters. Met isotoopanalyse van methaan meet men de verhouding tussen de waterstofisotopen ¹H en ²H en de koolstofisotopen ¹²C en ¹³C. De verkregen waarden geven inzicht in de oorsprong van het methaan of het een diepe, thermogene

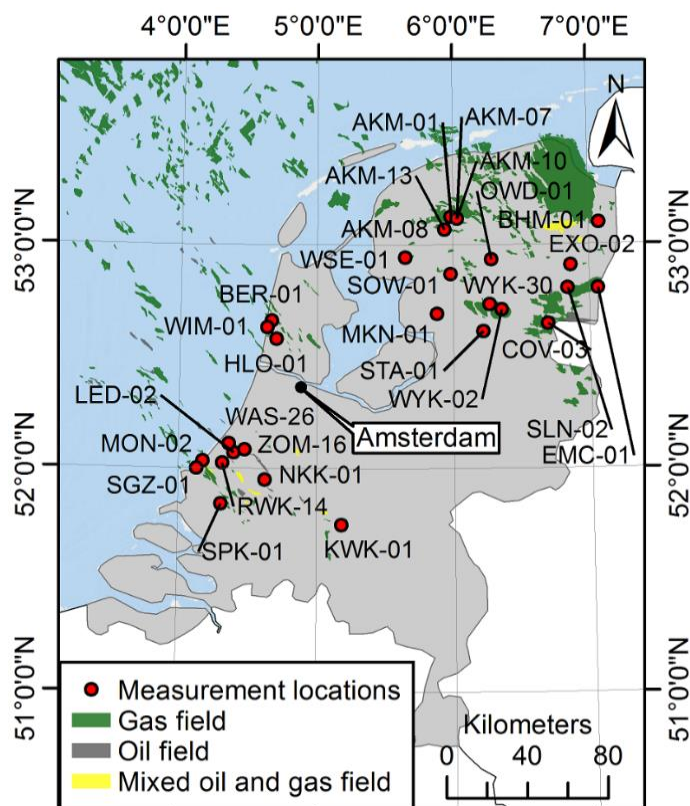
²⁷ Zie Jaarverslag Staatstoezicht op de Mijnen 2008, pagina 15 (sectie Technische integriteit).

herkomst (ofwel aardgas), of een ondiepe, biogene herkomst heeft (moerasgas, dat veel voorkomt in het westen van Nederland wat samen hangt met afbraak van sedimentair organisch materiaal of veen in de ondiepe ondergrond). De isotoopwaarden voor MON-02 vallen in het bereik van thermogeen aardgas (Figuur 3-8).

Bij een tweede veldwerk bij MON-02 zijn methaanmetingen verricht in een grid met onderlinge afstanden van 2 m (Schout et al., 2018b). De methaanfluxen op 2 meter beneden maaiveld net boven de grondwaterspiegel waren beduidend hoger dan op 1 meter beneden maaiveld en aan maaiveld werd geen methaan boven de achtergrondconcentratie gemeten. Dit duidt er op dat er methaanoxidatie optreedt in de zandige, onverzadigde zone. De geschatte flux op 2 meter diep in een gebied van 10 bij 10 meter bedraagt 443 g CH₄/uur (3.9 t/jaar) tijdens de meting. Onder onverstoorde bodemcondities was de flux hoogstwaarschijnlijk geringer omdat de meting de flux heeft verhoogd. Het effect van de meetverstoring is helaas niet te reconstrueren.

Naar aanleiding van de resultaten van de Universiteit Utrecht heeft NAM vervolgonderzoek uitgevoerd waarbij een flux van 4 liter/dag (ca. 1 kg/jaar) in een gebied van 1m² werd gevonden²⁸. Kort daarna besloot NAM om de put MON-02 opnieuw af te dichten. De exacte oorzaak en bron van de lekkage in MON-02 zijn tot nu toe nog niet bekend.

Figuur 3-7 Overzicht van de op lekkage van aardgas onderzochte putten (Cardon de Lichtbuer, 2017). Zie ook Tabel 3-3.

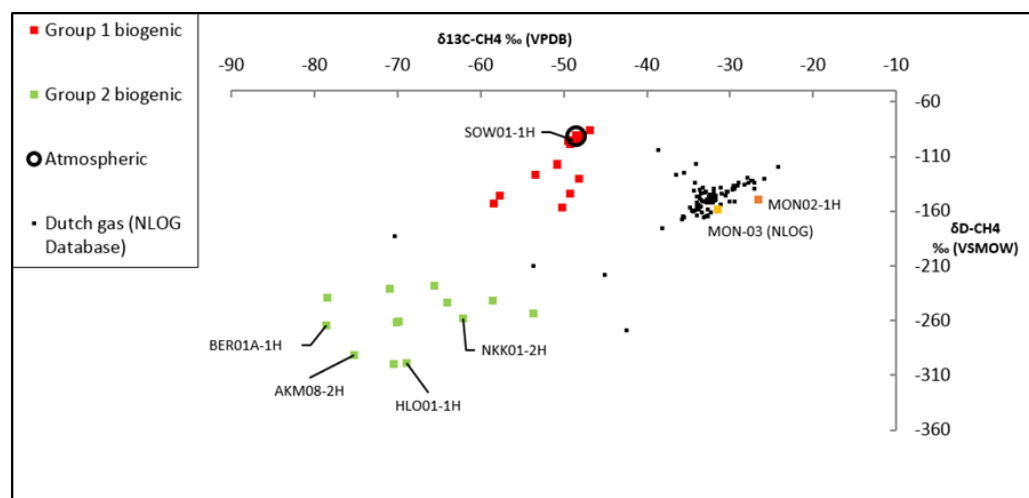


²⁸ <https://www.nam.nl/nieuws/2017/werkzaamheden-aan-de-molenslag-in-monster.html>

Tabel 3-3 Gegevens van putten uit Figuur 3-7. ^(a) Huidige put status op 01/01/2018: (A) Geabandonneerd; (P/I) Producing or injecting (bron data: www.nlog.nl).

Put-code	Put-naam	Boorjaar	Type put	Huidige status ^a	Max. eind diepte (m NAP)	Aantal vertakkingen	Resultaat
AKM-01	OUDEGA-AKKRUM-01	1965	Exploratie	A	2487	-	Gas
AKM-07	OUDEGA-AKKRUM-07	1977	Ontwikkeling	A	1934	-	Gas
AKM-08	OUDEGA-AKKRUM-08	1977	Ontwikkeling	P/I	1949	-	Gas
AKM-10	OUDEGA-AKKRUM-10	1978	Ontwikkeling	A	1944	1	Gas
AKM-13	OUDEGA-AKKRUM-13	1980	Exploratie	A	2394	-	Gas
BER-01	BERGEN-01	1964/196	Exploratie	A	2571	2	Gas
BHM-01	BLIJHAM-01	1972	Exploratie	A	3495	0	Gas
COV-03	COEVORDEN-03	1950	Ontwikkeling	A	3032	-	Gas
EMC-01	EMMER-	1978/197	Exploratie	A	4368	1	Gas
EXO-02	EXLOO-02	1972/197	Exploratie	A	4240	4	Gas
HLO-01	HEILOO-01	1965	Exploratie	A	2266	-	Gas
KWK-01	KERKWIJK-01	1988	Exploratie	A	3098	-	Gas
LED-02	LEIDSCHENDAM-02	1957	Exploratie	A	1323	-	Gas
MKN-01	MARKNESSE-01	1983	Exploratie	A	1972	-	Gas
MON-02	MONSTER-02	1982	Exploratie	A	2978	1	Gas
NKK-01	NIEUWERKERK-01	1958	Exploratie	A	2250	-	Gas
OWD-01	OOSTERWOLDE-01	1993	Exploratie	A	2457	-	Gas
RWK-14	RIJSWIJK-14	1956	Ontwikkeling	A	1565	-	Olie
SGZ-01	'S-GRAVENZANDE-01	1997	Exploratie	A	3001	1	Gas
SLN-02	SLEEN-02	1965	Exploratie	A	1920	-	Gas
SOW-01	SONNEGA-WESTSTELLINGWERF-01	1963	Exploratie	A	1976	-	Gas
SPKW-01	SPIJKENISSE WEST-01	1992	Exploratie	A	2657	-	Gas
STA-01	STAPHORST-01	1950	Exploratie	A	1490	1	Gas
WIM-01	WIMMENUM-	1964	Exploratie	A	2100	-	Gas
WAS-26	WASSENAAR-26	1961	Ontwikkeling	A	1272	3	Gas
WSE-01	WOUDSEND-01	1987	Exploratie	A	2144	-	Gas
WYK-30	DE WIJK-30	1988	Exploratie	P/I	1370	-	Gas
WYK-02	DE WIJK-02	1951/197	Exploratie	A	1484	1	Gas
ZOM-16	ZOETERMEER-16	1965/198	Ontwikkeling	A	1280	1	Gas

Figuur 3-8 Resultaten van de methaan isotoopanalyses zoals bemonsterd door Cardon de Lichtbuer, (2017).



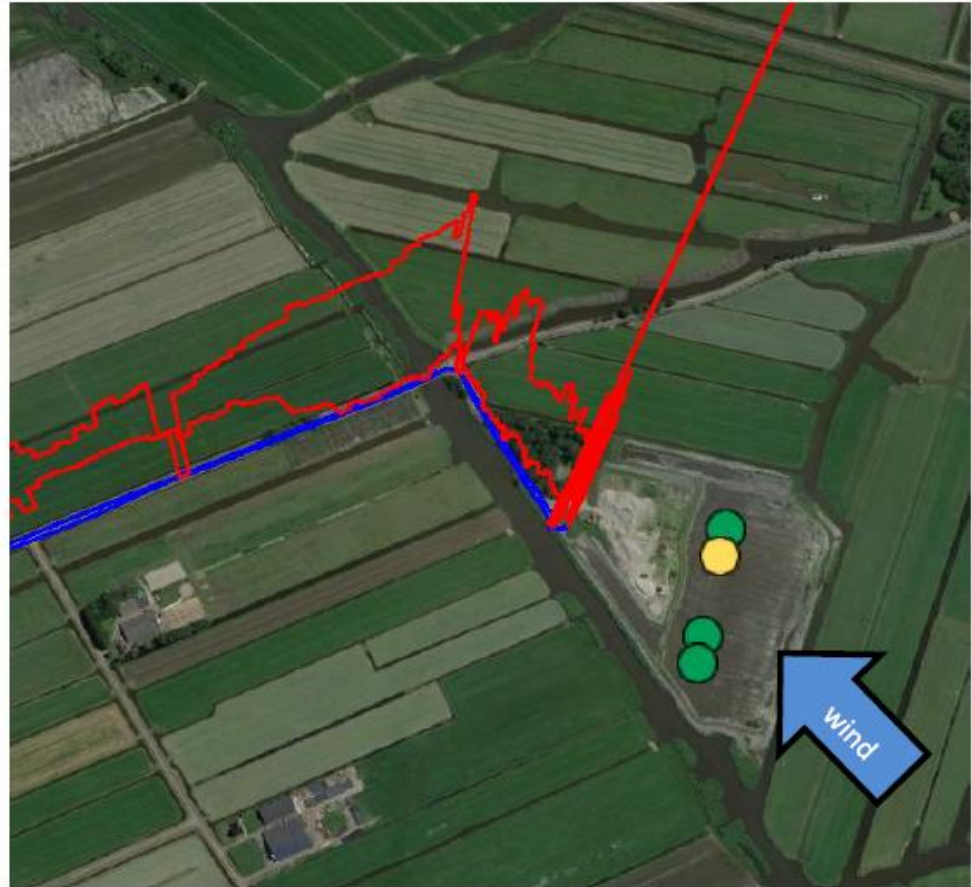
Recentelijk heeft ECN (2017) ook een studie verricht naar potentiële methaanemissie bij 185 (van de ca. 1300) buiten gebruik gestelde olie- en gasputten en 9 (van de 11 bekende) actieve putten met gasbelletjes in de putkelder (Tabel 3-4). De metingen werden uitgevoerd door benedenwinds van (buiten gebruik gestelde) putten te rijden met een meetwagen en aanvullend met een meetbox of slang op locatie te meten. De boxmetingen werden o.a. ingezet op locaties waar de pluimmeting een daadwerkelijke methaanemissie naar de lucht liet zien (door middel van verhoogde methaanconcentraties) en er toegang tot het terrein was. Een verhoging kan ook een andere oorzaak dan putlekkage hebben zoals aanwezigheid van een schuur met vee.

