

TNO PUBLIEK

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nlT +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75**TNO-rapport****TNO2022_R10902****Methaanmetingen aan geabandonneerde
putten in het IJsselmonde veld in
november/december 2021**

Datum	20 juni 2022
Auteur(s)	██████████
Exemplaarnummer	1
Oplage	1.1
Aantal pagina's	137 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Staatstoezicht op de Mijnen
Projectnaam	Methaanemissies verlaten putten NL onshore
Projectnummer	060.51942

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.

© 2022 TNO

TNO PUBLIEK

Samenvatting

Eind 2020 en begin 2021 zijn door NAM en de gemeente Rotterdam verhoogde methaanconcentraties geconstateerd aan de bodem op vier voormalige winningslocaties voor olie en gas in het IJsselmondegebied, te weten Dwarsdijk West, Dwarsdijk Oost, Noorderhelling West en Noorderhelling Oost.

Naar aanleiding van deze bevindingen heeft TNO in juni 2021, in opdracht van SodM, metingen verricht op deze vier locaties. Vervolgens heeft TNO in november/december 2021 aanvullende metingen verricht op deze vier locaties, als mede een aantal referentiemetingen aan grondwaterputten en metingen in de bodem in het gebied. Het doel van de metingen is om vast te stellen of er sprake is van een methaanflux uit de bodem op deze locaties, en als dit het geval is, wat de oorsprong is van dit methaan (thermogeen of biogeen). Hiertoe zijn tijdens de meetcampagne gelijktijdige metingen van methaan- en ethaanconcentraties uitgevoerd en zijn gasmonsters genomen voor analyse van gassamenstelling en de isotopensignatuur. De aanpak is afgestemd met SodM en vooraf gepresenteerd aan de overige betrokken partijen (gemeente Rotterdam, NAM en RHDHV). Nader onderzoek naar de mogelijke gevolgen voor veiligheid, gezondheid of milieu is geen onderdeel van deze studie.

Op basis van de uitgevoerde metingen en gasmonsternames, kan worden vastgesteld dat op alle voormalige winningslocaties, als mede op de verschillende referentielocaties, sprake is van een methaanflux uit de bodem. Hierbij is de methaanflux op de referentielocaties van dezelfde orde grootte als op de voormalige winningslocaties, met waarden tussen de 10 en 60 ml/m²/uur. Uitzondering hierop zijn twee boxmetingen uitgevoerd op Noorderhelling Oost op 3 november, één dag na het verwijderen van stukken uit het asfalt. Hier worden methaanfluxen van 190 tot 560 ml/m²/uur gemeten. Noorderhelling Oost is ook de enige locatie waar de methaanfluxen uit de bodem nabij de putlocaties duidelijk hoger zijn dan verder weg van de putlocaties. Boxmetingen boven drainagelinten (Dwarsdijk West en Dwarsdijk Oost) laten geen hogere concentratie/flux zien dan op andere plekken op de bodem.

Tijdens de boxmetingen wordt ook de ethaanconcentratie bepaald. De ethaan/methaanratio's zijn overwegend laag (gemiddeld 0.02%), veel lager bijvoorbeeld dan bij typisch Gronings aardgas (~3%). Echter, een beperkt aantal beschikbare analyses van gas uit reservoirs in het IJsselmonde gebied laat zien dat het ethaangehalte in de ondiepe reservoirs ook laag kan zijn. Omdat ethaan in kleine hoeveelheden ook microbiëel gevormd kan worden, zijn de lage ethaan/methaanratio's geen overtuigend bewijs om de aanwezigheid van thermogeen gas aan te tonen, noch de aanwezigheid hiervan uit te sluiten. Evenwel is het vrijwel uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put, zoals bij Monster het geval was) van gas uit een reservoir met een hoger ethaangehalte (>1%).

Naast boxmetingen is een groot aantal gasmonsters genomen, zowel uit de meetbox op de bodem, uit aanwezige peilbuizen, grondwaterputten en ventilatiekanaal. De gascompositie van deze gasmonsters laat een consistent beeld zien; een verhoogde methaanconcentratie, niet of nauwelijks aanwezigheid van ethaan of hogere alkanen, geen aanwezigheid van H₂S, en verder een compositie die overeenkomt met buitenlucht.

Uit de isotopensignaturen van de geanalyseerde gasmonsters komt hier een gevarieerd beeld uit naar voren. Vrijwel alle gasmonsters die zijn verzameld uit de meetbox welke op de bodem (in de meeste gevallen boven een vers, met de handboor geboord, boorgat) is geplaatst, zijn hoofdzakelijk van biogene herkomst. Alleen twee gasmonsters genomen boven de putten IJS-23 (Noorderhelling Oost) en IJS-20 (Dwarsdijk Oost) bestaan uit een mengsel van gas van biogene- en thermogene herkomst. De gasmonsters verzameld op de referentielocaties (uit de bodem in het park, en uit een grondwaterput) zijn allen grotendeels van biogene herkomst.

De gasmonsters genomen uit de aanwezige peilbuizen wijken in isotopensignatuur vaak af van de gasmonsters uit de bodem. Op Dwarsdijk Oost hebben de gasmonsters uit peilbuizen P1201 en P1203 een duidelijke thermogene signatuur. Ook enkele gasmonsters uit peilbuizen P005 en P006 hebben een deels thermogene herkomst. Op Dwarsdijk West worden afwijkende isotopenwaarden gevonden bij peilbuis P001A, die grotendeels verklaard kunnen worden door methaanoxidatie. Ook in P002A wordt een afwijkend isotopensignatuur gevonden, waarschijnlijk is hier sprake van een mix van biogeen en thermogeen gas. De overige peilbuizen bevatten gas van overwegend biogene oorsprong. Voor beide locaties aan de Dwarsdijk wordt dan ook geconcludeerd dat er thermogeen gas aanwezig is in de ondiepe bodem, welke niet overtuigend gecorreleerd is met de locatie van de putten. Op locatie Noorderhelling Oost bevatten bijna alle peilbuizen een duidelijke bijdrage van thermogeen gas, hoewel de ethaan/methaanratio's laag zijn. Bij Noorderhelling West is de bodem boven de putten niet bereikbaar, maar zijn gasmonsters verzameld uit drie peilbuizen en uit het ventilatiekanaal dat de ruimte onder het nieuwe Gamma gebouw dient te ontlichten. De twee diepere peilbuizen bevatten gas van deels biogene en deels thermogene oorsprong. Het gas dat onder de Gamma uit de bodem komt, blijkt van hoofdzakelijk biogene oorsprong. De isotopensignatuur van gas uit peilbuis P4.02 wijst erop dat er mogelijk sprake is van bodemverontreiniging. Daarom wordt aanbevolen om een chemische analyse uit te voeren van het grondwater in deze peilbuis. Voor alle vier voormalige winningslocaties geldt dat thermogeen gas dat in sommige peilbuizen wordt aangetoond, nauwelijks een bijdrage levert aan het methaan dat op deze locatie uit de bodem komt, dit is grotendeels gas van biogene oorsprong.

Ondanks een weloverwogen aanpak, high-end meetapparatuur en een groot aantal metingen, kent het huidige onderzoek verschillende beperkingen. Zo wordt het gebied gekenmerkt door zowel een uitgebreide aanwezigheid van biogeen gas in de bodem, en thermogeen gas in ondiepe reservoirs in het gebied. Het detecteren van methaan op zich, ook in peilbuizen, biedt geen uitsluitsel over lekkage gerelateerd aan geabandoneerde putten.

Een belangrijke bevinding is de grote variatie in de methaanfluxen van meetpunt tot meetpunt, en van dag tot dag. Dit toont aan dat lokale processen, lekpaden, en andere omstandigheden zoals het weer, van invloed kunnen zijn op de methaanflux. Waarnemingen op slechts één dag, hetzij relatief hoog of laag, geven geen representatief beeld. Het uitvoeren van meerdere metingen is noodzakelijk om deze variatie in beeld te krijgen en om een bandbreedte van meetwaarden te bepalen. Niet alleen methaanfluxen kennen variatie, ook in de gascompositie en isotopensignatuur zijn soms significante verschillen te zien tussen gasmonsters die op dezelfde plek en wijze zijn genomen, hetzij op verschillende dagen, hetzij duplicaatmetingen op

dezelfde dag. De oorzaak hiervan is niet altijd evident. Bij het interpreteren van individuele gasmonsters geldt dat de isotopensignatuur essentieel is, maar alsnog niet altijd eenduidig. Verschillende processen in de bodem kunnen de isotopensignatuur en samenstelling van gas beïnvloeden. In een deel van de gasmonsters lijkt sprake van een mengsel van biogeen en thermogeen methaan. Aanvullend maakt het gebrek aan informatie over de gassamenstelling en isotopensignatuur van de verschillende (thermogene) aardgasbronnen/reservoirs in de bodem een meer exacte bronbepaling op basis van deze meetgegevens niet mogelijk.

Aanvullende referentiemetingen, met een variatie in o.a. bodemopbouw en ligging ten opzichte van gasreservoirs en putten, zouden kunnen helpen de situatie met betrekking tot de aanwezigheid en herkomst van gas in de bodem in dit gebied beter te duiden. Tot slot zou monitoring van methaanconcentratie op deze locaties kunnen worden ingezet om de variatie in methaanfluxen te onderzoeken en om de kans op onveilige situaties te verkleinen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	6
2 Werkwijze	8
2.1 Putlocaties	8
2.2 Referentielocaties.....	10
2.3 Meetinstrumenten.....	12
2.4 Meetlocaties	12
2.5 Interpretatie metingen.....	13
3 Resultaten	23
3.1 Dwarsdijk Oost	23
3.2 Dwarsdijk West.....	38
3.3 Noorderhelling Oost.....	47
3.4 Noorderhelling West.....	63
3.5 Referentielocaties.....	71
4 Conclusie omtrent aanwezigheid en herkomst methaan bij voormalige winningslocaties Rotterdam	78
5 Discussie	80
6 Literatuur	82
7 Ondertekening	84
8 Appendix A – Meetplan	85
9 Appendix B – Beschrijving meetcampagne	90
9.1 Dwarsdijk Oost – 3 november 2021	90
9.2 Noorderhelling Oost – 3 november 2021.....	93
9.3 Noorderhelling Oost – 30 november 2021.....	96
9.4 Noorderhelling West – 30 november 2021	99
9.5 Referentielocaties – 30 november 2021.....	102
9.6 Aanvullende samples Dwarsdijk – 30 november 2021.....	105
9.7 Dwarsdijk West – 8 december 2021.....	106
9.8 Dwarsdijk Oost – 8 december 2021	109
9.9 Referentielocaties in Park de Twee Heuvels – 8 december 2021	111
10 Appendix C – IJsselmonde olie/gasveld en oorsprong brongas	113
10.1 IJsselmonde olie- en gasveld.....	113
10.2 Put integriteit van de IJsselmonde putten.....	125
10.3 Brongas in West-Nederland en relatie met locatie Dwarsdijk en Noorderhelling ..	126
11 Appendix D – Mogelijke herkomst lage concentraties ethaan in de bodem..	132
12 Appendix E – Overzicht gascompositie en isotopendata uit eerdere/andere meetcampagnes	134

1 Inleiding

Eind 2020 en begin 2021 zijn door de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) en de gemeente Rotterdam verhoogde methaanconcentraties geconstateerd aan de bodem op vier voormalige winningslocaties voor olie en gas in het IJsselmondegebied, te weten Dwarsdijk West, Dwarsdijk Oost, Noorderhelling West en Noorderhelling Oost (Figuur 1). Naar aanleiding van deze bevindingen heeft TNO in juni 2021, in opdracht van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) metingen verricht op deze vier locaties (TNO, 2021c). Vervolgens heeft TNO in november/december 2021 aanvullende metingen verricht op deze vier locaties, als mede een aantal referentiemetingen aan grondwaterputten en metingen in de bodem in het gebied.