ECN stelt dat er bij de gemeten groep buiten gebruik gestelde putten geen relevante methaanemissie is geconstateerd. Wel werden meerdere keren windafwaarts verhogingen met enkele tientallen tot duizenden ppb methaan waargenomen ten opzichte van de achtergrond (die ca. 1850 ppb methaan bedraagt). Vervolgonderzoek kon niet plaats vinden (vergelijk Figuur 3-9) m.u.v. put Schoonebeek-169. Hier werd met de boxmethode geen emissie boven de put waargenomen. Ook bestaan er enkele actieve putten met gasbelletjes in de putkelder. In één actieve put met gasbellen (Oude Leede-01) was de emissie bij de put naar de lucht onder de detectielimiet van 0,2 g CH₄/uur (0,0018 t/jaar). Voor de andere actieve putten met gasbelletjes is geen finale conclusie mogelijk over potentiële emissie op basis van de meetcampagne.

Tabel 3-4 Opzet van de ECN-studie naar methaanemissie bij – met name – buiten gebruik gestelde aardolie- en aardgasputten (afkomstig van ECN, 2017).

	Putten buiten gebruik gesteld op land					Putten in gebruik op land ¹		Olie/gas behandel locaties
	Oliewinning	Gaswinning	Olie & gaswinning	Niet econ. winbaar	Waarvan gefracked	Vertonen gasbelletjes in putkelder	Water injectie	
Zuid-Holland	38	3	14	11	0	5	0	1
Noord-Holland	0	6	0	11	0	0	0	3
Overijssel	0	2	0	14	0	0	2	2
Groningen	0	14	1	9	1	0	0	5
Friesland	0	6	0	8	0	0	0	2
Drenthe	30	10	0	8	1	4	0	5
Totaal gemeten	68	41	15	61	2	9	2	18
Totaal Nederland	642	119	50	501	13 ²	11	41	283
Percentage gemeten	10,6%	34,5%	30,0%	12,2%	15,4%	81,8%	4,9%	6,4%

Figuur 3-9 Methaanmetingen windafwaarts van de buiten gebruik gestelde putten Middelie101 t/m 104 met de gevonden methaanconcentratie (rood) langs de route (blauw), zonder nader onderzoek wegens ontoegankelijkheid door drijfzand nabij de putlocaties zelf (cirkels) (groene cirkels komen overeen met putten waar destijds gas is aangeboord, terwijl gele cirkel putten zijn die destijds droog waren (niet economisch)) (afkomstig van ECN, 2017).



3.3.3 Incidenten en lekkage

In Nederland heeft zich in de geschiedenis van de exploratie en productie van aardgas één keer een blow-out voorgedaan tijdens een aardgasboring, die men niet onder controle heeft gekregen, namelijk op 1 december 1965 bij Sleen (SLN-02). Een blow-out is een gebeurtenis waarbij op ongecontroleerde wijze aardgas en/of aardolie vanuit de diepte naar boven ontsnapt via in eerste instantie het boorgat. Ondieper kan het gas uitbreken en door spontaan ontstane scheuren verder omhoog gaan.

Bij de blow-out in Sleen is de complete boortoren in de ondergrond verdwenen en heeft het enkele maanden geduurd voordat de operator de zaak weer onder controle had. Men heeft hiertoe een nieuwe, gedeveierde boring (SLN-03) uitgevoerd. Middels fracken is een connectie tussen de twee putten tot stand gebracht²⁹. De lekkage is gestopt na injectie van 390 ton cement. Recent zijn twee milieugeochemische

²⁹ Zie document in boorgat/put eindrapport (24 Feb 1966):

<https://www.nlog.nl/nlog/requestData/nlogp/allBor/metaData.jsp?tableName=BorLocation&id=106509859>

onderzoeken uitgevoerd: de methaanchemie van het grondwater is onderzocht (Schout et al., 2018a) en deze locatie was 1 van de 29 locaties waar gekeken is naar methaanlekages (Figuur 3-7). Hoge concentraties aan thermogeen methaan (tot 43,8 mg/l) zijn waargenomen in het grondwater tot 120 m diep. In de pluim met verontreinigd grondwater stroomafwaarts van de put wordt het opgeloste methaan onder zuurstofloze condities (deels) geoxideerd naar CO₂. Aan maaiveld is lekkage van methaan uit de bodem waargenomen. Dit betrof echter biogeen en geen thermogeen methaan (Cardon de Lichtbuer, 2017).

Verder heeft zich bij het boren van de put Rijswijk-18 een tophole incident voorgedaan, toen men tijdens het boren vanaf 400 m diepte hoge gasmeetwaarden constateerde (NAM, 1994). De hoge gasmeetwaarden werden veroorzaakt door ondiepe gasverzadiging bij de nabijgelegen put Rijswijk-8. De verbuizing van deze put had geen gas-tight connecties. NAM vermoedt dat gasmigratie is opgetreden vanaf de Holland Greensand Member op circa 750 m diepte (die economisch niet als reservoir was aangemerkt) naar de ondieper gelegen Texel Greensand Member (ca 400 m diepte). Na het opmerken van de hoge gasmeetwaarden is het verder boren van deze put gestaakt en is deze buiten gebruik gesteld.

Naast de genoemde blow-out in Sleen zijn er andere blow-outs bekend voor exploratie en productie van olie en gas op de Noordzee buiten het Nederlands deel van het continentale plat:

1. op 22 april 1977 vond een ongeluk plaats op het Ekofisk B-platform³⁰ op het Noorse continentale plat. Een volume gelijk aan ruim 200.000 vaten olie is toen ongecontroleerd uit de bron gekomen. De bron kon na 7 dagen worden afgedekt.
2. op 21 augustus 1980 vond een blow-out plaats bij een aardgasboring in het Gullfaks Vest gebied (Noorse continentale plat), nadat Statoil tot 816 m had geboord.³¹ De put heeft enige tijd gelekt en de put is na 19 september met cementpluggen afgewerkt en definitief geabandonneerd op 4 oktober 1980. Het betrof lekkage van zogenaamd "shallow gas" vanuit een reservoir op 230 m onder de zeebodem (Hovland, 2007).
3. op 20 november 1990 vond een blow-out plaats bij exploratieput UK22/4b-4 (Leifer & Judd, 2015). Mobil North Sea Ltd. vond het toentertijd te risicovol om de put te dichten en de lekkage te stoppen. Lekkage van aardgas vindt sindsdien op deze locatie plaats en deze locatie is een grote, antropogene bron van methaan op de Noordzee.

³⁰http://home.versatel.nl/the_sims/rig/ekofiskb.htm of <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ekofisk>

³¹

http://factpages.npd.no/ReportServer?/FactPages/PageView/wellbore_exploration&rs:Command=Render&rc:Toolbar=false&rc:Parameters=f&NpdId=859&IpAddress=139.63.26.116&CultureCode=nb-no

3.3.4 Opschaling naar Nederland

Uitgaande van de 29 geobserveerde putten uit de UU campagne op het Nederlands territorium waarvan 1 put lekt, is een schatting van de lekkans gemaakt en daarmee een voorspelling gedaan van het aantal putten dat in Nederland zouden kunnen lekken. Voor een statistische schatting is een berekening die gebaseerd is op binomiale kansen adequaat.

Wanneer er “n” putten zijn waarvan er “r” lekken en “n-r” niet, en de kans op lekken is “p”, dan wordt de waarschijnlijkheid (likelihood) van de aangetroffen situatie $p^r (1-p)^{n-r}$. Daar niet a priori bekend is hoe groot “p” is, wordt de verdeling voor “p” zelf een constante van [0,1]. Dit is conservatief: zo’n behandeling zal de uiteindelijke kans eerder overschatten dan het tegendeel. Met de stelling van Bayes bepaalt men nu uit het bovenstaande een kansverdeling $\pi(p | \text{Data})$ voor de kans “p”, gebaseerd op de data die zijn aangeleverd, met als uitkomst

$$\pi(p | \text{Data}) = p^r (1-p)^{n-r} (n+1)! / r! (n-r)!$$

De waarde van p die men bij voorkeur wenst te gebruiken is de gemiddelde waarde van p bij de bovenstaande kansverdeling π . Het uiteindelijke resultaat is (Jaynes, 2003):

$$\text{Estimated } p = (r+1)/(n+2) ; \text{ sigma} = [p(1-p) / (n+3)]^{1/2}$$

Voor $n = 29$ en $r = 1$ vindt TNO een geschatte $p = 0.065$ en $\text{sigma} = 0.044$. Men kan dus stellen dat de kans op een lekkende put in de range 2% – 11% ligt. Als we uitgaan van 1303 buiten gebruik gestelde olie- en gasputten op land in Nederland, dan is op grond van de huidige gegevens de grove schatting dat er tussen de 26 en 143 putten lekken (op dit moment).

Het is ook van belang om vast te leggen wanneer men een put als lekkende put beschouwt. Als men zicht wil hebben op de toekomst dan zou men met behulp van overgangswaarschijnlijkheden (niet-lekken => lekken) een analyse moeten uitvoeren, waarbij men de theorie van de Markovketens zou kunnen gebruiken en waarin men dan ook mitigatiewerkzaamheden zou willen betrekken.

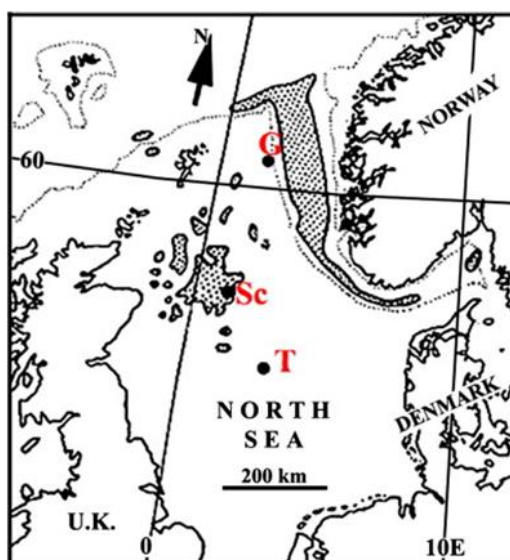
3.4 Methaanlekkage op de Noordzee

Het is algemeen bekend dat er langs natuurlijke weg methaan lekt uit de bodem van de Noordzee (bijv. Rehder et al., 1998). Afhankelijk van de fysische en chemische omstandigheden kan dit methaan het oppervlak bereiken en zo leiden tot een natuurlijke atmosferische emissie. Het is ook duidelijk geworden dat er methaanlekkage uit de Noordzeebodem optreedt door antropogene activiteiten in relatie tot exploratie en productie van olie en gas. De vraag is hoe deze zich tot elkaar verhouden en mogelijk ook onderling beïnvloeden. De blow-out UK22/4b op november 1990 verdient speciale aandacht, omdat de aardgaslekkage, die hier nog steeds optreedt, zeer omvangrijk is (Vielstadte et al., 2015; Leifer, 2015).

Natuurlijke lekkage van methaan vindt o.a. plaats via zogenaamde seeps (Schroot et al., 2005; Judd & Hovland, 2007; Hovland et al., 2012). Een seep is een algemene term voor een plek waar gas(bellen) ontsnappen uit de ondergrond. De termen micro-seep en macro-seep worden hierbij ook gehanteerd. Een macro-seep is een locatie

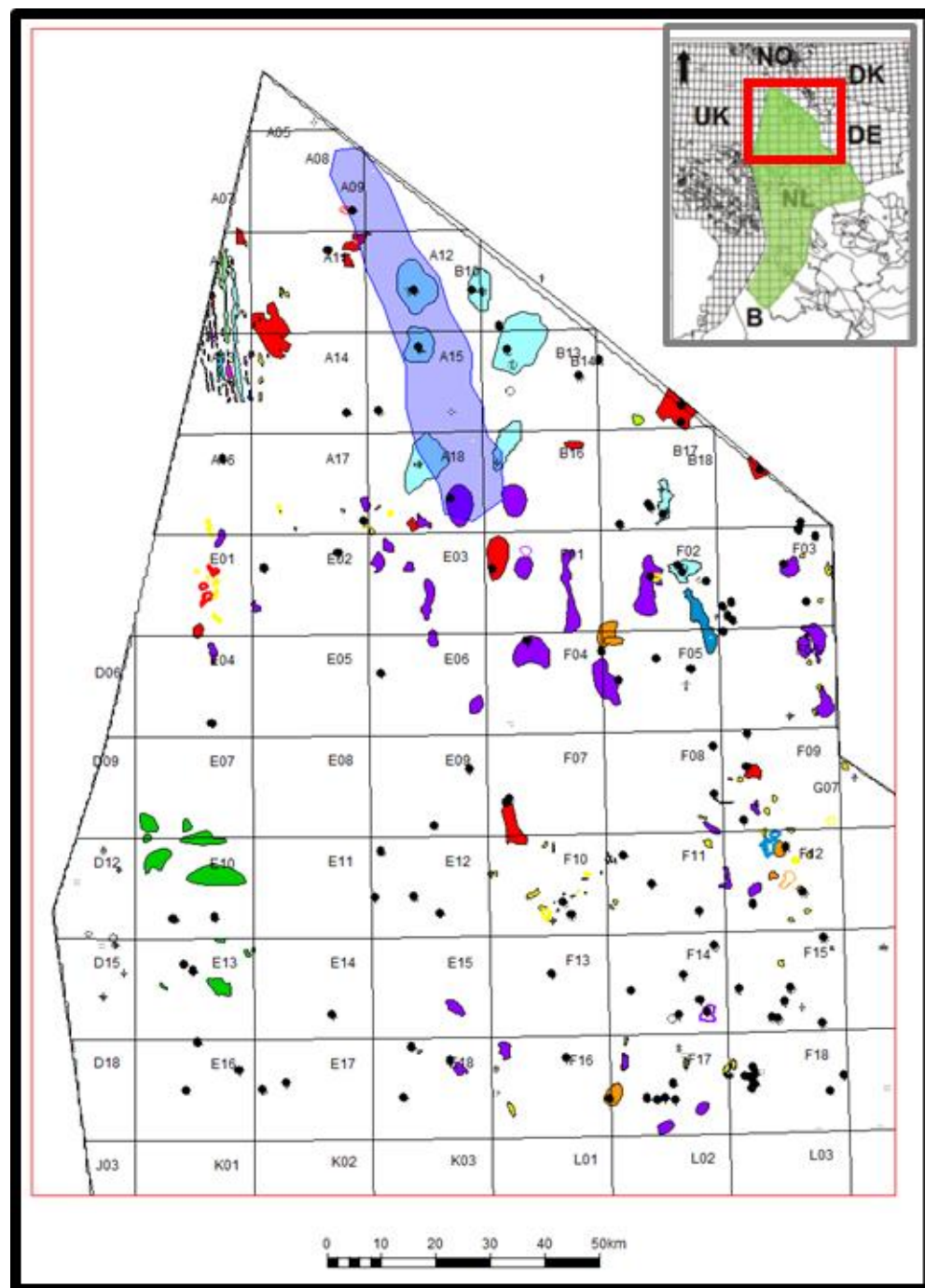
waar lekkage van gasbellen akoestisch of visueel waargenomen kan worden in de bovenstaande waterkolom. Er zijn voor de Noordzee drie macro-seeps bekend: Tommeliten, Scanner en Gullfaks (Figuur 3-10). Het gaat hierbij om plekken waar sprake is van een relatief grote methaanflux. Macro-seeps worden vaak herkend door de aanwezigheid van een pockmark. Een pockmark is een krater in de zeebodem. De dichtheid en grootte varieert. Pockmarks zijn gevonden in het noordelijk deel van de Noordzee en in het Nederlands continentaal (Hovland et al., 2012). Pockmarks, zoals gevonden in de blokken A5 en F10, zijn typisch 40 m in diameter en 2 m diep. Het is belangrijk om te beseffen dat in algemene zin pockmarks en methaanlekkage niet exclusief gekoppeld zijn. Pockmarks kunnen een relict zijn. Macro-seeps kunnen optreden zonder morfologische expressie van de zeebodem. Dit kan o.a. het geval zijn als het sediment op de zeebodem grofkorrelig is.

Figuur 3-10 Algemene kaart met de locaties van de Gullfaks (G), Scanner (Sc) en de Tommeliten (T) macro-seeps (zwarte stippen) in de Noordzee. De gestippelde vlekken zijn de belangrijkste gebieden in de Noordzee met pockmarks (afkomstig van Hovland et al., 2012).



Operators maken gebruik van de seismische data om ondiepe gasaccumulaties te identificeren. In seismische data worden ze als “bright spots” of “seismisch chimney” herkend. Een “bright spot” wordt veroorzaakt door een verhoogde amplitude van het seismisch signaal door de aanwezigheid van vrij gas in de ondergrond. Een “seismisch chimney” is een langwerpig, verticale anomalie waarbinnen geen seismische gelaagdheid wordt waargenomen. Dit wordt o.a. toegeschreven aan verlies van het seismische signaal doordat opwaartse stroming van poriewater of gas de sedimentaire gelaagdheid heeft verstoord (Schroot et al., 2005). Op basis van de seismische data zijn er in het Nederlandse continentaal plat ondiep aardgasaccumulaties (bright spots) in kaart gebracht (EBN, 2009) (Figuur 3-11). Deze liggen over het algemeen op dieptes van 200-800 m. Sommige zijn tot aardgasveld ontwikkeld, voor andere geldt dat de hoeveelheid gas zeer beperkt kan zijn. Slechts 5% gas in het water geeft precies hetzelfde seismische signaal als 80% gas. Dus de inschatting van de aardgas volumina is erg moeilijk. Het is ook niet bekend of de bright spots lek zijn. Het wordt vermoed dat dit in Nederland regelmatig het geval is, omdat veel van de accumulaties niet tot het spill-point gevuld zijn.

Figuur 3-11 Ondiep aardgas in de Nederlandse continentaal plat Nederlands. Sommige aardgas accumulaties zijn via seismische data als "bright spots" geïdentificeerd. (Lichtblauw) Ondiep aardgas velden; (Rood) veld A12FA-type bright spot; (Oranje) veld F02A-Pliocene type; (Paars) plat medium grootte bright spot; (Blauw)= Foreset bright spot; (Donkerblauw) Langwerpige bright spot; (Groen) erg ondiep bright spot; (Geel) plat kleine bright spots; (Lichtgroen) niet geclassificeerd (blok B14) (EBN, 2009). Zwarte stippen (oppervlakte locatie van olie/gas putten).



3.4.1 *Methaanfluxen vanuit de Noordzeebodem naar het zeewater*

Tabel 3-5 presenteert een compilatie van de grootte van methaanfluxen op de Noordzee. Er worden drie situaties onderscheiden:

1. Methaanfluxen vanuit de Noordzeebodem naar het zeewater.
2. Fluxen tussen de Noordzee als waterlichaam en andere waterlichamen.
3. Emissiefluxen vanuit de Noordzee naar de lucht.

Het bovenste deel van Tabel 3-5 geeft aan dat de methaanflux uit de zeebodem bij individuele (macro-)seeps varieert tussen 0,1 en 35 ton methaan per jaar. Voor een veld van seeps, zoals bij de Doggersbank, is de totale flux geschat op 273-593 ton/jaar (Romer et al., 2015). Twee studies hebben een schatting gemaakt van de totale natuurlijke lekkage van methaan uit de zeebodem op het continentale plat van het Verenigd Koninkrijk. De lekkage treedt vooral op in de Noordzee en niet aan de westelijke kant van het Verenigd Koninkrijk (Tizzard, 2008; Judd et al., 1997). De afgeleide waarden van 87–6200 kton per jaar zijn enorm groot en staan in contrast met de lage waarde van 200 ton/jaar, die Vielstadte et al. (2017) opvoeren voor de totale natuurlijke lekkage op de Noordzee (Tabel 3-5). De hoge waarden worden bevestigd door Borges et al. (2016) voor het Belgische deel van de Noordzee, waar methaanconcentraties tot 1128 nmol/l zijn gemeten. Dit is niet veel lager dan de hoogste concentraties van 1450 nmol/l gemeten bij blowout 22/4b (Rehder et al., 1998) en 1628 nmol/l bij seeps op de Doggersbank (Mau et al., 2015). De oorzaak voor het Belgische deel van de Noordzee wordt mede toegeschreven aan methaanlekkage vanuit begraven veenafzettingen uit het Kwartair.