Het doel van de metingen is om vast te stellen of er sprake is van een methaanflux uit de bodem op deze locaties, en als dit het geval is, wat de oorsprong is van dit methaangas. Hierbij maken we onderscheid tussen thermogeen en biogeen methaangas. Thermogeen gas, doorgaans aardgas genoemd, ontstaat, bij hoge druk en temperatuur, door omzetting van organisch materiaal. Naast methaan kan aardgas ook hogere koolwaterstoffen bevatten zoals ethaan of propaan. Zo bevat Gronings aardgas naast meer dan 80% methaan, ongeveer 3% ethaan. Biogeen methaangas ontstaat door microbiële afbraak van organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden (methanogenese). Hierbij worden nagenoeg geen andere hogere koolwaterstoffen gevormd (zie Appendix D – Mogelijke herkomst lage concentraties ethaan in de bodem). Dit gas wordt afhankelijk van locatie en gebruik ook wel moerasgas, brongas (zie sectie 10.3) of stortgas (bij vuilstortplaatsen) genoemd en is alle van biogene oorsprong. Om de herkomst van gas te bepalen zijn tijdens de meetcampagne gelijktijdige metingen van methaan- en ethaanconcentraties uitgevoerd en zijn gasmonsters verzameld voor analyse van gassamenstelling en de isotopensignatuur omdat daarmee in theorie een onderscheid gemaakt kan worden tussen thermogeen- en biogeen gas.

De metingen zijn, zo goed als praktisch haalbaar, uitgevoerd volgens de stappen beschreven in de door TNO opgestelde leidraad (TNO, 2021b). De aanpak is afgestemd met SodM en vooraf gepresenteerd aan de overige betrokken partijen (gemeente Rotterdam, NAM en Royal HaskoningDHV (RHDHV)). Nader onderzoek naar de mogelijke gevolgen voor veiligheid, gezondheid of milieu is geen onderdeel van deze studie.

Over de eerste TNO meetcampagne (juni 2021) is reeds gerapporteerd (TNO, 2021c). De huidige rapportage richt zich met name op de tweede meetcampagne (november/december 2021). Waar zinvol zullen ook gascompositie en/of isotopen data van gasmonsters genomen tijdens eerdere/andere bemonsteringsdagen worden meegenomen in het vormen van een eendoordeel over de situatie op deze vier locaties. Deze resultaten zijn afkomstig van bemonstering uitgevoerd door Panterra (in opdracht van de gemeente Rotterdam), NAM en TNO (zie Appendix E voor een overzicht). Isotopen data van deze bemonsteringsdagen wordt volledigheidshalve weer gegeven in de isotopen diagrammen in hoofdstuk 3.

In het tweede hoofdstuk wordt de werkwijze van de meetcampagne toegelicht. Dan volgen de resultaten met betrekking tot de metingen uitgevoerd tijdens de meetcampagne in hoofdstuk drie. Het daaropvolgende hoofdstuk vier bevat een

synthese van de resultaten en conclusie die hieruit volgt voor het onderzoeksgebied. Tot slot worden in de discussie enkele beperkingen van het huidige onderzoek, en aanbevelingen voor toekomstig onderzoek besproken.

Het vooraf opgestelde meetplan, waarin de aanpak zoals die werd voorzien is uitgewerkt, is opgenomen in Appendix A. Een uitgebreide beschrijving van de meetcampagne is opgenomen in Appendix B. Hierin zijn tevens foto's en kaarten van de locaties opgenomen die de meetwijze en omstandigheden illustreren. Appendix C geeft een beknopte bespreking van de bijzonderheden van het IJsselmonde olie/gas veld (specifiek de kenmerken van de bodem, de aanwezige reservoirs, en de historie van de winning van olie en gas in het gebied) alsmede achtergrond informatie over de aanwezigheid van brongas in de ondiepe ondergrond. Appendix D gaat in op de significantie van lage concentraties ethaan die op sommige locaties worden gemeten. Appendix E geeft een overzicht van alle gascompositie en isotopendata gemeten door externe partijen alsmede de data eerder door TNO gerapporteerd.

Het meegeleverde MS Excelbestand bevat de coördinaten en meetresultaten van alle metingen en monsternames.

2 Werkwijze

De werkwijze voor de meetcampagne is vooraf uitgewerkt in het door TNO opgestelde meetplan (Appendix A) met als uitgangspunt te komen tot zo betrouwbaar mogelijke meetresultaten en conclusies. De werkwijze is gebaseerd op het document “Leidraad meten en detecteren van potentiële lekkage van methaan uit afgesloten olie- en gasputten op het vasteland” opgesteld door TNO (2021b). De aanpak is vooraf gepresenteerd aan de overige betrokken partijen en feedback is meegenomen waar dit aansloot bij de doelen van het onderzoek.

2.1 Putlocaties

Metingen zijn uitgevoerd bij vier voormalige winningslocaties. Daarnaast zijn op verschillende plekken referentiemetingen uitgevoerd. De metingen en bemonstering van deze locaties door TNO hebben plaatsgevonden op de data in Tabel 1.

Tabel 1: Meetdagen en locaties

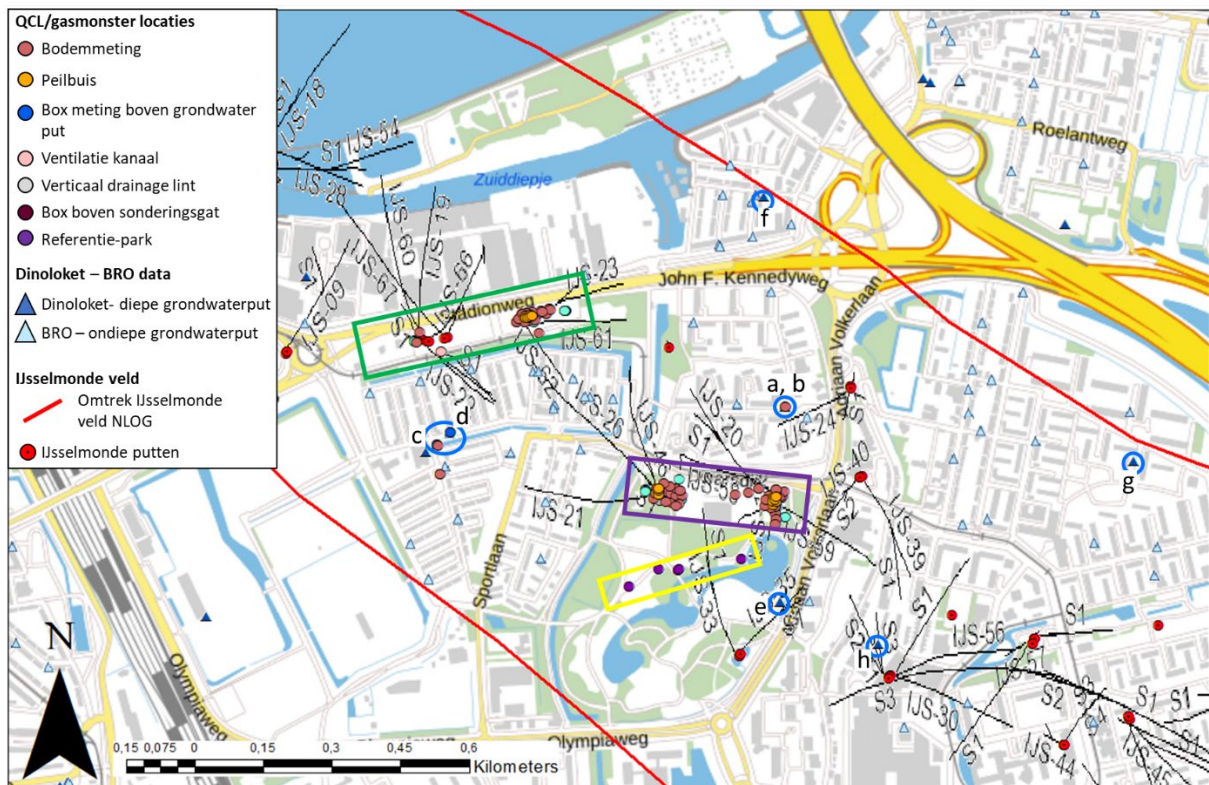
Datum	Locatie	Opmerkingen
28 juni 2021	Noorderhelling Oost	(TNO, 2021c)
	Noorderhelling West	
	Dwarsdijk West	
	Dwarsdijk Oost	
3 november 2021	Dwarsdijk Oost	Deel zandlaag verwijderd enkele dagen voor metingen
	Noorderhelling Oost	Deel asfalt verwijderd ca. één dag voor metingen
30 november 2021	Noorderhelling Oost	
	Noorderhelling West	
	Grondwaterputten	GMW37H124589 (Maliebaan) & GMW37H124354 (Sportsingel)
	Referentie op bodem	Van Wijngaardenlaan / Burgemeester Hazenberglaan
8 december 2021	Dwarsdijk West	Deel zandlaag verwijderd ca. 1 maand eerder
	Dwarsdijk Oost	
	Park de Twee Heuvels	Referentielocatie

De geabandonneerde putten op deze locaties staan in Tabel 2. Zie Figuur 1 voor een overzichtskaart van het gebied. De overzichtskaart toont ook de puttrajecten. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze in het algemeen pas op enkele honderden meters diepte deviëren van de verticaal (zie Figuur 67 in Appendix C).

Tijdens de eerste meetcampagne werd door TNO geconstateerd dat de lokale omstandigheden op de vier locaties niet gunstig waren voor het uitvoeren van metingen en daarmee de betrouwbaarheid van de meetresultaten verminderden. Dit omdat op locatie Noorderhelling West inmiddels was begonnen aan de bouw van een nieuw Gamma filiaal waardoor de meeste putlocaties niet toegankelijk waren, terwijl op Dwarsdijk Oost en Dwarsdijk West een zandlaag van ca. 3 meter was geplaatst. Op Noorderhelling Oost werden de metingen beperkt door de aanwezige asfalt laag op de bodem.

Tabel 2: Geabandonneerde putten in onderzoeksgebied

Aanduiding	Putcode
Noorderhelling West	IJS-04 & IJS-04-S1
	IJS-19
	IJS-22, IJS-22-S1 & IJS-22-S2
	IJS-60
	IJS-63
	IJS-66
	IJS-67
Noorderhelling Oost	IJS-02 & IJS-02-S1
	IJS-23 & IJS-23-S1
	IJS-25
	IJS-61
	IJS-62
Dwarsdijk West	IJS-07 & IJS-07-S1
	IJS-21
	IJS-26
	IJS-46 & IJS-46-S1
Dwarsdijk Oost	IJS-05
	IJS-06
	IJS-17
	IJS-20, IJS-20-S1 & IJS-20-S2
	IJS-58
	IJS-59
	IJS-65



Figuur 1: Overzichtsk kaart meetlocaties. Groene box: Noorderhelling West en Oost; paarse box: Dwarsdijk West en Oost; Gele box: referentielocaties Park de Twee Heuvels. Blauwe cirkels met letters geven de locatie van de bemonsterde/beoogde grondwatermonitoring putten (zie ook Tabel 3).