De blow-out UK22/4b neemt een aparte positie in als antropogeen veroorzaakte bron van methaanlekkage uit de zeebodem. Het gaat hier om de grootste methaanlekkage op de Noordzee voor een individuele locatie. De flux lijkt niet wezenlijk afgenomen sinds de eerste metingen bij de blow-out wanneer de onzekerheid in de schatting van de flux ook wordt meegewogen (Leifer, 2015). De lekkage varieert in de tijd op korte (minuten) en langere tijdschaal (dagen/jaren). De lekkage vertoont elastisch gedrag, waarbij zich erupties voordoen.

Vielstadte et al. (2015) hebben de methaanlekkage gekwantificeerd bij 3 lekkende, geabandonneerde putten op het Noorse deel van de Noordzee. De berekende fluxen bedragen één, vier en negentien ton/jaar. Het betreft biogeen methaan en geen thermogeen methaan. De bron bevindt zich in de eerste honderden meters onder de zeebodem. De grootste flux is gevonden bij een put die een zogenaamde “bright spot” doorboord. Boven de bright spot is een “seismic chimney” waargenomen op een seismisch profiel. De laagste flux is gevonden bij een put waarbij alleen een “bright spot” doorboord wordt. De middelste waarde is gevonden bij een droge put, waarvoor in het seismisch signaal de seismische gelaagdheid verstoord was zonder dat sprake was van een “seismisch chimney”. Vielstadte et al. veronderstellen dat lekkage optreedt langs de boring doordat het doorboorde gesteente verbroken is geraakt en de breukjes niet zijn opgevuld met cement. Het resultaat is een zone met gebroken gesteente (damage zone) langs het boorgat. Ondieper kan het gas recht naar boven migreren als de ondergrond zandig is, of meer lateraal, als er ook kleilaagjes aanwezig zijn. De bevindingen voor de drie lekkende putten zijn door Vielstadte et al. (2017) opgeschaald naar de gehele Noordzee. Ze leiden af dat de totale lekkage 3-17 kton/jaar bedraagt, wat beduidend groter is dan hun schatting van de natuurlijke lekkage (die erg laag gesteld was) en wezenlijk lager dan wat andere auteurs afgeleid hebben voor de natuurlijke lekkage (Tabel 3-5).

Tabel 3-5 Methaanfluxen op de Noordzee voor verschillende, natuurlijke en antropogene bronnen op de Noordzee zoals die zijn afgeleid op basis van combinaties van metingen en berekeningen. Groene cellen komen overeen met referenties over natuurlijke methaangasfluxen, terwijl rode cellen antropogene bronnen behelzen.

Situatie	Methaanflux (ton methaan per jaar)	Referentie
1.- Flux uit de zeebodem		
Pockmark G11, off-shore Mid-Norway	0,151	Chen et al., 2010
Scanner pockmark macroseep	0,262	Hovland et al., 2012
Gas chimney bij Tommeliten	26	Schneider von Deimling et al., 2015
Tommeliten wider seep area	5,64	Hovland et al., 1993
Seep bij UK Block 15/25	17	Hovland et al., 1993
Gemiddelde van individuele seeps op continentale plat van V.K.	1,25 - 35,8	Judd et al., 1997
Major seeps bij de Nederlandse Doggersbank	273-593	Romer et al., 2015
Geheel van seeps op het continentale plat van V.K.	87000 – 2900000	Tizzard, 2008 in Judd, 2015
Geheel van seeps op het continentale plat van V.K.	216000 – 6200000	Judd et al., 1997
Totale natuurlijke lekkage uit de bodem van de Noordzee	200	Vielstadte et al., 2017
Blowout UK22/4b	15000 – 41000	Leifer, 2015
Bereik in lekkage langs 1 van 3 putten in centrale Noordzee (Noorwegen)	0,001 – 0,019	Vielstadte et al., 2015
Totale lekkage langs putten in de Noordzee	3000 – 17000	Vielstadte et al., 2017
2.- Flux tussen oppervlaktewaterlichamen		
Productie in het estuarium van de Rijn	7640	Upstill-Goddard et al., 2000
Flux van de Noordzee naar de Atlantische Oceaan	7569	Rehder et al., 1998
3.- Emissie naar de atmosfeer		
Zee/lucht uitwisseling bij Tommeliten	< 1,04	Schneider von Deimling et al., 2015
Bij seeps op de Nederlandse Doggersbank	21,7	Romer et al., 2017
Geassocieerd met seeps op het continentale plat van V.K.	10000 – 480000	Tizzard, 2008 in Judd, 2015
Estuarium van de Rijn	7200	Upstill-Goddard et al., 2000
Estuaria van V.K.	5800 ± 5800	Upstill-Goddard & Barnes, 2016
Geassocieerd met seeps op het continentale plat van V.K.	119000 – 3400000	Judd et al., 1997
Nederlandse deel van Southern Bight, Noordzee	2000 – 200000	Scranton & McShane, 1991
Gehele Noordzee - model 1	7543	Bange et al., 1994
Gehele Noordzee - model 2	5803	Bange et al., 1994
Gehele Noordzee	24000 – 50000	Rehder et al., 1998
Nabij blowout UK22/4b	7008	Rehder et al., 1998
Nabij blowout UK22/4b uit het zeewater	< 5000-7500	Gerilowski et al., 2015
Bubble mediated emissie nabij blowout UK22/4b	700 ± 300	Schneider von Deimling et al., 2015
Gehele Noordzee door lekkage langs de putten	1000 – 7000	Vielstadte et al., 2017

Voor de Noordzee zijn de rivieren en hun estuaria een bron van methaan, net als de wadden langs de kust van Nederland, Duitsland en Denemarken (Scranton & McShane, 1991; Rehder et al., 1998; Upstill-Goddard et al., 2000). Het gaat hier voornamelijk om de slikken en schorren als natuurlijke bron van methaan. De belangrijkste rivieren zijn de Rijn (en hiermee geassocieerd de Maas en Schelde) en de Elbe en er zijn ook enkele estuaria aanwezig langs de Britse Noordzeekust zoals de Humber. De methaanproductie geassocieerd met het Rijnsysteem is substantieel: 7640 ton/jaar. De emissie naar de atmosfeer die hieraan gekoppeld is, is iets geringer met 7200 ton/jaar (Tabel 3-5). De netto productie richting de Noordzee is dus 440 ton/jaar. De flux van de Noordzee naar de Atlantische Oceaan is met 7569 ton/jaar vergelijkbaar en geeft aan dat de atmosfeer niet de enige belangrijke uitgang is van methaan in het Noordzee-systeem.

3.4.2 *Emissiefluxen vanuit de Noordzee naar de atmosfeer*

Tabel 3-5 presenteert waarden voor de methaanflux vanuit de Noordzee naar de atmosfeer. Het gaat hierbij zowel om waarden voor de totale vracht als individuele (groepen van) bronnen. De achtergrondconcentratie van methaan in zeewater van de Noordzee in evenwicht met de lucht is ca. 2,5 - 3 nmol/l (Bange et al., 1994; Rehder et al., 1998). Tientallen nmol/l zijn niet ongewoon in estuaria, waarbij er een relatie kan zijn met het zoutgehalte (Upstill-Goddard et al., 2000). Concentraties boven de 1000 nmol/l zijn waargenomen bij de blowout UK22/4b (Rehder et al., 1998) en bij seeps op de Doggersbank (Mau et al., 2015). De atmosferische fluxen, die geassocieerd zijn met de natuurlijke lekkages uit de zeebodem, zijn een factor twee of meer lager dan die van de lekkages. Voor de blowout UK22/4b geldt dat de flux naar de atmosfeer tenminste twee keer zo laag is als de lekkage uit de zeebodem. Het gaat in beide situaties om het atmosferische verlies in de buurt van de bron, enerzijds doordat gasbellen die ontsnappen uit de zeebodem snel opstijgen en verdwijnen naar de lucht en anderzijds door de ontgassing van methaanhoudend Noordzeewater naar de atmosfeer. Atmosferische verliezen, die verder stroomafwaarts optreden, zijn niet meegenomen. De algemene stromingssituatie op de Noordzee is hierbij dat zeewater langs de Britse kust naar het zuiden stroomt en via de Nederlandse, Duitse, Deense en Noorse kust weer naar het oosten en noorden stroomt.

Voor de rest is de situatie niet eenduidig: de waarden van Bange et al. (1994) voor de atmosferische flux over de gehele Noordzee zijn aan de lage kant en van eenzelfde orde grootte als de waarden voor de estuaria of de blowout UK22/4b (Tabel 3-5). De waarden van Rehder et al. (1998) zijn beduidend hoger maar nog steeds geringer dan de waarden van Judd et al. (1997) voor de flux geassocieerd met seeps op het continentale plat van het Verenigd Koninkrijk en wat laag in vergelijking met de waarden van Tizzard (2008). De waarden voor de ontgassing vanuit het Nederlandse deel van de Southern Bight zijn met tussen de 2 duizend en 200 duizend ton/jaar de extremen en omvatten de emissie van 7200 ton/jaar geassocieerd met het Rijn-systeem. De waarden van Vielstadte et al. (2017) voor de totale atmosferische emissie geassocieerd met lekkage langs putten liggen met 1000-7000 ton/jaar in het lagere bereik (Tabel 3-5).

Cruciaal bij dit alles is de vraag hoe representatief de getallen van Judd et al. (1997) en Tizzard (2008) zijn omtrent de fluxen geassocieerd met de natuurlijke seeps op het continentale plat van het Verenigd Koninkrijk. Als deze getallen qua orde grootte

juist zijn, dan is natuurlijke lekkage veruit de grootste bron van methaan op de Noordzee: de flux voor de gehele Noordzee zal nog groter zijn dan die van het Britse deel. Als ze een grove overschatting zijn, dan zijn meerdere bronnen qua orde grootte tamelijk vergelijkbaar:

- a) de uitwisseling bij de riviermondingen.
- b) de blowout UK22/4b als enkele bron
- c) de natuurlijke lekkage uit de Noordzeebodem
- d) mogelijk ook de antropogene lekkage langs de putten.