Voor de metingen in het najaar van 2021 is bij locatie Noorderhelling Oost een deel van het asfalt verwijderd, en op beide locaties aan de Dwarsdijk een deel (ca. 1,5 meter) van de recent opgebrachte zandlaag verwijderd. Dit is tevens de uiteindelijke hoogte van de bodem voor de verdere ontwikkeling van deze locaties. Op Noorderhelling West, als mede op de andere locaties, zijn voor de tweede meetcampagne extra peilbuizen geplaatst op enige afstand van de putlocaties. Het doel van deze peilbuizen is om de mogelijke aanwezigheid van methaan op verschillende dieptes in de bodem te kunnen bepalen en eventueel een relatie met nabijheid van de put te ontdekken.

2.2 Referentielocaties

Naast de voormalige winningslocaties, zijn ook enkele referentiemetingen uitgevoerd. De vraag is of de meetresultaten van referentiepunten wezenlijk afwijken van meetresultaten bij putlocaties. Zo ja, dan is er mogelijk iets aan de hand met de putten, zo nee, dan is de rol van de putten bij eventuele methaanobservaties minder evident. Ter referentie zijn enkele grondwatermonitoring putten bemeten en in Park de Twee Heuvels zijn een aantal metingen op de bodem uitgevoerd. Zie Tabel 3 en Figuur 1 voor een overzicht van de geselecteerde en bemonsterde putten. Gedetailleerde kaartjes van de aanwezige reservoirs, bemonsterings- en grondwatermonitoring (GWM) putlocaties staan in Appendix C.

Voor de selectie van de grondwatermonitoringsputten (GWM put) zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Ligging binnen de IJsselmonde reservoir polygonen (zie Appendix C)
- Een filterdiepte >10m t.o.v. maaiveld
- Bereikbaar voor de TNO meetbus en te bemonsteren op de meetdag.

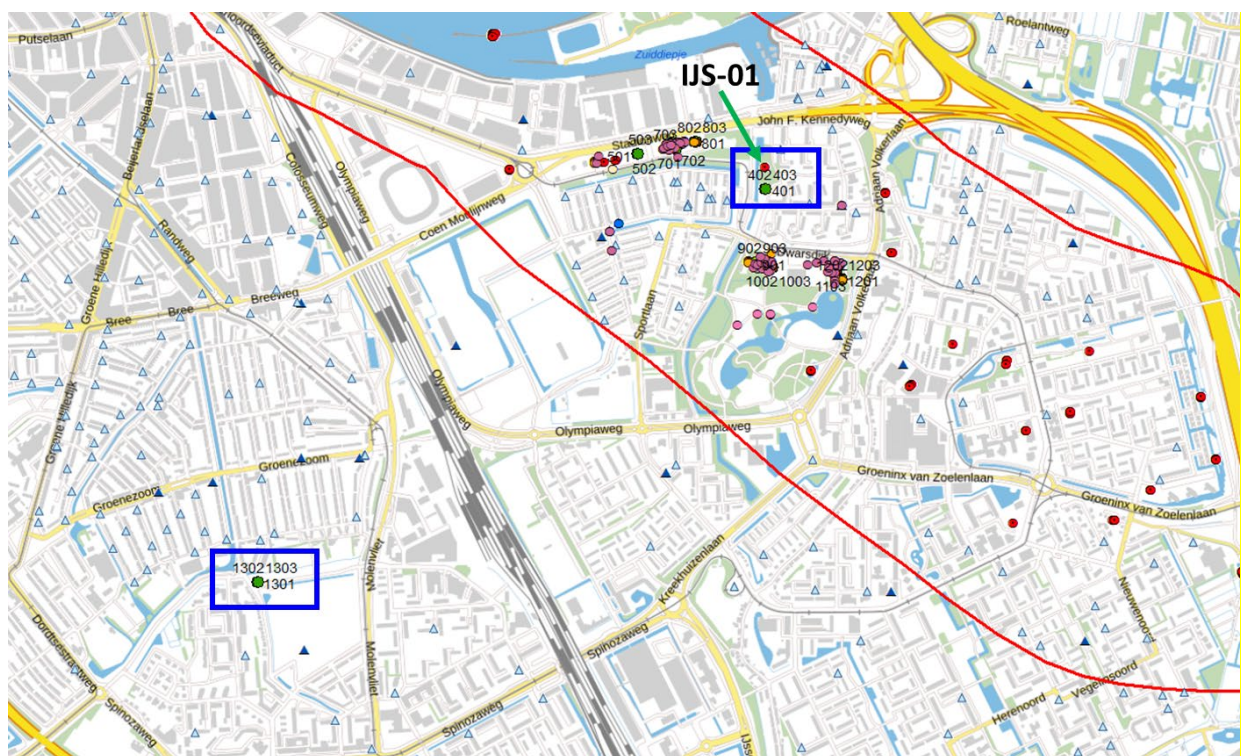
Tabel 3: Overzicht van de geselecteerde en (deels) bemonsterde grondwatermonitoringputten

GWM put naam (Dinoloket)*	X (RD)	Y (RD)	Inrichtingsjaar put	Filter diepte_Top (m onder NAP)	Filter diepte_Basis (m onder NAP)	Opmerking	Bemonsterings notitie	Uitgevoerde meting	Aanwezige reservoirs
B37H0403 (a)	96948.0	434240.0	1967-1992	-17.5	-24.7	B37H0403 & GMW37H124587 liggen opzelfde locatie	Plantsoentje recentelijk herontwikkeld; oude GWM put niet meer aangetroffen.	QCL	Basaal Dongen, Holland Groenzand, De Lier & IJsselmonde
GMW37H124587 (b)	96947.5	434239.7	1963	-18.1	-25.3				
GMW37H124589 (c)	96185.2	434156.3	1972	-18.6	-20.6			QCL & gas compositie/ isotopen	Holland Groenzand, De Lier & IJsselmonde
GMW37H124354 (d)	96214.4	434182.3	1971	-2.3	-3.3		Nabij GMW37H124589, QCL meting ter controle	QCL	Holland Groenzand, De Lier & IJsselmonde
B37H0996 (e)	96937.0	433813.0	onbekend	1e filter: -4.6	1e filter: -5.6	GWM put in park nabij Dwarsdijk-Oost	Put afgesloten met slot; geen passende sleutel beschikbaar tijdens bemonsterings dagen.	geen	Basaal Dongen, Holland Groenzand, De Lier & IJsselmonde
				2e filter: -17.2	2e filter: -18.2				
B37H0419 (f)	97710	434120	1968	-16.2	-22.0		Door tijdgebrek niet bemonsterd 8 dec 2022	geen	Basaal Dongen & De Lier
B37H0420 (g)	96900	434700	1972	-16	-22.9		Door tijdgebrek niet bemonsterd 8 dec 2022	geen	Basaal Dongen & De Lier
B37H0920 (h)	97150	433720	1959	als backup; geen informatie op Dinoloket over filter diepte					Basaal Dongen, Holland Groenzand, De Lier & IJsselmonde

* (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) & (h) verkorte namen voor GWM put locatie in Figuur 1.

Park de Twee Heuvels ligt ten zuiden van de voormalige winningslocaties aan de Dwarsdijk. De afstand tot de putten is ca. 100 – 150 meter. Omdat de locatie niet toegankelijk is voor de meetbus, is er gemeten met de draagbare Picarro GasScouter. Op verschillende plaatsen is met de handboor een ondiep gat geboord (tot 1m diep, afhankelijk van de ondergrond) waarna in het gat is gemeten. De boorkern is in een plastic bewaard en met de QCL in de meetbus nogmaals bemeaten. Als er een duidelijk verhoogde concentratie werd gemeten met de Picarro, is ook een gasmonster genomen. Het monster van locatie Park 1 is genomen bij een droge bodem, omdat CH₄ in een droge toplaag makkelijk kan oxideren zijn er vervolgens twee locaties gekozen met een vochtige bodem. Daarnaast is er gemeten op een locatie waar er een buis in de grond zat die mogelijk een preferent lekpad zou kunnen vormen voor methaan dat dieper in de grond zit.

In april 2022 ontving TNO van de Gemeente Rotterdam aanvullende gascompositie en isotopen metingen van gasmonsters uit peilbuizen P401, P402 en P403 en P1301, P1302 en P1303 (email Rotterdam, referentie 21 april 2022). Deze peilbuizen liggen buiten de Dwarsdijk en Noorderhelling locaties (Figuur 2) en er is derhalve voor gekozen om deze peilbuizen bij de referentielocaties te groeperen. Peilbuizen P401, P402 en P403 liggen iets ten zuiden van put IJS-01; peilbuizen P1301, P1302 en P1303 liggen ongeveer 2km ten zuidwesten van de locatie Dwarsdijk West, buiten de polygoon van het IJsselmonde olie/gasveld. De gascompositie en isotopen van deze peilbuizen worden besproken bij de interpretatie van de referentiepunten in hoofdstuk 3.



Figuur 2: Locatie van peilbuizen (groene cirkels in de blauwe polygoon). P401, P402 en P403 liggen ten zuiden van put IJS-01. P1301, P1302 en P1303 liggen ongeveer 2 km ten zuidwesten van locatie Dwarsdijk West. Rode polygoon geeft de omtrek weer van het IJsselmonde olie/gasveld (www.nlog.nl). Voor betekenis van de overige symbolen zie legenda Figuur 1.

2.3 Meetinstrumenten

Het belangrijkste meetinstrument voor de metingen was het Aerodyne QCL instrument, in combinatie met een meetbox (70x70x15 cm, inhoud 73.5 liter) en een aanzuigslang. Dit instrument heeft een zeer hoge gevoeligheid, nauwkeurigheid en tijdsresolutie. Het instrument meet de concentraties van CH₄, C₂H₆, CO₂ en N₂O in de aangezogen lucht (zie Tabel 4).

Tabel 4: Overzicht meetinstrumenten

Meetinstrument	Detectielimiet methaan	Detectielimiet ethaan	Configuratie
QCL (Aerodyne)	<1 ppb	<1 ppb	Geïnstalleerd in meetbus. Kan met lange aanzuigslang in het veld gebruikt worden, eventueel i.c.m. meetbox. Meet ook CO ₂ , CO en N ₂ O
Picarro GasScouter G4301	3 ppb	10 ppb	Draagbaar meetinstrument (rugzak) met ingebouwde GPS en dataopslag

Naast de QCL is ook een Picarro G4301 GasScouter (rugzak) gebruikt voor het speuren naar verhogingen in de concentraties van methaan en/of ethaan aan de bodem. Bij het detecteren van een lokale verhoging in de concentratie, is de plek gemarkeerd en vervolgens bemeaten met de QCL. De meetdata van het Picarro GasScouter instrument zijn niet opgeslagen of verwerkt.

2.4 Meetlocaties

De coördinaten van alle metingen en monsternames zijn beschikbaar in het meegeleverde MS Excelbestand.

2.4.1 Boxmetingen

Bij iedere putlocatie zijn een groot aantal boxmetingen uitgevoerd. Bij de keuze waar precies te meten zijn de volgende principes gehanteerd:

1. Een boxmeting direct boven iedere geabandonneerde put (middels coördinaat en GPS). Er wordt een getrapte benadering gebruikt, met eerst een meting op de onverstoorde bodem, en daarna boven een boorgat van ca. 50 – 100 cm diepte dat met de handboor wordt gegraven. De meting op de bodem is het meeste representatief voor het bepalen van de flux. Bij een meting boven een nieuw gat worden vaak hogere concentraties gemeten, welke geschikt zijn voor het bepalen van de ethaan/methaanratio, en voor het nemen van gasmonsters.
2. Boxmetingen op enkele meters afstand van de geabandonneerde putten. Eerst op de onverstoorde bodem, en daarna boven een boorgat.
3. Enkele boxmetingen ter referentie aan de rand van het terrein van de putlocatie.
4. Indien mogelijk een boxmeting boven de aanwezige peilbuizen.

2.4.2 Gasmonsters

In aanvulling op de boxmetingen is een groot aantal gasmonsters verzameld tijdens de meetcampagne. Deze zijn verzameld in monsterzakken van 2 liter; tijdens de meetcampagne van 3 november zijn ook negen monsters verzameld in gasflessen.

De gasmonsters zijn verzameld:

- Uit de peilbuizen aanwezig op en nabij de IJsselmonde putlocaties;
- Uit de meetbox wanneer een opvallende stijging van de methaanconcentratie (>100 ppb/s) en/of een stijging in de ethaanconcentratie werd gemeten;
- Uit het ventilatiekanaal van het nieuwe Gamma filiaal op locatie Noorderhelling West;
- Uit een grondwaterput (#GMW37H124589);
- Uit een boorgat in Park de Twee Heuvels;
- Uit de buitenlucht nabij de putlocaties. Dit om de samenstelling van de achtergrond te bepalen.

In sommige gevallen zijn gasmonsters in duplo genomen. Dit om de betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen en om een gevoel te krijgen voor het verschil in gassamenstelling en isotopensignatuur in twee opeenvolgende gasmonsterafnames.

2.5 Interpretatie metingen

2.5.1 *Notatie decimalen*

In dit rapport wordt voor het rapporteren van decimalen getallen gebruik gemaakt van de Engelse schrijfwijze (punt). In enkele figuren worden echter, vanwege Nederlandse taal instellingen, komma's gebruikt; dit wordt per figuur specifiek aangegeven.

2.5.2 *Boxmetingen*

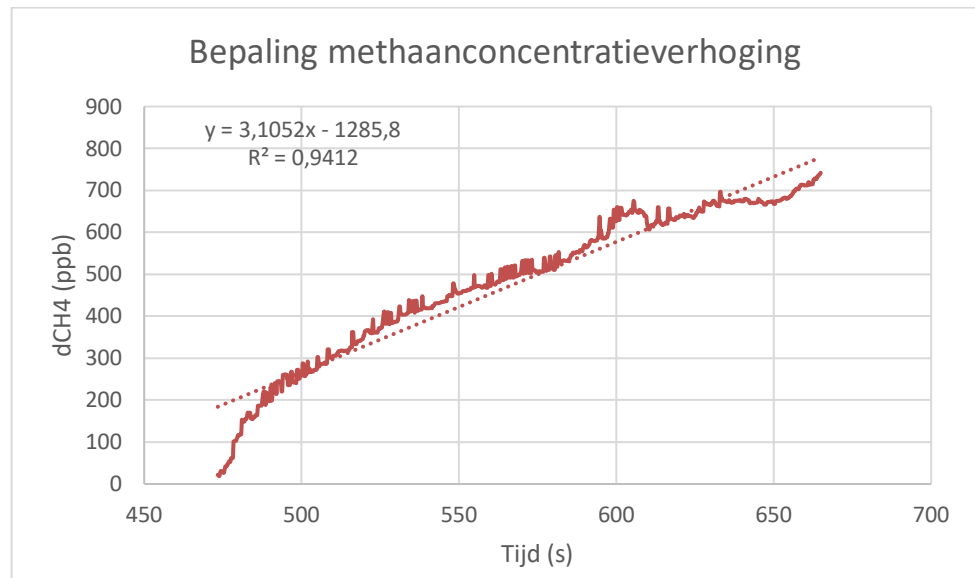
2.5.2.1 *Concentratieverhoging en methaanflux*

Bij een boxmeting wordt de meetbox voor enkele minuten op een oppervlak geplaatst. Bij een eventueel oplopende concentratie methaan en/of ethaan ten opzichte van de achtergrondconcentratie, kan uit de helling van de lineaire regressievergelijking in de grafiek de snelheid van de concentratieverhoging in ppb/s worden afgeleid (zie Figuur 3). De absolute waarde van deze concentratieverhoging is van beperkte betekenis, aangezien deze afhangt van de inhoud van de meetbox en de tijdsduur van de meting.

Om tot een meer eenduidige meetwaarde te komen (d.w.z. bij een herhaalmeting zou men tot een vergelijkbare meetwaarde moeten komen, zelfs wanneer andere apparatuur en/of meetbox wordt gebruikt), kan de concentratieverhoging gerelateerd worden aan de tijdsduur en de oppervlakte en inhoud van de meetbox, waarna een methaanflux ($\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}$) kan worden afgeleid.

Sommige meetsignalen uit de onverstoorde bodem zijn dermate laag of erratisch dat deze niet betrouwbaar kunnen worden geïnterpreteerd als een flux uit het betreffende oppervlak. De ruis is in dit geval te groot ten opzichte van het signaal. Om dit te bepalen wordt zowel de maximaal behaalde concentratie en het verloop van de concentratieverhoging in ogenschouw genomen. Om te spreken van een duidelijke methaanflux, moet er sprake zijn van een continuïteit in de concentratieverhoging (determinatie coëfficiënt R^2 van de helling van de grafiek) van minimaal 0.75. Zie Figuur 3 voor een voorbeeld. Voor ethaan geldt een minimale concentratieverhoging van 0.3 ppb en een determinatie coëfficiënt van 0.75.

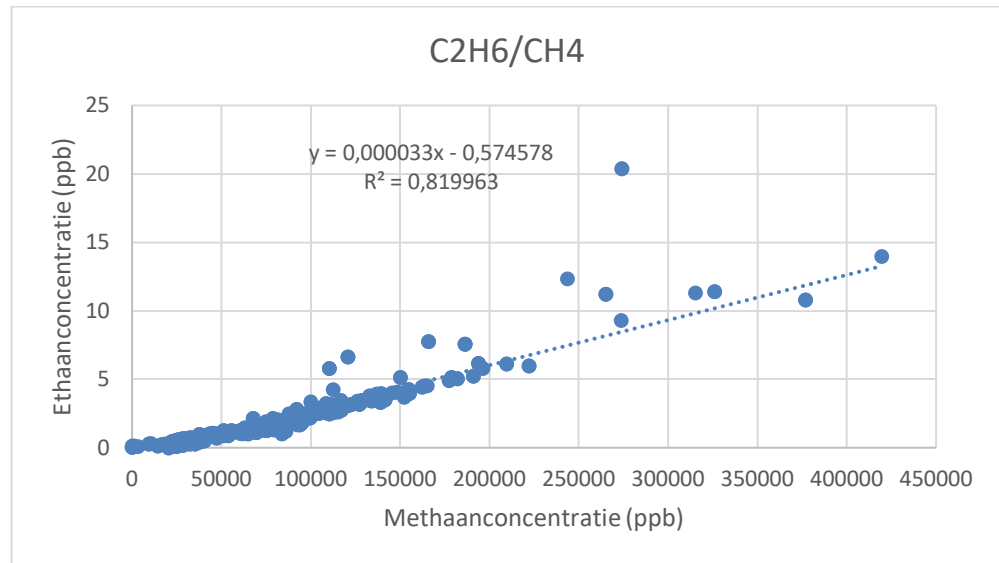
Wanneer de meetbox boven een nieuw geboord gat wordt geplaatst, of boven een juist geopende peilbuis, is er geen sprake van een evenwichtssituatie. Er wordt dan geen methaanflux afgeleid want deze is niet representatief: bij een herhaalmeting zal waarschijnlijk een significant afwijkende meetwaarde worden gevonden.



Figuur 3: Bepaling verhoging methaanconcentratie. Lineaire regressie geeft een waarde van ca. 3.1 ppb/s, met een R^2 van 0.94. In de regressie vergelijking en R^2 wordt vanwege Nederlandse taalinstelling een komma gebruikt in plaats van een punt.

2.5.2.2 *Ethaan/methaanratio*

Wanneer zowel methaan als ethaan wordt gemeten, kan een ratio worden afgeleid. Dit gebeurt door een lineaire regressie vergelijking te bepalen voor methaan afgezet tegen ethaan. De helling is gelijk aan de ethaan/methaanratio. De hoogte van de determinatie coëfficiënt (R^2) is dan een maat voor het gelijktijdig vrijkomen van methaan en ethaan, wat een gezamenlijke bron suggereert. Zie Figuur 4 voor een voorbeeld.



Figuur 4: Bepaling ethaan/methaan ratio door uitzetten van gelijktijdige meetwaarden gedurende één boxmeting. In dit geval is er sprake van een ratio van 0.0033% en een R^2 van 0.82. In de regressie vergelijking en R^2 wordt vanwege Nederlandse taalinstelling een komma gebruikt in plaats van een punt.

Gronings aardgas heeft typisch een ethaangehalte van enkele procenten. Andere gasreservoirs, met name ondiepe reservoirs, kunnen ook significant lagere ethaangehalte hebben. Zo toont gascompositiedata op NLOG een ethaangehalte van 0.04% voor het Basaal Dongen Tuffiet Laagpakket (NLFFT in de oude nomenclator code van Adrichem-Boogaert and Kouwe (1993); Laagpakket van De Wijk (NLDOWY) in de huidige nomenclator code van TNO, 2022), die zich in het IJsselmonde gebied bevindt. In dit onderzoek worden alle ethaan/methaanratio's lager dan 0.15% als laag bestempeld. Zoals wordt toegelicht in Appendix D, kan een dergelijke lage ratio op verschillende manieren ontstaan en is daarmee niet eenduidig. De bruikbaarheid van de gemeten ethaan/methaanratio om ofwel de aanwezigheid van thermogeen gas aan te tonen, of deze aanwezigheid uit te sluiten, is dus afhankelijk van de gascompositie in de aanwezige reservoirs en de ratio die volgt uit de metingen aan het oppervlak. Dit wordt toegelicht in Tabel 5.