Een aspect dat tenslotte nog aandacht verdient is de rol van microbiële methaanoxidatie in zowel de zeebodem als het Noordzeewater. Vielstadte et al. (2017) stellen dat de rol van microbiële oxidatie verwaarloosbaar is omdat de oxidatiesnelheid laag is ten opzichte van de verblijftijd in de oppervlakkige menglaag en de circulatietijd van zeewater in de Noordzee. Ze gaan hierbij uit van een oxidatiesnelheid kleiner dan 1,4 nmol/dag, zoals waargenomen bij de drie lekkende, geabandonneerde putten (Vielstadte et al., 2015). De volgende opmerkingen kunnen hierbij geplaatst worden:

- in de zomer is sprake van een thermocline in de diepere delen van de Noordzee, die de uitwisseling van diepere watermassa's met de atmosfeer ernstig verhindert (Mau et al., 2015). In de winter is deze thermocline verdwenen door verticale menging als gevolg van stormen.
- emissie naar de lucht door methaanlekkage vanuit de zeebodem treedt het snelst op daar waar de Noordzee het ondiepst is, zoals in de Southern Bight, waarbinnen ook het Nederlandse deel van het continentale plat ten westen van de kust ligt. De achterliggende oorzaak is dat hier moeilijk een thermocline kan ontstaan en de gasbellen het snelst het zeeoppervlak kunnen bereiken. De gasvelden ten westen van de Nederlandse kust zijn dus ongunstig gelegen als het gaat om potentiële lekkage vanuit de zeebodem naar de atmosfeer.
- de circulatietijd van 0,75 jaar die Vielstadte et al. (2017) hanteren voor Noordzeewater is aan de korte kant. Prandle (1984) noemt bijvoorbeeld een verblijftijd van 1,5-2 jaar voor water in de centrale Noordzee. Blaas et al. (2001) tonen aan dat de verblijftijd afhankelijk is van de heersende wind en dichtheidgradiënten in de Atlantische Oceaan ten noordwesten van de Noordzee. Een typische verblijftijd in het Noordzee systeem is 4 jaar vanaf de Schotse kust en 100 dagen vanaf de Noorse trog.
- microbiële oxidatie van methaan in de waterkolom is herhaaldelijk aangetoond voor zowel de Noordzee als elders. In algemene zin is er een grenswaarde van 3-10 ng CH₄/l, waarboven oxidatie substantieel kan zijn en waar beneden het zeer langzaam is (Valentine et al., 2001; Damm et al., 2005). Eerste-orde oxidatiesnelheden van 0,0004 tot 0,05 dag⁻¹ zijn afgeleid voor mariene, arctische tot tropische omstandigheden (De Angelis, 1993 en referenties hierin). Dit komt overeen met halveringstijden van 14 dagen tot 5 jaar. Het eerste kan voor de Noordzee niet als verwaarloosbaar aangemerkt worden. Mau et al. (2015) noemen oxidatiesnelheden tussen 0,04 en 840 nmol/dag bij seeps op de Doggersbank, ofwel van verwaarloosbaar tot zeer hoog. De mediane snelheid was hierbij 4,0 nmol/dag voor de zomermetingen en 0,2 nmol/dag voor de wintermetingen.

Mau et al. (2015) stellen dat laterale afvoer van methaan uit seeps en bijbehorende verdunning het belangrijkste afvoermecanisme is. In principe zou er op de Noordzee bij gelijke geografische omstandigheden geen noemenswaardig verschil zijn in afvoermecanisme tussen methaan afkomstig van (macro-)seeps en van lekkende putten.

3.5 Conclusies

3.5.1 Putintegriteit en methaanlekage

Er zijn weinig gegevens beschikbaar in het publieke domein omtrent integriteitproblemen en eventueel geassocieerde methaanlekages voor putten in het Nederlandse territorium en op de Noordzee.

Op basis van de mijnbouwregeling (bijv. Afdeling 8.5) worden buiten gebruik gestelde putten in Nederland met cement/mechanische pluggen verzegeld, onder het oppervlak afgesneden en begraven. Er bestaat geen voorschrijvende, wettelijke verplichting om deze putten daarna te inspecteren of te monitoren. Echter, wanneer aanleiding is voor monitoring, kan SodM dit vragen op basis van de doelstellende zorgplicht in de Mijnbouwwet.

Recente studies in Nederland hebben aangetoond dat lekkage richting het maaiveld kan optreden bij diepe putten. Het gaat hierbij om aardolie en aardgas putten. Het betreft het enerzijds de unieke blow-out die in 1965 bij 't Haantje in Sleen plaats vond en anderzijds lekkage nabij het maaiveld van thermogeen methaan bij één geabandonneerde put (MON-02) van de 29 bestudeerde geabandonneerde putten (zoals aangetoond in een studie van Universiteit Utrecht). Statistisch gezien is het onwaarschijnlijk dat dit de enige (geabandonneerde) put is die lekkage vertoont. Het is daarnaast bekend op basis van een ECN-studie van 185 putten onshore dat: i) bij enkele actieve putten gasbelletjes in de putkelder voorkomen, ii) er bij sommige locaties met 1 tot meerdere buiten gebruik gestelde putten sprake is van verhoogde methaanconcentraties in de lucht zonder dat sprake is van een "relevante" emissie naar de lucht en nader onderzoek naar de oorzaak niet uitgevoerd kon worden, en iii) bij de meeste locaties met putten geen sprake is van een "relevante" emissie.

Op basis van de studie van Universiteit Utrecht is een trefkans ingeschat van 2% tot 11% voor gebrek aan putintegriteit van de 1303 geabandonneerde putten in het Nederlands territorium. Dit is afgeleid op basis van een beperkt aantal gemeten putten in Nederland (29 uit 1303) en stemt overeen met studies in het buitenland. De hier toegepaste statistiek gebruikt alle aanwezige onshore putten in Nederland als basis van de prognose. Echter, de oorzaak en bron van de lekkage van MON-02 is nog niet bekend. Gezien de variatie in putconfiguratie, putleeftijd, gebruik, onderhoud, aanwezigheid van corrosieve stoffen en geologie is het voorstelbaar dat bepaalde risico's slechts op een deel van de putten van toepassing zijn. Daarom is deze informatie nodig voor verdere analyse van de overgangswaarschijnlijkheden op (een deel van) de dataset.

3.5.2 De Noordzee en methaanlekkage

Er is op de schaal van de Noordzee forse onzekerheid over de grootte van de totale natuurlijke methaanflux vanuit de zeebodem naar de Noordzee versus de totale flux door lekkage langs de put als antropogene bron. De onzekerheid in de emissie vanuit de Noordzee naar de atmosfeer is navenant. De opschaling vanuit individuele metingen bij zowel natuurlijke als antropogene bronnen naar regionale fluxen gaat met grote onzekerheid gepaard. Deze onzekerheid betreft zowel de conceptuele aannames bij het opschalen als de ruimtelijke en temporele representativiteit van de metingen.

Het is op basis van internationaal en nationaal onderzoek bekend dat (biogeen) methaan uit de Noordzeebodem lekt waarvan een deel ook de atmosfeer bereikt. Het gaat hierbij om natuurlijke "seeps" of "mud volcanoes", maar het kan ook gaan om lekkage langs een olie- of gasboorput. Dit laatste is aangetoond voor drie geabandonneerde putten in het Noorse continentale plat (Vielstadte et al., 2017). Sinds jaren 1980 hebben allerhande studies schattingen gemaakt van de methaanfluxen uit de zeebodem naar de Noordzee als ook vanuit de Noordzee naar de atmosfeer. Het is duidelijk dat Noordzeewater regelmatig oververzadigd is met methaan ten opzichte van de atmosfeer. Dit betekent dat de Noordzee op Europese schaal een relevante bron is van methaan naar de atmosfeer. Het is ook duidelijk dat de methaanlekkage bij de blow-out UK22/4b (die plaats vond in 1990), de grootste enkelvoudige bron is van methaan op de Noordzee. Tenslotte is duidelijk dat de Nederlandse situatie ongunstig is met betrekking tot lekkage vanuit de Noordzeebodem richting de atmosfeer omdat de Noordzeebodem in het (zuidelijk deel van) het Nederlandse continentale plat ondiep gelegen is waardoor opborrelende gasbellen gemakkelijk het wateroppervlak bereiken.

Een belangrijke nieuwe schatting van de lekkage langs putten in de Noordzee naar de atmosfeer van 3-17 kt/jaar is recent gepubliceerd door Vielstadte et al. (2017). TNO vindt dat het belangrijk is om stil te staan bij de diverse aannames die Vielstadte et al., 2017 gemaakt hebben in hun berekeningen en de plausibiliteit van deze aannames:

- I. ze veronderstellen dat er alleen lekkage kan optreden als een bright spot doorboord wordt en nemen een flux van 1-4 ton/(jaar.put) aan als uitgangspunt. Ze verwaarlozen de waarneming van 17 ton/jaar als zijnde een niet representatief extreem. Daarbij moet enerzijds opgemerkt worden dat gas chimneys niet ongebruikelijk zijn op seismische profielen en anderzijds het voorkomen van seismic chimneys een aanwijzing is van (natuurlijke) verticale migratie van gas of water. Verder is de waarneming van 4 ton/jaar gedaan bij een put, waarbij geen bright spot was waargenomen maar wel seismische storing in het seismisch profiel.
- II. ze veronderstellen dat deze vorm van lekkage optreedt bij één op de drie olie- of gasputten op de Noordzee. Ze veronderstellen hierbij dat één op de drie putten een bright spot doorboord, zoals ze dat afleiden voor een deel van het Noorse gebied waar olie en gas gewonnen worden. Deze aanname heeft grote implicaties en verdient nadere onderbouwing.
- III. ze veronderstellen dat er altijd lekkage optreedt naar de zeebodem als een bright spot doorboord wordt. Dit is de vraag want het is denkbaar dat er plastische kleilagen aanwezig zijn tussen de bright spot en de zeebodem waarin geen

- permanente scheuren of breuken kunnen ontstaan waardoor geen continue, verticale migratie van gas mogelijk is. Het feit dat ondiepe bright spots bestaan geeft aan dat hierboven slecht- of ondoorlatende lagen voorkomen, die meestal van Kenozoische ouderdom zijn. Zoutlagen zullen meestal geen rol spelen als caprock en het zal vaak om kleilagen gaan.
- IV. ze veronderstellen dat oxidatie van methaan in de zeebodem verwaarloosbaar is. Deze aannames zijn niet vanzelfsprekend want bacteriematten zijn waargenomen op plekken met zowel natuurlijke als antropogeen veroorzaakte methaanlekkage (Vielstadte et al., 2015). Het gaat hier om bacteriepopulaties die sulfaat en methaan kunnen oxideren.

3.6 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de Monster-02 putlekkage en voor het uitvoeren van een meer nauwkeurigere inschatting van de trefkans en risico's van lekkages van olie/gasputten in Nederland, is de bepaling van de oorzaak van de lekkage nodig. Daarvoor is de analyse van informatie zoals putconfiguratie, putleeftijd, gebruik, onderhoud, aanwezigheid van corrosieve stoffen en geologie van het ondergrond nodig.

De status van o.a. "geabandonneerd" en "closed-in" putten geeft soms geen volledig en accuraat beeld over de mate van ontmanteling. Het stellen van een standaard en eenduidige definitie voor alle putstatus codes wordt aanbevolen die vervolgens door alle operators wordt gebruikt.