Tabel 5: Bruikbaarheid ethaan/methaanratio bij bepalen herkomst gas

Ethaangehalte reservoir	Ethaan/methaanratio meting	Betekenis
Laag (<0.15%) of onbekend	Laag (<0.15%)	Niet eenduidig. Gas kan biogeen of thermogeen zijn. Ratio is hier geen goede <i>tracer</i> voor herkomst
Hoog (>1%)	Laag (<0.15%)	Gemeten gas is niet afkomstig van reservoir
Hoog (>1%)	Hoog (>1%)	Gemeten gas is zeer waarschijnlijk thermogeen en mogelijk afkomstig van reservoir
Laag (<0.15%)	Hoog (>1%)	Gemeten gas is zeer waarschijnlijk thermogeen maar (deels) afkomstig van een andere bron

2.5.2.3 Rapportage resultaten

Voor iedere boxmeting worden de meetresultaten en eventueel afgeleide ratio's en fluxwaarden in een tabel geplaatst zoals het voorbeeld in Tabel 6. Hierin staan:

- De naam van de meting
- De "bron" waarop de meetbox is geplaatst

- De naam van de eventuele put of peilbuis waarboven wordt gemeten (feature)
- De naam van het gasmonster als dit tijdens deze meting is afgenomen.
- Of het een meting zonder of met boorgat betreft
- De maximale concentratieverhoging (t.o.v. de achtergrondconcentratie) van ethaan in ppb (dC_2H_6)
- De maximale concentratieverhoging (t.o.v. de achtergrondconcentratie) van methaan in ppm (dCH_4)
- De ethaan/methaanratio (C_2H_6/CH_4)
- De determinatiecoëfficiënt van de ethaan/methaanratio ($R^2 C_2H_6/CH_4$)
- De snelheid van de concentratieverhoging van methaan in ppb/s
- De afgeleide methaanflux in ml/m²/uur
- De determinatiecoëfficiënt van de concentratieverhoging van methaan (R^2 helling CH_4)

Zoals eerder vermeld, worden er geen ratio's afgeleid als het ethaan- of methaansignaal te laag is (<0.3 ppb of <100 ppb respectievelijk). Verder wordt er geen methaanflux afgeleid als het een meting boven een boorgat of peilbuis betreft, of als het methaansignaal te laag is (<100 ppb).

Tabel 6: Voorbeeldtabel resultaten boxmetingen

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met gat	dC_2H_6 (ppb)	dCH_4 (ppm)	C_2H_6/CH_4 (/)	R^2 (C_2H_6/CH_4)	CH_4 (ppb/s)	CH_4 (ml/m ² /uur)	R^2 (helling CH_4)
NO_30nov_Box4a_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02			0.1	0.02			0.4	0.2	0.81
NO_3nov_Box5a_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02			8.0	10	7.0E-04	0.99	89.0	48.1	0.97

Als visueel hulpmiddel wordt in de tabel een kleurcodering gebruikt. Voor de maximale methaan en ethaan concentratieverhoging, de afgeleide methaanflux en snelheid van concentratieverhoging loopt de kleurschaal van de laagste waarde (groen) naar hoogste waarde (rood). De kleurcode van de ethaan/methaan ratio loopt van blauw (laag) tot rood (hoog). De kleurcode van R^2 wordt weergegeven van 0 (rood) naar 1 (groen).

2.5.3 Gasmonsters: gassamenstelling en isotopensignatuur

2.5.3.1 Laboratoriumanalyse

De verzamelde gasmonsters zijn uitgebreid geanalyseerd op gascompositie en isotopensignatuur. Hiervoor zijn alle gasmonsters eerst geanalyseerd door Isolab op de volgende kenmerken:

- Gascompositie
- $\delta^{13}C$ van CH_4 (indien mogelijk)
- δ^2H van CH_4 (indien mogelijk)
- $\delta^{13}C$ van CO_2

Voor een deel van de gasmonsters konden de C en H isotopen van CH_4 niet bepaald worden omdat de concentraties in het gasmonster te laag waren (minimaal 50 ppm voor koolstof en minimaal 400 ppm voor waterstof). Het Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht (IMAU) van de Universiteit Utrecht heeft gevoeliger apparatuur waarmee deze gasmonsters alsnog geanalyseerd konden worden. Om deze reden (en om de resultaten van twee laboratoria te kunnen vergelijken) zijn de door Isolab geanalyseerde gasmonsters vervolgens ook door IMAU geanalyseerd op isotopensignatuur:

- $\delta^{13}\text{C}$ van CH_4
- $\delta^2\text{H}$ van CH_4

Voor de isotopeninterpretatie (en diagrammen) in Hoofdstuk 3 worden alleen de IMAU data gebruikt en weergegeven. In de datatabellen worden zowel de IMAU als de Isolab data gerapporteerd.

2.5.3.2 Achtergrond isotopenanalyse

De verhouding van zware tot lichte isotopen in waterstof ($^2\text{H}/^1\text{H}$) en koolstof ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) kan worden gebruikt om de oorsprong van bijvoorbeeld koolwaterstoffen en koolstofdioxide te bepalen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden naar de primaire (bijv. genese, vorming) en secundaire processen (bijv. latere omzetting, migratie) die de gassen hebben ondergaan, alsmede naar de herkomst (diepe herkomst uit gashoudend moedergesteente of ondiep als gevolg van microbiële activiteit).

Waterstof- en koolstofisotopen worden gemeten ten opzichte van een bekende standaard (Standard Mean Ocean Water (SMOW) voor waterstof en Pee Dee Belemnite (PDB) voor koolstof), waarbij de afwijking van de isotopenverhouding van het monster ten opzichte van de standaard bepaald wordt. Voor de afwijking wordt de δ -notatie gebruikt: $\delta^2\text{H}$ (vaak afgekort tot δD ; waarbij D staat voor Deuterium) en $\delta^{13}\text{C}$, en uitgedrukt in per mille (‰). Een waarde van 0‰ betekent een isotopenverhouding gelijk aan de standaard. Negatieve waarden geven aan dat er meer van het lichtere isotoop aanwezig is (^{12}C in geval van koolstof) en positieve waarden meer van het zwaardere isotoop (^{13}C in geval van koolstof).

De methaan en CO_2 koolstof- en waterstof isotopen zijn normaliter negatief, maar daarbinnen zijn sommige isotopenwaarden negatiever dan andere. Bij het interpreteren en beschrijven van de relatieve verschillen in isotopen verandering (verschil in δ -waarde) worden de volgende definities gehanteerd:

- Isotopisch zwaarder: bevat meer van het zware isotoop, wat resulteert in een verschuiving in positieve zin (bijv. -40, -30, -20‰).
- Isotopisch lichter = bevat meer van het lichtere isotoop, wat resulteert in een verschuiving in negatieve zin (bijv. -50, -60, -70‰).

Bij de vorming van methaan wordt doorgaans onderscheid gemaakt tussen methaangas dat gevormd wordt uit olie-gas moedergesteenten (aangeduid als thermogeen gas) en gas dat een microbiële oorsprong heeft (aangeduid als biogeen gas). Abiotisch gas wordt hierbij buiten beschouwing gelaten.

Biogeen methaangas heeft een brede oorsprong en is gerelateerd aan microbiële processen die plaatsvinden in de (on)diepe ondergrond of in diepe anoxische zeeën en meren (zie bijv. Whiticar, 1999). Methanogenese is het microbiële proces waarbij organisch materiaal (biomassa) onder zuurstofloze omstandigheden wordt omgezet met als eindproduct methaan. Hierbij kan grofweg onderscheid gemaakt worden tussen biogeen gas dat gevormd wordt in zout water (*bacterial carbonate reduction*) en zoet water (*bacterial methyl-type fermentation*).

Middels de isotopenverhouding kan er onderscheid gemaakt worden tussen methaangas met een thermogene en een biogene oorsprong, waarbij biogeen gas over het algemeen meer van de lichtere isotopen bevat (relatief meer ^{12}C en ^1H , waardoor de $\delta^{13}\text{C}$ en δD ratio dus lager wordt) en thermogeen meer van de zwaardere isotopen (relatief meer ^{13}C en ^2H , waardoor de $\delta^{13}\text{C}$ en δD ratio dus hoger

wordt, Figuur 5). Typische δD en $\delta^{13}C$ waarden voor thermogeen gas variëren van -270‰ tot -100‰ voor δD_{CH_4} en -50‰ tot -20‰ voor $\delta^{13}C_{CH_4}$ (zie bijv. Schoell, 1983; Whiticar, 1999; Milkov & Ethiope, 2015).

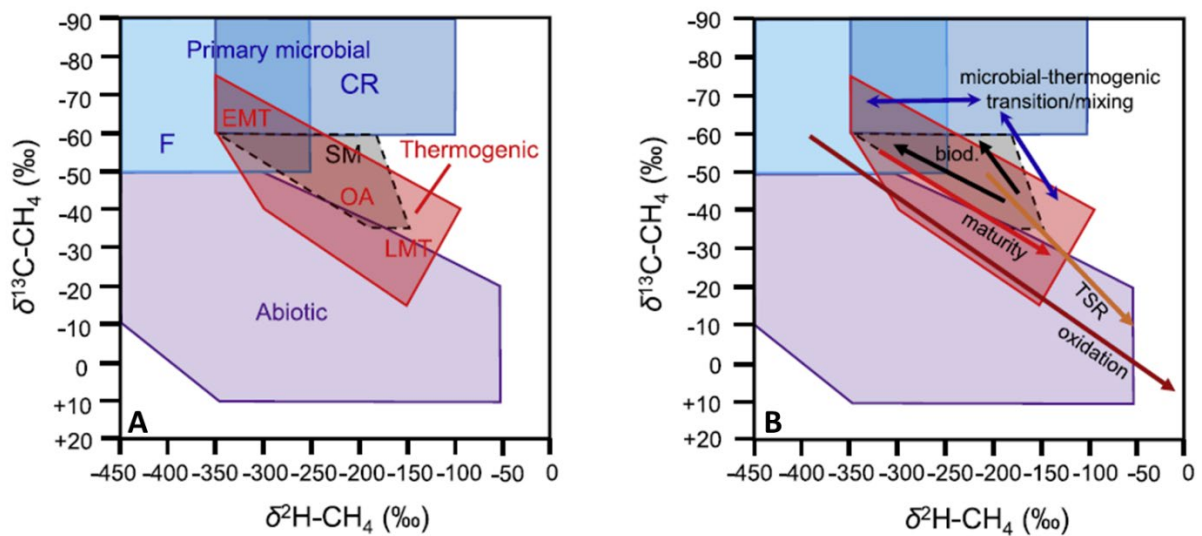
Naast methaanproductie, kan methaan ook worden afgebroken door bacteriën middels methaanoxidatie (zie bijv. Whiticar, 1999). Hierbij consumeren bacteriën het aanwezige methaan, waarbij CO_2 geproduceerd wordt. Methaanoxidatie vindt plaats middels aerobe (met zuurstof) en anaerobe oxidatie (met vooral sulfaat of Fe-oxides). Methaanoxidatie resulteert over het algemeen in verschuiving naar isotopisch zwaardere ratio's in het resterend methaan (gesimplificeerd komt het erop neer dat het voor de microben "makkelijker" is (minder energie kost) om de lichtere isotopenverbindingen te consumeren, waardoor er relatief meer zwaardere isotopen achterblijven in het methaan (zie bijv. Whiticar, 1999).

Koolstofdioxide (CO_2) kan op veel verschillende manieren ontstaan. Het is een belangrijk onderdeel van de koolstofcyclus. Bij de verbranding van koolhydraten in organismen komt CO_2 vrij. We ademen zuurstof in en CO_2 uit. Daarnaast kan onderscheid gemaakt worden tussen CO_2 dat ontstaat bij bijvoorbeeld de verbranding van fossiele brandstoffen of CO_2 wat op natuurlijke wijze ontstaat in de ondergrond. Voor wat het laatste betreft is het hierboven genoemde methaanoxidatie een belangrijk proces maar het kan ook ontstaan bij het afbreken van organisch materiaal. CO_2 is ook aanwezig in koolwaterstofreservoirs, gevormd hetzij als primair CO_2 tijdens doorgaande maturatie dan wel als secundair CO_2 door koolwaterstof biodegradatie. Typische $\delta^{13}C$ voor koolwaterstoffen in de Nederlandse ondergrond varieert tussen -15 en 0‰ (gasdatabase, TNO, 2021).

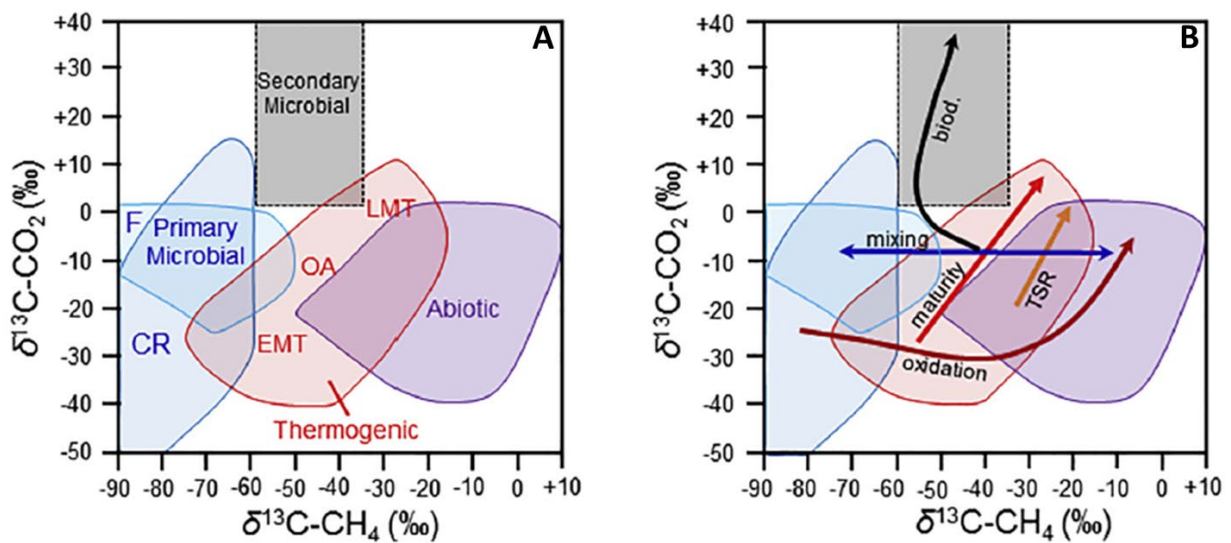
Methaanoxidatie is een veelvoorkomend proces dat de signatuur van biogeen gas dermate kan veranderen dat een ogenschijnlijk thermogene signatuur ontstaat (met $\delta^{13}C_{CH_4} > -50‰$, zie ook Whiticar, 1999). Echter, typisch treedt dan ook een verandering op in de andere isotopen die kan worden herkend als zijnde het gevolg van oxidatie.

2.5.3.3 *Interpretatie*

De vorige sectie laat zien dat het interpreteren van isotopen ratio's complex is omdat verschillende processen door elkaar heen kunnen spelen. Bij het interpreteren van de isotopenwaarden van de verzamelde gasmonsters worden daarom de waarden voor δD_{CH_4} , $\delta^{13}C_{CH_4}$ en $\delta^{13}C_{CO_2}$ geplaatst in de interpretatiediagrammen zoals opgesteld door Milkov & Ethiope (2018). Het eerste diagram (Figuur 5) toont de isotopen in methaan (δD_{CH_4} en $\delta^{13}C_{CH_4}$), het tweede diagram (Figuur 6) toont de koolstofisotopen van methaan en CO_2 ($\delta^{13}C_{CH_4}$ en $\delta^{13}C_{CO_2}$).



Figuur 5: A. Diagram voor de interpretatie van methaan waterstof- en koolstofisotopen data volgens Milkov & Ethiope (2018). CR = carbonate reduction, F = methyl-type fermentatie, SM = secundair microbisch, EMT = early mature thermogeen gas, OA = olie-geassocieerd thermogeen gas en LMT = late mature thermogeen gas). B. Zelfde diagram als A, maar nu met indicatie van verschillende processen en de mate waarin de isotopensamenstelling beïnvloed wordt. TSR = thermochemische sulfaatreductie.



Figuur 6: A. Diagram voor de interpretatie van methaan koolstofisotopen vs CO₂ koolstofisotopen data (Milkov & Ethiope, 2018). Voor afkortingen, zie Figuur 5. B. Zelfde diagram als A, maar nu met indicatie van verschillende processen en de mate waarin de isotopensamenstelling beïnvloed wordt. Biod = biodegradatie, TSR = thermochemische sulfaatreductie.

Zoals te zien in de diagrammen, is er behoorlijke overlap in de isotopensignatuur van sommige biogene en thermogene gasbronnen. Dit komt deels doordat de grenzen van de verschillende velden (thermogeen, biogeen in Figuur 5 en Figuur 6) geen harde, absolute grenzen zijn. De interpretatie van de velden is gebaseerd op empirische waarnemingen en metingen aan gasmonsters van over de hele wereld (uit een database van zo'n 20000 gasmonsters, Milkov & Ethiope, 2018), waardoor overlap tussen de velden mogelijk is. Zeker in het laag mature bereik (EMT in Figuur 5) is er een duidelijke overlap. Daarnaast kunnen de eerder beschreven processen van maturatie, oxidatie, reductie, menging en biodegradatie de signatuur van het gas

beïnvloeden. Dit betekent dan ook dat voor de interpretatie van de gasmonsters geen harde grenzen beschouwd worden (of een zgn. *cut-off*) op basis van velden in Figuur 5 (bijv. een methaan koolstof ratio van -49.9‰ betekend niet automatisch een thermogene oorsprong en -50.1‰ duidt niet meteen op een biogene oorsprong).

Het enige harde criterium wat beschouwd wordt is de methaanconcentratie. Wanneer deze kleiner is dan 5 ppm, is er een grote kans dat methaan uit de buitenlucht (ca. 2 ppm) een behoorlijke invloed heeft op de isotopensignatuur van het gasmonster. Gas van biogene oorsprong gemengd met buitenlucht kan dan een isotopensignatuur krijgen die lijkt op de signatuur van thermogeen gas. Echter, bij hogere methaanconcentraties is het effect hiervan op de isotopensignatuur veel beperkter. Hoewel er methoden bestaan om dit effect te kwantificeren en een inschatting te maken van de isotopensignatuur van de gasbron (zonder het effect van de buitenlucht), is er voor gekozen om in dit onderzoek de signatuur van het gasmonster te gebruiken en voor gasmonsters met een methaanconcentratie <5 ppm geen interpretatie uit te voeren. Dit omdat hiermee geen extra onzekerheid wordt geïntroduceerd, het effect van methaan uit buitenlucht beperkt is bij hogere methaanconcentraties in het gasmonster, en omdat andere betrokken partijen dergelijke methoden ook niet toepassen.

Gebaseerd op bovenstaande, wordt de isotopensignatuur altijd geïnterpreteerd in combinatie van isotopen data van zowel methaan (^{13}C , ^2H) isotopen als CO_2 (^{13}C) isotopen, methaanconcentratie, gascompositie en informatie over de plaats en methode van monsternamen. Hierbij zijn geen duidelijke *cut-off* criteria vast te stellen, maar worden de overwegingen voor de desbetreffende interpretatie van het gasmonster uitgebreid toegelicht.

2.5.3.4 *Menging van gas van thermogene en biogene oorsprong*

Methaangas met een isotopensignatuur wat duidt op een duidelijke thermogene oorsprong (bijv. $\delta\text{D} = -150\text{‰}$ en $\delta^{13}\text{C} = -30\text{‰}$) of een biogene oorsprong (bijv. $\delta\text{D} = -250\text{‰}$ en $\delta^{13}\text{C} = -75\text{‰}$) zijn eenvoudig te onderscheiden. Wanneer er menging optreedt van biogeen en thermogeen gas, wordt de interpretatie significant bemoeilijkt.

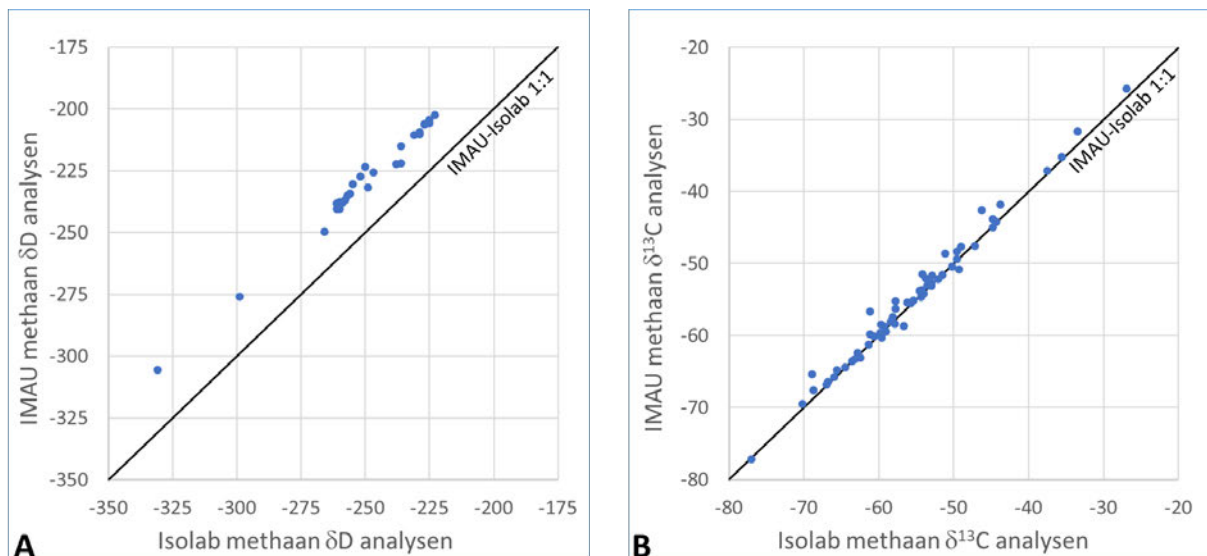
Uitgaande van duidelijke uitgangssamenstellingen (*endmembers*) in de isotopenverhoudingen van het biogene en thermogene gas, is op basis van deze isotopen een simpele twee-componenten mengverhouding te berekenen, welke ook weer te geven zou zijn in Figuur 5 en Figuur 6. Deze mengverhouding kan dan gebruikt worden om aan de hand van de gemeten isotopenratio schattingen te geven over de mate van menging in een gasmonster. Hierbij wordt wel de aanname gedaan dat de methaanfluxen voor het thermogene en biogene gas in de ondergrond redelijk gelijk zijn. Zijn duidelijke *endmembers* in de methaangas isotopen afwezig (bijvoorbeeld omdat er geen isotopenmetingen op reservoirgassen uit een olie/gas reservoir beschikbaar zijn), dan bemoeilijkt dat de interpretatie over de herkomst van het gas. In het geval van menging tussen een biogeen gas en dieper thermogeen gas is het dan ook niet mogelijk de mengverhouding te bepalen.

Voor de verschillende gasreservoirs van het IJsselmonde veld zijn vrijwel geen isotopendata beschikbaar (zie Appendix C voor een gedetailleerd overzicht). Een exacte bronbepaling of mengverhouding zal daardoor niet mogelijk zijn.