Het verdient aanbeveling om meer putlocaties te controleren op potentiële lekkage aan het maaiveld. Voor de detectie van lekkende putten en de tijdige implementatie van maatregelen is het een systematische en langetermijn-controle nodig voor zowel actieve als buiten gebruik gestelde boorputlocaties. De oudste putlocaties en in de meest dichtbevolkte gebieden zouden ook in zo'n studie meegenomen moeten worden. Gezien de leeftijd, zijn in principe oudere putten het meest gevoelig voor integriteitsproblemen vanwege het feit dat de resterende ondergrondse boorputinfrastructuur in de loop van de tijd verslechtert, en zijn waarschijnlijk verouderde boorputontwerpen en abandonneringstechnieken/materialen gebruikt. Daarnaast verdienen ook de reservoirs waar de oorspronkelijke aardgassamenstelling corrosieve stoffen bevatte (bijv. H₂S) extra aandacht, want de aanwezigheid van zulke stoffen zou de integriteitsproblemen van de geabandonneerde putten kunnen versnellen/verergeren. Het is waarschijnlijk dat er in een klein aantal putten boorputafwijkingen optreden met navenant bijbehorende veiligheids- en milieurisico's. Het is daarom belangrijk dat de juiste vorm van monitoring geïmplementeerd wordt om problemen met verouderde en buiten gebruik gestelde putten te minimaliseren en tijdig te identificeren.

Omdat in de komende decennia veel putten in Nederland zullen worden geabandonneerd, is het van belang om de kans op methaanemissie door integriteitsproblemen te minimaliseren.

Om beter inzicht te krijgen in de methaanlekkage in het Nederlandse deel van de Noordzee is het essentieel om metingen aangevuld met berekeningen te verrichten. Het zou hierbij moeten gaan om representatieve metingen en berekeningen van:

- de natuurlijke lekkage uit de Noordzeebodem.
- de potentiële antropogene lekkage bij geabandonneerde en in productie zijnde offshore putten.
- de emissie naar de atmosfeer.
- de rol van microbiële oxidatie op de zeebodem en in Noordzeewater.
- de laterale aan- en afvoer van en naar andere delen van de Noordzee.

4 Referenties

4.1 Referenties Hoofdstuk 2

- Allen, D.T. (2014). Methane emissions from natural gas production and use: reconciling bottom-up and top-down measurements. *Current Opinion in Chemical Engineering* (5), 78-83.
- Alvarez, R. A., Zavala-Araiza, D., Lyon, D. R., Allen, D. T., Barkley, Z. R., Brandt, A. R., & Kort, E. A. (2018). Assessment of methane emissions from the US oil and gas supply chain. *Science*, eaar7204.
- Anderson, K., Broderick, J. (2017). Natural gas and climate change in relation to the EU Carbon Budget. Beschikbaar: www.foeeurope.org/sites/default/files/extractive_industries/2017/natural_gas_and_climate_change_anderson_broderick_october2017.pdf
- BGR (2009). Energy resources in Germany. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. Beschikbaar: www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/Downloads/Energierohstoffe_2009_Teil_3_en.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Brandt, A.R., Heath, G.A., Kort, E.A., O'Sullivan, F., Pétron, G., Jordaan, S.M., Tans, P., Wilcox, J., Gopstein, A.M., Arent, D., Wofsy, S., Brown, N.J., Bradley, R., Stucky, G.D., Eardley, D., Harriss, R. (2014). Methane Leaks from North American Natural Gas Systems. *Science* 14 Feb 2014, Vol. 343, Issue 6172, 733-735. doi: 10.1126/science.1247045.
- Brown, P. et al. (2017). UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2015. Ricardo Energy & Environment, Didcot.
- Coenen, P.W.H.G., van der Maas, C.W.M., Zijlema, P.J., Arets, E.J.M.M., Baas, K., van den Berghe, A.C.W.M., van Huis, E.P., Geilenkirchen, G., Hoogsteen, M., Spijker, J., te Molder, R., Dröge, R., Montfoort, J.A., Peek, C.J., Vonk, J., Oude Voshaar, S., Dellaert, S.N.C. (2017). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2015: National Inventory Report 2017. RIVM, Bilthoven, RIVM Rapport 2017-003, 2017.
- Dalsoren, S.B., Myhre, C.L., Myhre, G., Gomez-Pelaez, A.J., Søvde, O.A., Isaksen, I.S.A., Weiss, R.F., Harth, C.M. (2016). Atmospheric methane evolution the last 40 years. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(5), 3099-3126. doi:10.5194/acp-16-3099-2016.
- DCE (2017). Denmark's National Inventory Report 2017. Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University, Aarhus.
- Dodds, P.E., McDowall, W. (2012). A review of hydrogen delivery technologies for energy system models. UCL Energy Institute, London.
- EEA (2017). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990 – 2015 and inventory report 2017. European Environment Agency, Copenhagen.
- Emissieregistratie (2018). Emissieregistratie website. Beschikbaar: <http://emissieregistratie.nl/>. Bezocht 30 september 2017.
- Energinet (2017). Security of gas supply 2017. Energinet Denmark, Fredericia. Beschikbaar: <https://en.energinet.dk/About-our-reports/Reports/Security-of-Electricity-Supply-Report-2017>.
- ENS (2018). Monthly energy statistics. Danish Energy Agency, Copenhagen. Beschikbaar: <https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics>
- Eurostat (2018). Simplified energy balances, annual data. Beschikbaar: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_100a&lang=en. Bezocht 21 februari 2018.
- Financieel Dagblad (fd) (2016). Opvallend lage methaanemissie in Nederlandse olie- en gassector. Krantentitel: Nieuw onderzoek naar methaanlekages. 3 juli 2016.
- Gasunie (2017). Jaarverslag 2017. NV Nederlandse Gasunie, 17 maart 2017; pp 224.

- Höglund-Isaksson, L. (2012). Global anthropogenic methane emissions 2005–2030: technical mitigation potentials and costs. *Atmos. Chem. Phys.* (12), 9079–9096.
- Hovland, M., Sigmund, J., Fichler, C. (2012). Methane and minor oil macro-seep systems — Their complexity and environmental significance. *Marine Geology* 332-334, pp. 163-173.
- IEA (2014). Energy Supply Security 2014: Norway. Beschikbaar: www.iea.org/media/freepublications/security/EnergySupplySecurity2014_Norway.pdf
- IPCC (1996). Second Assessment Report, Climate Change 1995, Report of Working Group I: The Science of Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. TS2.5 Net Global Radiative Forcing, Global Warming Potentials and Patterns of Forcing. Cambridge University Press, New York.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Cambridge University Press, New York.
- Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., Bergamaschi, P., Pagliari, V., Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W., van Aardenne, J.A., Monni, S., Doering, U., and Petrescu, A.M.R. (2017). EDGAR v4.3.2 Global Atlas of the three major Greenhouse Gas Emissions for the period 1970–2012. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* <https://doi.org/10.5194/essd-2017-79>, in review, 2017.
- Jaynes, E.T. (2003). Probability Theory, the logic of science. Chapter 6, Cambridge Press 2003, pp 727.
- Kang, M., Christian, S., Celia, M.A., Mauzerall, D.L., Bill, M., Miller, A.R., Chen, Y., Conrad, M.E., Darrah, T.H., Jackson, R.B. (2016). Identification and characterization of high methane-emitting abandoned oil and gas wells. *PNAS* 2016 November, 113 (48) 13636-13641. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605913113>
- Karion, A., Sweeney, C., Pétron, G., Frost, G., Hardesty, R.M., Kofler, J., Miller, B.R., Newberger, T., Wolter, S., Banta, R. et al. (2013). Methane emissions estimate from airborne measurements over a western United States natural gas field. *Geophys Res Lett*, 40 (2013), pp. 1-5, 10.1002/grl.50811.
- KIWA (2016). Methaanemissie door gasdistributie. KIWA, Apeldoorn. Rapport GT-1600962016.
- Larsen, K. M. Delgado, P. Marsters (2015). Untapped Potential. Reducing Global Methane Emissions from Oil and Natural Gas Systems, Rhodium group, April 2015. <https://rhg.com/research/untapped-potential-reducing-global-methane-emissions-from-oil-and-natural-gas-systems/>.
- Ministerie Economische Zaken (MEZ) (1994). Intentieverklaring Uitvoering Milieubeleid Olie- en Gaswinningindustrie (convenant), ondertekend door het Ministerie van EZ (incl. SodM), - VROM, - V&W en NOGEPa, waarin gedurende vier BMP perioden uitvoering is gegeven aan veel milieuverbeterprojecten.
- NEA (2017). Greenhouse Gas Emissions 1990 – 2015, National Inventory Report. Norwegian Environment Agency, Oslo.
- Netbeheer Nederland (2017). Methaanemissie door Gasdistributie. Rapportage over 2016 volgens het monitoringsprotocol methaanemissie gasdistributie. KIWA N.V., 18 mei 2017, pp 11.
- Nisbet, E.G., Dlugokencky, E.J., Bousquet, P. (2014). Methane on the Rise - Again. *Science* 31 Jan 2014, Vol. 343, Issue 6170, pp. 493-495, doi: 10.1126/science.1247828.
- Nisbet, E.G. et al. (2016). Rising atmospheric methane: 2007-2014 growth and isotopic shift. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(9), pp. 1356-1370. doi:10.1002/2016GB005406.