2.5.3.5 Isotopendata verschil tussen laboratoria

Uit analyse en verwerking van de gasisotopendata van de IMAU en Isolab laboratoria blijkt dat er voor de δD analyses een systematisch verschil is tussen gemeten ratio's (Figuur 7A). De δD data gemeten in het IMAU laboratorium is ongeveer 20‰ hoger dan data gemeten in het Isolab laboratorium. Uit navraag bij beide laboratoria blijkt dat dit verschil verklaard kan worden door het gebruik van andere δD isotopen kalibratiestandaarden. Voor de uiteindelijke interpretatie van de gasisotopen, heeft dit verschil echter geen invloed.

In de $\delta^{13}C$ data wordt geen groot verschil geobserveerd tussen de laboratoria. Kleine variaties in de gemeten data zijn te verklaren door meetonzekerheden en zijn ook hier niet van invloed op de data interpretatie.



Figuur 7: Vergelijking van de gemeten δD (A) en $\delta^{13}C$ (B) isotopen data van de IMAU en Isolab laboratoria. Voor koolstof is er geen verschil in gemeten waarde; de kleine variaties zijn het resultaat van meetonzekerheden. Voor waterstof isotopen wordt er een systematisch verschil van ongeveer 20‰ opgemerkt tussen IMAU en Isolab. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in gebruikte kalibratiegassen. Dit heeft geen invloed op de uiteindelijke interpretatie van de gasisotopen.

2.5.4 Verspreiding methaan in de bodem

Boxmetingen en/of analyse van gasmonsters bieden de mogelijkheid om de aanwezigheid van methaan aan te tonen op een specifieke plaats op een specifiek moment. Het bepalen van de ethaan/methaanratio, de gascompositie en isotopensignatuur kan informatie geven over hoe methaan gevormd is (biogeen/thermogeen). Het achterhalen van de precieze methaanbron en het gevolgde lekpad, is met de huidige beschikbare data en onderzoeksopzet niet mogelijk. Er is maar beperkt inzicht in de lokale bodemopbouw (zie Appendix C, Figuur 76 en Figuur 77), de precieze stroming van grondwater (met daarin opgelost methaan) en de verschillende routes waarlangs gas verticaal en/of lateraal door de bodem kan bewegen.

Omdat beschikbare (model)data onvoldoende gedetailleerd en nauwkeurig is om expliciet uit te gaan van een specifiek en op de locatie afgestemd bodem-methaanverspreidingsmodel, is de basisaanname in deze studie dat de verspreiding met name verticaal, en in beperktere mate lateraal verloopt. Waar de meetresultaten een ander patroon volgen dan de basisaanname, zorgen bodemopbouw, lekpaden en grondwaterstromen op lokale schaal klaarblijkelijk voor een afwijkende

verspreiding. Het is de verwachting dat dit vaak zal voorkomen en dat de precieze oorzaak met de huidige kennis, gegevens en onderzoeksmethoden moeilijk te achterhalen is.

In deze studie wordt van de volgende (versimpelde) aannames uitgegaan:

- Als er geen specifiek lekpad bekend is, is de grootste kans om methaan te detecteren wat van grotere diepte afkomstig is, in principe op/in de bodem verticaal boven de plaats waar het vrijkomt (des te kleiner de horizontale afstand, des te groter de kans dat een eventueel lek wordt gedetecteerd).
- Als er een mogelijk preferent lekpad bekend is (bijv. een in de ondergrond aanwezige put, een drainagelint of heipaal) vergroot dit de kans om hierboven methaan te meten omdat het gas gemakkelijker door verschillende bodemlagen kan bewegen en minder tijd heeft om te oxideren in de toplaag, dan wel tegen gehouden te worden door afsluitende lagen (bijv. kleilagen).
- Het is aannemelijk dat methaan afkomstig van grotere diepte eerst langs een diepe peilbuis migreert voordat het bij een naastliggende ondiepere peilbuis aankomt,
- Het is aannemelijk dat na het graven van een gat (tijdelijk) een hogere methaanconcentratie wordt aangetroffen dan aan de oppervlakte, omdat er minder methaanoxidatie heeft kunnen plaatsvinden dan bij methaan dat door de toplaag komt.
- Het is aannemelijk dat in een afgesloten peilbuis een hogere methaanconcentratie wordt aangetroffen dan aan de oppervlakte naast de peilbuis, omdat het methaan in de peilbuis kan accumuleren en minder kans heeft om te oxideren.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden per locatie de resultaten van uitgevoerde metingen en analyses getoond. De verschillende resultaten worden vervolgens voorzien van interpretatie waarna een conclusie wordt getrokken ten aanzien van de onderzoeksvraag: is er sprake van methaanflux uit de bodem en zo ja, wat is de herkomst van het gevonden methaan. Voor een uitgebreidere beschrijving van de uitvoering van de metingen, zie Appendix B.

3.1 Dwarsdijk Oost

3.1.1 Boxmetingen

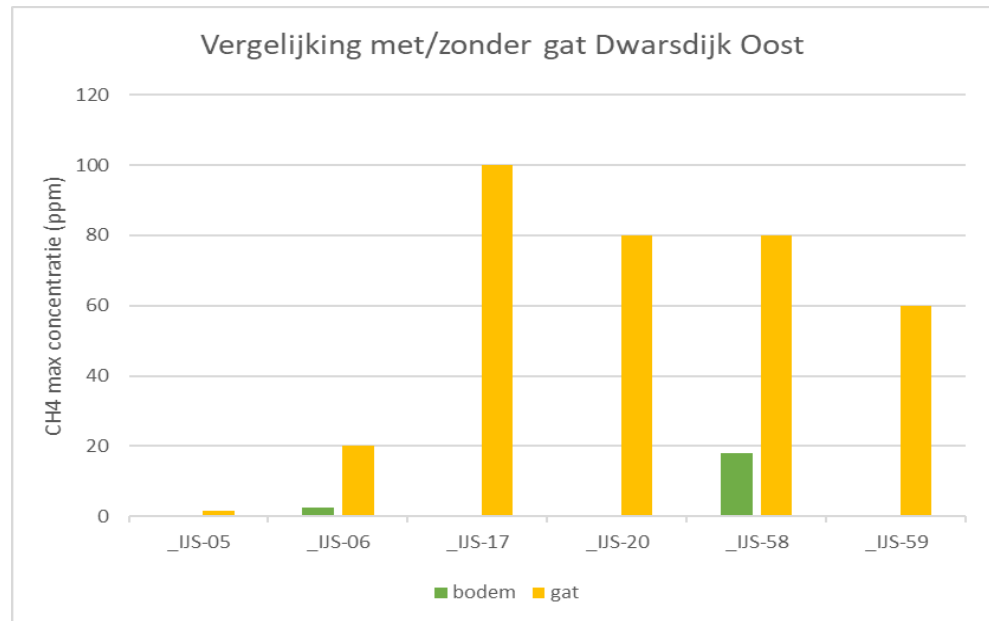
Tabel 7 laat de maximale concentratieverhoging in ethaan en methaan zien, als mede de ethaan/methaanratio en de methaanflux voor de boxmetingen uitgevoerd boven de IJsselmonde putten op Dwarsdijk Oost.

Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

- Er is een duidelijk en consistent verschil tussen maximale concentraties gemeten op de onverstoorde bodem, en boven een nieuw boorgat. Na het boren van een gat worden er (tijdelijk) hogere concentraties methaan en/of ethaan gemeten. Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 8.
- De ethaan/methaanratio's zijn laag. Alleen de meting bij IJS-05 komt in de buurt van de ratio die ooit in het gas uit de Dongen Sand Member is gemeten (zie Appendix D), echter in absolute zin betreft het een lage concentratie (<1 ppb) en een relatief lage R².
- De grootste concentratieverhoging en methaanflux wordt aan de bodem boven put IJS-58 (51 ml/m²/uur) en IJS-06 (20 ml/m²/uur) gemeten op 8 december. Het is opmerkelijk dat de flux een maand eerder op 3 november veel lager is.

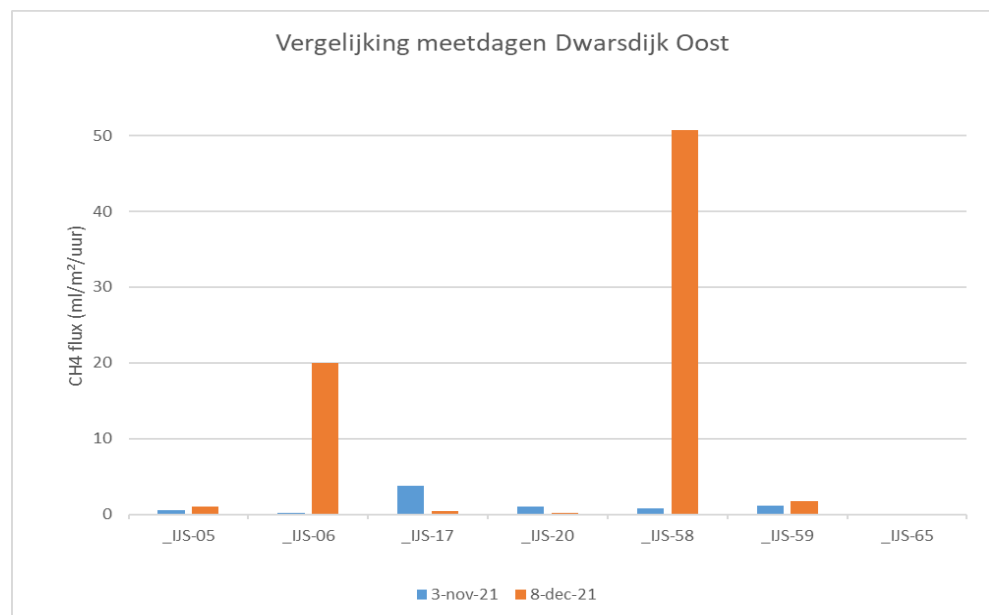
Tabel 7: Resultaten boxmetingen Dwarsdijk Oost - boven IJsselmonde putten

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
DO_3nov_Box18_IJS-05	Bodem_IJS-put	IJS-05			-	0.15			1.0	0.5	0.85
DO_8dec_Box7a_IJS-05	Bodem_IJS-put	IJS-05			0.2	0.4			1.8	1.0	0.81
DO_8dec_Box7b_IJS-05	Bodem_IJS-put	IJS-05		x	0.3	1.4	2.0E-04	0.74			
DO_3nov_Box23_IJS-06	Bodem_IJS-put	IJS-06			-	0.05			0.4	0.2	0.99
DO_8dec_Box4a_IJS-06	Bodem_IJS-put	IJS-06			0.2	2.5			37.0	20.0	0.91
DO_8dec_Box4b_IJS-06	Bodem_IJS-put	IJS-06	DO_8dec_IJS-06	x	0.6	20	2.0E-05	0.92			
DO_3nov_Box20a_IJS-17	Bodem_IJS-put	IJS-17			0.1	0.6			5.8	3.1	0.95
DO_3nov_Box22_IJS-17	Bodem_IJS-put	IJS-17			-0.5	0.25			1.2	0.6	0.96
DO_8dec_Box5a_IJS-17	Bodem_IJS-put	IJS-17			0.2	0.08			0.8	0.4	0.94
DO_8dec_Box5b_IJS-17	Bodem_IJS-put	IJS-17	DO_8dec_IJS-17	x	1.4	100	1.0E-05	0.90			
DO_3nov_Box16_IJS-20	Bodem_IJS-put	IJS-20			-0.5	0.2			1.9	1.0	0.96
DO_8dec_Box2a_IJS-20	Bodem_IJS-put	IJS-20			0.2	0.04			0.3	0.2	0.92
DO_8dec_Box2b_IJS-20	Bodem_IJS-put	IJS-20	DO_8dec_IJS-20	x	1.0	80	1.0E-05	0.97			
DO_3nov_Box17_IJS-58	Bodem_IJS-put	IJS-58			-	0.35			1.4	0.8	0.87
DO_8dec_Box8a_IJS-58	Bodem_IJS-put	IJS-58			0.5	18	2.0E-05	0.91	94.0	50.8	0.94
DO_8dec_Box8b_IJS-58	Bodem_IJS-put	IJS-58	DO_8dec_IJS-58	x	1.5	80	2.0E-05	0.92			
DO_3nov_Box19a_IJS-59	Bodem_IJS-put	IJS-59			-	0.5			2.1	1.1	0.85
DO_3nov_Box19b_IJS-59	Bodem_IJS-put	IJS-59	DO_3nov_IJS-59	x	22.0	60	4.0E-05	0.96			
DO_8dec_Box6a_IJS-59	Bodem_IJS-put	IJS-59			0.2	0.25			3.3	1.8	0.93
DO_8dec_Box6b_IJS-59	Bodem_IJS-put	IJS-59	DO_8dec_IJS-59	x	0.8	60	1.0E-05	0.82			
DO_3nov_Box21a_IJS-65	Bodem_IJS-put	IJS-65			-	0.06			0.2	0.1	0.57
DO_3nov_Box21b_IJS-65	Bodem_IJS-put	IJS-65	DO_3nov_IJS-65	x	0.6	16	2.0E-06	0.39			



Figuur 8: Maximale concentratieverhoging methaan putten Dwarsdijk Oost - met/zonder gat

Figuur 9 laat het verschil in methaanflux zien tussen de metingen op 3 november en 8 december. Hieruit blijkt dat er op 8 december bij de meeste putten hogere methaanfluxen worden gemeten dan op 3 november. Dit strookt niet met de hypothese dat er op 3 november hogere waarden gemeten zouden worden, kort na het verwijderen van 1.5 meter zand op de locatie, welke een maand later voldoende tijd zou moeten hebben gehad om een eventuele ophoping van gas te laten ontsnappen naar de atmosfeer. Het is niet duidelijk waarom het geobserveerde verschil tussen de meetdagen dan zou optreden. Het laat wel duidelijk zien dat een herhalingsmeting cruciaal is om een realistisch beeld van de variabiliteit te krijgen.



Figuur 9: Methaanflux putten Dwarsdijk Oost - 3 november en 8 december

Tabel 8 geeft de meetresultaten voor de boxmetingen boven de peilbuizen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de peilbuizen op 3 november met behulp van een grote meetbox bemeaten zijn, terwijl er op 8 december voor is gekozen de aanzuigslang van de QCL bij de opening van de peilbuis te houden. Hierdoor worden waarschijnlijk hogere concentraties gemeten doordat er minder verdunning mogelijk is. Het doel van deze metingen is vooral de ethaan / methaan ratio's vast te stellen. De ratio is op zich niet gevoelig voor verdunning maar de meetnauwkeurigheid bij hoge concentraties is beter waardoor ook de ratiobepaling verbeterd.

Hier valt op dat:

- In alle drie de sets peilbuizen op de locatie worden in sommige buizen verhoogde methaan- en ethaanconcentraties aangetroffen.
- De ethaan/methaanratio's zijn maximaal 0.02%. Deze waarde ligt nog onder de waarde gevonden voor de Dongen Sand Member via IJS-01 (zie Appendix D). De ratio's worden meegewogen bij het interpreteren van de isotopensignatuur.

Tabel 8: Resultaten boxmetingen Dwarsdijk Oost - Peilbuizen

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met dop	Diepte (m)	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)
DO_3nov_Box29a_P004	Peilbuis	P004		x	13.1	0.3	2		
DO_3nov_Box29b_P004	Peilbuis	P004	DO_3nov_P004		13.1	0.4	1.4	4.0E-04	0.70
DO_8dec_Peilbuis 7_P004	Peilbuis	P004	DO_8dec_P004		13.1	16.0	900	2.0E-05	0.97
DO_3nov_Box28a_P005	Peilbuis	P005		x	17.1	-	-0.5		
DO_3nov_Box28b_P005	Peilbuis	P005	DO_3nov_CIO 057_P005		17.1	0.4	2	1.0E-04	0.31
DO_8dec_Peilbuis 8_P005	Peilbuis	P005	DO_8dec_P005		17.1	6.0	110	4.0E-05	0.98
DO_3nov_Box27_P006	Peilbuis	P006	DO_3nov_P006		2.5	0.3	2		
DO_8dec_Peilbuis 9_P006	Peilbuis	P006	DO_8dec_P006		2.5	15.0	1000	2.0E-05	0.97
DO_8dec_Peilbuis 1_P1101	Peilbuis	P1101	DO_8dec_P1101		3.0	60.0	2500	2.0E-05	0.61
DO_8dec_Peilbuis 2_P1102	Peilbuis	P1102	DO_8dec_P1102		14.5	0.5	6.5	8.0E-05	0.82
DO_8dec_Peilbuis 3_P1103	Peilbuis	P1103	DO_8dec_P1103		19.0	0.2	14	2.0E-05	0.51
DO_8dec_Peilbuis 4_P1201	Peilbuis	P1201	DO_8dec_P1201		4.0	12.0	250	4.0E-05	0.96
DO_8dec_Peilbuis 5_P1202	Peilbuis	P1202	DO_8dec_P1202		14.0	1.0	4.5	2.0E-04	0.94
DO_8dec_Peilbuis 6_P1203	Peilbuis	P1203	DO_8dec_P1203		21.0	3.0	14	2.0E-04	0.99

Tabel 9 hieronder toont de meetresultaten voor de overige boxmetingen op Dwarsdijk Oost. Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

- De meeste methaanfluxen zijn < 10 ml/m²/uur. De twee hogere waarden (50 – 60 ml/m²/uur) zijn aan de voet van de zandverhoging gemeten, op de drassige grond op enige afstand van de putten (zie Figuur 10).
- De ethaan/methaanratio's met een R² > 0.75 zijn allen laag (< 0.15%).
- De boxmetingen boven de verticale drainagelinten laten geen opvallende methaan- of ethaansignalen zien. Bij box 24 wordt wel een hogere ratio afgeleid van 0.8%, maar door de te lage R² waarde is de betekenis hiervan gering.

Tabel 9: Resultaten boxmetingen Dwarsdijk Oost - Overige metingen

Naam	Bron	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
DO_3nov_Box10a	Bodem			-	2.5			15.0	8.1	0.99
DO_3nov_Box10b	Bodem		x	1.5	100	2.0E-05	0.91			
DO_3nov_Box10c	Bodem		x	0.4	30	2.0E-05	0.49			
DO_3nov_Box10d	Bodem	DO_3nov_CIO 522	x	0.3	8	2.0E-05	0.12			
DO_3nov_Box11	Bodem			0.2	1.2			12.0	6.5	0.88
DO_3nov_Box12	Bodem			0.1	0.02					
DO_3nov_Box13	Bodem			-	0.04					
DO_3nov_Box14	Bodem			-	0					
DO_3nov_Box15a	Bodem		x	0.2	0.05					
DO_3nov_Box15b	Bodem		x	-	0.12					
DO_3nov_Box1a	Bodem			-	1			7.0	3.8	0.88
DO_3nov_Box1b	Bodem		x	20.0	350	3.0E-05	0.82			
DO_3nov_Box1c	Bodem		x	0.6	25	2.0E-05	0.55			
DO_3nov_Box1d	Bodem		x	0.2	10	2.0E-05	0.13			
DO_3nov_Box2	Bodem			-	0.2			2.4	1.3	0.92
DO_3nov_Box25	Bodem			-	23			107.0	57.8	0.97
DO_3nov_Box26	Bodem			-	-0.5					
DO_3nov_Box3	Bodem			-	0.4			2.5	1.4	0.96
DO_3nov_Box4	Bodem			-	1			3.1	1.7	0.94
DO_3nov_Box5	Bodem			-	2			11.0	5.9	1.00
DO_3nov_Box6	Bodem			0.2	0.15			5.4	2.9	0.94
DO_3nov_Box7	Bodem			0.5	0.06	-8.0E-04	0.01	0.4	0.2	0.78
DO_3nov_Box8	Bodem			-	0.35			4.7	2.5	0.97
DO_3nov_Box9	Bodem			-	0.35			3.7	2.0	0.97
DO_8dec_Box1	Bodem			0.2	0.03			0.4	0.2	0.78
DO_8dec_Box10	Bodem			0.2	1.1			15.0	8.1	0.97
DO_8dec_Box11	Bodem			0.3	0.25			3.2	1.7	1.00
DO_8dec_Box12	Bodem			0.2	0.4			1.9	1.0	0.96
DO_8dec_Box13	Bodem			0.2	0.01			0.1	0.0	0.74
DO_8dec_Box14	Bodem			0.2	0.01			0.2	0.1	0.82
DO_8dec_Box3	Bodem			0.2	0.035	1.0E-05	0.97	0.3	0.2	0.86
DO_8dec_Box9a	Bodem			0.2	0.5			6.9	3.7	0.98
DO_8dec_Box9b	Bodem		x	0.7	16	4.0E-05	0.93			
DO_8dec_refbox1a	Bodem			0.1	1.4			96.0	51.8	0.93
DO_8dec_refbox1b	Bodem		x	0.1	1					
DO_8dec_refbox2	Bodem			0.1	0.005					
DO_8dec_refbox3	Bodem			0.1	-0.01					
DO_8dec_refbox4	Bodem			0.2	0.015					
DO_3nov_Box24	Vertikale drain	DO_3nov_box24		0.5	0.08	8.0E-03	0.47			
DO_3nov_Box30	Vertikale drain			-	0					

Tabel 10 laat in meer detail de 4 opeenvolgende metingen op locatie box 10 zien. Zonder gat is er sprake van een lagere maar constante methaanflux (hoge R^2). Na het boren van een gat wordt de flux veel hoger (van 8 naar 288 ml/m²/uur), maar ook minder constant. Bij metingen 3 en 12 minuten later neemt de flux steeds verder af, terwijl deze ook constanter wordt (hogere R^2).

Tabel 10: Resultaten boxmeting 10, Dwarsdijk Oost, 3 november

Locatie	Opmerking	Eindtijd box	CH4	CH4	R2
		UTC	ppb/s	ml/m ² /uur	Helling CH4
DW10	zonder gat	09:01	15	8	0.99
	met gat 1e keer	09:15	534	288	0.48
	met gat 2e keer	09:18	395	213	0.57
	met gat 3e keer	09:27	43	23	0.78

Figuur 10 en Figuur 11 tonen respectievelijk de methaanfluxwaarden en maximale concentratieverhogingen van methaan en ethaan op de kaart. Hierbij worden alleen metingen op de onverstoorde bodem meegenomen. Deze kaarten laten zien dat de hoogste waarden gevonden worden aan de voet van de zandverhoging. Uit deze kaarten kan geen consistente verandering tussen de twee meetdagen worden afgelezen.

Methaanflux per meetpunt Dwarsdijk-Oost



Legenda

△ Ontwikkelboring	Methaanflux (ml/uur/m ²)
- - - Boortraject	
□ Peilbuis	
□ Sondering	
	0,02
	0,02 - 50,00
	>50,00