- NLOG (2018a). Productie en injectie data. Beschikbaar: www.nlog.nl/selectiescherm-productie. Bezocht 13 februari 2018.
- NLOG (2018b). Jaarverslagen. Beschikbaar: www.nlog.nl/jaarverslagen. Bezocht 13 februari 2018.
- NOGEPA (2016). Emissiebepaling en rapportage, onderdeel: Emissies naar lucht. Een leidraad voor de E&P industrie in Nederland.. www.onsaardgas.nl/wp-content/uploads/2016/08/Guideline-23-Emissiebepaling-en-Rapportage-Lucht.pdf.
- NOGEPA (2018). Factsheet methaanemissie in de gas sector. <https://kvgn.nl/wp-content/uploads/2018/06/methaanemissie-factsheet-201806.pdf>
- Norsk Petroleum (2018a). The oil and gas pipeline system. Beschikbaar: www.norskpetroleum.no/en/production-and-exports/the-oil-and-gas-pipeline-system/. Bezocht 13 februari 2018.
- Norsk Petroleum (2018b). Oil and gas production. Beschikbaar: www.norskpetroleum.no/en/production-and-exports/oil-and-gas-production/. Bezocht op 15 februari 2018.
- OGA (2018). Oil and gas production data. Oil and Gas Authority, Aberdeen. Beschikbaar: www.ogauthority.co.uk/data-centre/data-downloads-and-publications/production-data/. Bezocht op 15 februari 2018.
- RIVM (2017). Methodology report on the calculation of emissions to air from the sectors energy, industry and waste (Update 2016). RIVM, Bilthoven. RIVM Report 2017-0126. Beschikbaar: <https://english.rvo.nl/sites/default/files/2017/08/ENINA%20Methodology%20on%20the%20calculation%20of%20emissions%20to%20air%20-%20update%202016.pdf>
- Saunois, M., Bousquet, P., Poulter, B., Peregon, A., Ciais, P., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello, F. N., Castaldi, S., Jackson, R. B., Alexe, M., Arora, V. K., Beerling, D. J., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Brovkin, V., Bruhwiler, L., Crevoisier, C., Crill, P., Covey, K., Curry, C., Frankenberg, C., Gedney, N., Höglund-Isaksson, L., Ishizawa, M., Ito, A., Joos, F., Kim, H.-S., Kleinen, T., Krummel, P., Lamarque, J.-F., Langenfelds, R., Locatelli, R., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., Marshall, J., Melton, J. R., Morino, I., Naik, V., O'Doherty, S., Parmentier, F.-J. W., Patra, P. K., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Pison, I., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Riley, W. J., Saito, M., Santini, M., Schroeder, R., Simpson, I. J., Spahni, R., Steele, P., Takizawa, A., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Viovy, N., Voulgarakis, A., van Weele, M., van der Werf, G. R., Weiss, R., Wiedinmyer, C., Wilton, D. J., Wiltshire, A., Worthy, D., Wunch, D., Xu, X., Yoshida, Y., Zhang, B., Zhang, Z., and Zhu, Q. (2016). The global methane budget 2000–2012. *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 697–751, <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016>, 2016.
- SodM (2018). Veilig gastransport. Staatstoezicht op de Mijnen. Beschikbaar: www.sodm.nl/onderwerpen/veilig-gastransport. Bezocht op 15 februari 2018.
- UBA (2017). National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2015. Umweltbundesamt, Dessau.
- UNFCCC (2012). Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011: Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session. UNFCCC, Bonn.
- Worden, J. R., Bloom, A. A., Pandey, S., Jiang, Z., Worden, H. M., Walker, T. W., Houweling, S. & Röckmann, T. (2017). Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget. *Nature communications*, 8(1), 2227.
- Yacovitch, T., B. Neininger, S. Herndon, H. Denier van der Gon, S. Jonkers, J. Hulskotte, J. Roscioli, and D. Zavala-Araiza., Methane Emissions in the Netherlands: The Groningen Field, *Elem Sci Anth*, 6: 57. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.308>, 2018

- Zavala-Araiza, D., Alvarez, R.A., Lyon, D.R., Allen, D.T., Marchese, A.J., Zimmerle, D.J., & Hamburg, S.P. (2017). Super-emitters in natural gas infrastructure are caused by abnormal process conditions. *Nat. Commun.*, 8, 14012.
- Zavala-Araiza, D., Lyon, D.R., Alvarez, R.A., Palacios, V., Harriss, R., Lan, X. & Hamburg, S.P. (2015). Toward a functional definition of methane super-emitters: Application to natural gas production sites. *Environmental science & technology*, 49(13), 8167-8174.

4.2 Referenties Hoofdstuk 3

- AD (2017). Bouw bij Molenslag vertraagd door gas. Algemeen Dagblad, redactie, 27-10-17.
- Bange, H.W., Bartell, U.H., Rapsomanikis, S. & Andreae, M.O. (1994). Methane in the Baltic and North Seas and a reassessment of the marine emissions of methane. *Global Biogeochemical Cycles* (8), 465-480.
- Blaas, M., Kerkhoven, D. & De Swart, H.E. (2001). Large-scale circulation and flushing characteristics of the North Sea under various climate forcings. *Clim. Res.* (18), 47-54.
- Boothroyd, L.M., Almond, S., Qassim, S.M., Worrall, F. & Davies, R.J. (2016). Fugitive emissions of methane from abandoned, decommissioned oil and gas wells. *Sci. Total Environ.* (547), 461-469.
- Borges, A. V., Champenois, W., Gypens, N., Delille, B., Harlay, J. (2016). Massive marine methane emissions from near-shore shallow coastal areas. *Scientific Reports* 6, Article number: 27908. Doi: 10.1038/srep27908.
- Cardon de Lichtbuer, G. (2017). Methane leakage from abandoned gas wells in the Netherlands, reality or fiction? MSc thesis, Utrecht University, 74 pp.
- Chen, Y., Ussler III, W., Hafliðason, H., Lepland, A., Rise, L., Hovland, M. & Hjelstuen, B.O. (2010). Sources of methane inferred from pore-water $\delta^{13}\text{C}$ of dissolved inorganic carbon in Pockmark G11, offshore Mid-Norway. *Chem. Geol.* (275), 127-138.
- Damm, E., Mackensen, A., Budeus, G., Faber, E. & Hanfland, C. (2005). Pathways of methane in seawater: Plume spreading in an Arctic shelf environment (SW-Spitsbergen). *Cont. Shelf Res.* (25), 1453-1472.
- Davies, R.J., Almond, S., Ward, R.S., Jackson, R.B., Adams, C., Worrall, F., Herringshaw, L.G., Gluyas, J.G. & Whiteshead, M.A. (2014). Oil and gas wells and their integrity: Implications for shale and unconventional resource exploitation. *Marine Petrol. Geol.* (56), 239-254.
- De Angelis, M.A., Lilley, M.D., Oldon, E.J. & Baross, J.A. (1993). Methane oxidation in deep-sea hydrothermal plumes of the Endeavour Segment of the Juan de Fuca Ridge. *Deep-Sea Res.* (40), 1169-1186.
- De Jager, J., Geluk, M.C. (2007). Petroleum geology. In: Wong, Th. E., Batjes, D.A.J., De Jager, J. (Eds), *Geology of the Netherlands*. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (Amsterdam), pp. 241-264.
- EBN (2009). Shallow gas. Bright opportunities in the Dutch offshore. www.ebn.nl/wp-content/uploads/2016/12/DE-DAY_Poster_EBN_Shallow-Gas.pdf
- ECN (2017). Methaan emissiemetingen aan buiten gebruik gestelde olie- en gaswinningsputten. ECN, rapportno. ECN-E-18-032, 55 pp.
- Gerilowski, K., Krings, T., Hartmann, J., Buchwitz, M., Sachs, T., Erzinger, J., Burrows, J.P. & Bovensmann, H. (2015). Atmospheric remote sensing constraints on direct sea-air methane flux from the 22/4b North Sea massive blowout bubble plume. *Marine Petrol. Geol.* (68), 824-835.
- Hovland, M., Judd, A.G. & Burke, R.A. (1993). The global flux of methane from shallow submarine sediments. *Chemosphere* (26), 559-578.
- Hovland, M. (2007). Discovery of prolific natural methane seeps at Gullfaks, northern North Sea. *Geo-Mar Lett* (27), 197-201.
- Hovland, M., Jensen, S. & Fichler, C. (2012). Methane and minor oil macro-seep systems – Their complexity and environmental significance. *Marine Geol.* (332-334), 63-173.
- Judd, A., Davies, G., Wilson, J., Holmes, R., Baron, G. & Bryden, I. (1997). Contributions to atmospheric methane by natural seepages on the UK continental shelf. *Marine Geol.* (137), 165-189.
- Judd, A. & Hovland, M. (2007). Pockmarks, shallow gas, and seeps: an initial appraisal. In "Seabed Fluid Flow. The impact on geology, biology and the marine environment", eds. A. Judd & M. Hovland. Cambridge Univ. Press, p. 7-44.
- Judd, A. (2015). The significance of the 22/4b blow-out site methane emissions in the context of the North Sea. *Marine Petrol. Geol.* (68), 836-847.

- King, G.E. & King, D.E. (2013). Environmental risk arising from well-construction failure – Differences between barrier failure and well failure, and estimates of failure frequency across common well types, locations, and well age. *SPE Productions & Operations* (november 2013), 323-344.
- Kang, M., Christian, S., Celia, M.A., Mauzerall, D.L., Bill, M., Miller, A.R., Chen, Y., Conrad, M.E., Darrah, T.H. & Jackson, R.B. (2016). Identification and characterization of high methane-emitting abandoned oil and gas wells. *Proc. Nat. Acad. Sci.* (113), 13636-13641.
- Leifer, I. (2015). Seabed bubble flux estimation by calibrated video survey for a large blowout seep in the North Sea. *Marine Petrol. Geol.* (68), 743-752.
- Leifer, I. & Judd, A. (2015). The UK22/4b blowout 20 years on: Investigations of continuing methane emissions from sub-seabed to the atmosphere in a North Sea context. *Marine Petrol. Geol.* (68), 706-717.
- NAM (1994). Rijkswijk-18. Tophole incident PT101, 7 september 1994. NAM rapportno 26807, 48 pp (aanwezig op nlog.nl)
- Mau, S., Gentz, T., Korber, J.-H., Torres, M.E., Romer, M., Sahling, H., Wintersteller, P., Martinez, R., Schluter, M. & Helmke, E. (2015). Seasonal methane accumulation and release from a gas emission site in the central North Sea. *Biogeosciences* (12), 5261-7276.
- Prandle, D. (1984). A modelling study of the mixing of ^{137}Cs in the seas of the European continental shelf. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* (310), 407-436.
- Rehder, G., Keir, R.S. & Pohlmann, T. (1998). The multiple sources and patterns of methane in North Sea Waters. *Aq. Geochem.* (4), 403-427.
- Romer, M., Wenau, S., Mau, S., Veloso, M., Greinert, J., Schluter, M. & Bohrmann, G. (2015). Assessing marine gas emission activity and contribution to the atmospheric methane inventory: A multidisciplinary approach from the Dutch Dogger Bank seep area (North Sea). *Geochem., Geophys., Geosyst.*, 10.1002/2017GC006995.
- Schneider von Deimling, J., Linke, P., Schmidt, M. & Rehder, G. (2015). Ongoing methane discharge at well site 22/4b (North Sea) and discovery of a spiral vortex bubble plume motion. *Marine Petrol. Geol.* (68), 718-730.
- Schout, G., Hartog, N., Hassanizadeh, S.M. & Griffioen, J. (2018a). The impact of an historic gas well blowout on the current methane chemistry in a shallow groundwater system. *Proc. Nat. Acad. Sci* (115), 296-301.
- Schout, G., Cardon de Lichtbuer, G., Hartog, N., Hassanizadeh, M.J. & Griffioen, J. (2018b). Assessing methane leakage from cut and buried abandoned gas wells in the Netherlands: fluxes, sources and oxidation (tentative title). Publicatie in voorbereiding.
- Schroot, B.M., Klaver, G. & Schuttenhelm, R.T.E. (2005). Surface and subsurface expressions of gas seepage to the seabed – examples from the Southern North Sea. *Marine Petrol. Geol.* (22), 499-515.
- Scranton, M.I. & McShane, K. (1991). Methane fluxes in the southern North Sea: the role of European rivers. *Cont. Shelf Res.* (11), 37-52.
- SodM (2008). Jaarverslag 2008 Staatstoezicht op de Mijnen. 80pp.
- Tizzard, L. (2008). The Contribution to Atmospheric Methane from Sub-seabed Sources in the UK Continental Shelf. PhD-thesis, University of Newcastle upon Tyne, UK.
- Upstill-Goddard, R.C., Barnes, J., Frost, T., Punshon, S. & Owens, N.J.P. (2000). Methane in the southern North Sea: Low-salinity inputs, estuarine removal, and atmospheric flux. *Global Biogeo. Cycles* (14), 1205-1217.
- Upstill-Goddard, R.C. & Barnes, J. (2016). Methane emissions from UK estuaries: Re-evaluating the estuarine source of tropospheric methane from Europe. *Marine Chem.* (180), 14-23.
- Valentine, D.L., Blanton, D.C., Reeburgh, W.S. & Kastner, M. (2001). Water column methane oxidation adjacent to an area of active hydrate dissociation, Eel River Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta* (65), 2633-2640.
- Vielstadte, L., Karstens, J., Haeckel, M., Schmidt, M., Linke, P., Reimann, S., Liebetrau, V., McGinnis, D.F. & Wallmann, K. (2015). Quantification of methane

- emissions at abandoned gas wells in the Central North Sea. *Marine Petrol. Geol.* (68), 848-860.
- Vielstadte, L., Haeckel, M., Karstens, J., Linke, P., Schmidt, M., Steinle, L. & Wallmann, K. (2017). Shallow gas migration along hydrocarbon wells – An unconsidered, anthropogenic source of biogenic methane in the North Sea. *Env. Sci. Technol.* (51), 10262-10268.
- Vignes, B., (2011). Contribution to well integrity and increased focus on well barriers from a life-cycle aspects (PhD thesis). University of Stavanger.

4.3 Referentie bijlagen

- IPCC, 2006: '2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

5 Bijlagen

Tabel 5-1 geeft de Nederlandse aardgasproductie en aardolieproductie in 2015.

Tabel 5-1 Nederlandse Aardgasproductie en aardolieproductie in 2015

AARDGASPRODUCTIE in miljoen Nm3				
Territoir		Continentaal plat	Totaal	% NCP
35 640		14 049	49 689	28%
AARDOLIEPRODUCTIE in 1000 Sm3				
Schoonebeek	Rijswijk & Botlek	Continentaal plat	Totaal	% NCP
214.4	134.8	1 307	1 656.2	79%

In Tabel 5-2 staat de jaarlijkse hoeveelheid geproduceerd olie en gas per operator in Nederland over de periode 2010 – 2015. De gegevens komen uit NLOG en zijn omgerekend naar kilotonnen (NLOG, 2018a).

Tabel 5-2 Geproduceerd olie- en gas per operator in Nederland³².

Bedrijf	Geproduceerd											
	Gas (kt)						Olie (kt)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Centrica Production Nederland B.V.	70	424	487	478	442	256	-	-	-	-	-	-
Dana Petroleum Netherlands B.V.	119	106	240	331	346	296	606	435	518	373	351	321
ENGIE E&P Nederland B.V.	5.126	4.785	5.075	4.992	4.571	4.148	75	79	72	59	472	675
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.	54.076	49.245	49.051	54.032	43.428	30.809	255	384	399	550	616	318
Oranje-Nassau Energie B.V.	376	330	274	296	332	548	-	-	-	-	-	-
Petrogas E&P Netherlands B.V.	830	740	1.040	1.025	990	802	147	124	124	115	129	121
TAQA Energy B.V.	497	408	347	371	273	242	18	75	33	39	32	41
Total E&P Nederland B.V.	4.023	3.637	3.087	3.264	2.833	2.656	-	-	-	-	-	-
Tulip Oil Netherlands B.V.	-	-	-	-	-	53	-	-	-	-	-	-
Vermilion Energy Netherlands B.V.	458	525	575	580	590	633	-	-	-	-	-	-
Wintershall Noordzee B.V.	2.577	2.094	1.801	1.473	1.352	1.385	54	58	58	60	47	31
Totaal	68.151	65.931	65.066	70.106	57.990	44.431	1.155	1.155	1.204	1.195	1.647	1.507

32

³² Bij het omrekenen van de geproduceerde aardgas volumes (Sm³) naar Mt is de conversiefactor 0,82 kg/Sm³ toegepast. Deze conversiefactor is ingeschat op basis van de gemiddelde gassamenstelling uit alle kleine velden in Nederland (bron: TNO-DINO database). Voor aardgas uit het Groningen veld is een andere conversie factor van 0,78 kg/Sm³ gebruikt. Voor olie is een conversiefactor van 910 kg/Sm³ gebruikt.

Tabel 5-3 toont de hoeveelheid gas die jaarlijks is afgefakkeld per operator. De gegevens komen uit NLOG en zijn omgerekend naar kilotonnen (NLOG, 2018a). Aan de rechterkant van de tabel staan het percentage gas dat is afgefakkeld. Dit is berekend door de hoeveelheid afgefakkeld gas te delen door de olie- en gasproductie.

Tabel 5-3 Hoeveelheid afgefakkeld gas per operator³³.

	Afgefakkeld gas											
	Gas (kt)						Percentage afgefakkeld					
Bedrijf	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Centrica Production Nederland B.V.	1.08	0.83	1.08	0.94	0.85	1.23	1.549%	0.196%	0.222%	0.196%	0.193%	0.482%
Dana Petroleum Netherlands B.V.	1.62	1.96	3.93	4.13	2.15	3.44	0.224%	0.362%	0.518%	0.588%	0.308%	0.557%
ENGIE E&P Nederland B.V.	0.57	0.18	0.40	0.25	0.52	0.14	0.011%	0.004%	0.008%	0.005%	0.010%	0.003%
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.	26.25	38.17	32.59	26.73	43.87	34.12	0.048%	0.077%	0.066%	0.049%	0.100%	0.110%
Oranje-Nassau Energie B.V.	0.22	0.18	0.11	0.28	0.26	0.13	0.058%	0.053%	0.040%	0.094%	0.077%	0.024%
Petrogas E&P Netherlands B.V.	1.95	1.64	1.29	0.92	0.71	0.22	0.199%	0.190%	0.111%	0.081%	0.063%	0.023%
TAQA Energy B.V.	1.86	49.15	0.28	0.59	0.84	0.58	0.362%	10.168%	0.074%	0.145%	0.275%	0.203%
Total E&P Nederland B.V.	0.36	0.24	0.34	0.27	0.23	0.28	0.009%	0.007%	0.011%	0.008%	0.008%	0.010%
Tulip Oil Netherlands B.V.	-	-	-	-	-	-						0%
Vermilion Energy Netherlands B.V.	0.14	0.12	0.11	0.13	0.15	0.16	0.029%	0.023%	0.020%	0.022%	0.026%	0.025%
Wintershall Noordzee B.V.	1.17	0.97	0.96	1.21	0.53	0.06	0.045%	0.045%	0.052%	0.079%	0.038%	0.004%
Totaal	35.22	93.44	41.09	35.46	50.10	40.35	0.051%	0.147%	0.065%	0.052%	0.088%	0.093%

³³ Zie conversiefactoren in voetnoot 32

In Tabel 5-4 staan de methaanemissies zoals gerapporteerd door de verschillende olie- en gasproducenten die in Nederland opereren. Deze gegevens zijn afkomstig uit de brief van minister Kamp aan de Tweede Kamer van datum 4 Januari 2017 (Kamp, 2017). Aan de rechterkant van de tabel staan berekende afgeleide emissiefactoren per operator. Deze zijn berekend door de methaanemissie te delen door de olie- en gasproductie.

Tabel 5-4 Methaanemissies in kilogram, gerapporteerd door producenten voor Nederland (onshore en offshore) en afgeleide methaan-emissiefactor. (Bron i) Methaanemissies: Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2017: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32849-99.html>); ii) Productie data: (www.nlog.nl).

Bedrijf	Methaanemissie (kg)			Afgeleide emissiefactor (kg CH ₄ / kt)		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Centrica Production Nederland B.V.	561.000	662.300	878.300	1.173	1.498	3.430
Dana Petroleum Netherlands BV	130.600	121.100	33.670	186	174	55
ENGIE E&P Nederland B.V.	2.433.000	2.139.000	1.902.000	482	424	394
Nederlandse Aardolie Maatschappij BV	5.954.000	5.812.000	6.437.000	109	132	207
Oranje-Nassau Energie BV	52.090	167.000	81.690	176	503	149
Petrogas E&P Netherlands BV	1.474.000	907.100	325.600	1.293	811	353
TAQA Energy B.V.	1.248.000	1.070.000	1.195.000	3.041	3.514	4.218
Total E&P Nederland b.v.	1.909.000	1.919.000	1.968.000	585	677	741
Tulip Oil Netherlands B.V.	-	-	4.000	-	-	1
Vermilion Oil & Gas Netherlands BV	334.000	329.700	354.500	576	559	560
Wintershall Noordzee B.V.	636.800	1.291.000	1.060.000	415	923	749
Totaal	14.732.490	14.418.200	14.239.760			

Tabel 5-5 laat de 'default' methaanemissiefactoren zien zoals gepubliceerd door het IPCC (IPCC, 2006). Wanneer landen geen land-specifieke emissiefactoren voorhanden hebben, dienen deze 'default' factoren gebruikt te worden voor rapportages onder het klimaatverdrag.

Tabel 5-5 IPCC TIER 1 emissiefactoren methaan olie- en gassector, ontwikkelde landen.

Categorie	Emissiebron	standaardwaarde	Eenheid
Gasproductie	Diffuus	3.8 E-4 - 2.3 E-3	kt / 1E6 m ³ gasproductie
	Affakkelen	7.6 E-7	kt / 1E6 m ³ gasproductie
Gasverwerking	Diffuus	1.5 E-4 - 10.3 E-4	kt / 1E6 m ³ gasaanvoer
	Affakkelen	2.0 E-6	kt / 1E6 m ³ gasaanvoer
Gastransport	Diffuus	6.6 E-5 - 4.8 E-4	kt / 1E6 m ³ verkoopbaar gas
	Afblazen	4.4 E-5 - 3.2 E-4	kt / 1E6 m ³ verkoopbaar gas
Gasopslag	Alle	2.5 E-5	kt / 1E6 m ³ verkoopbaar gas
Gasdistributie	Alle	1.1 E-3	kt / 1E6 m ³ gasverkoop utiliteiten
Olieproductie	Diffuus (onshore)	1.5 E-6 - 3.6 E-3	kt / 1E3 m ³ olieproductie
	Diffuus (offshore)	5.9 E-7	kt / 1E3 m ³ olieproductie
	Afblazen	7.2 E-4	kt / 1E3 m ³ olieproductie
	Affakkelen	2.5 E-5	kt / 1E3 m ³ olieproductie
Olietransport (pijpleiding)	Alle	5.4 E-6	kt / 1E3 m ³ olie getransporteerd

6 Ondertekening

Utrecht, 27 september 2018

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'John Zegwaard', written in a cursive style.

John Zegwaard
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken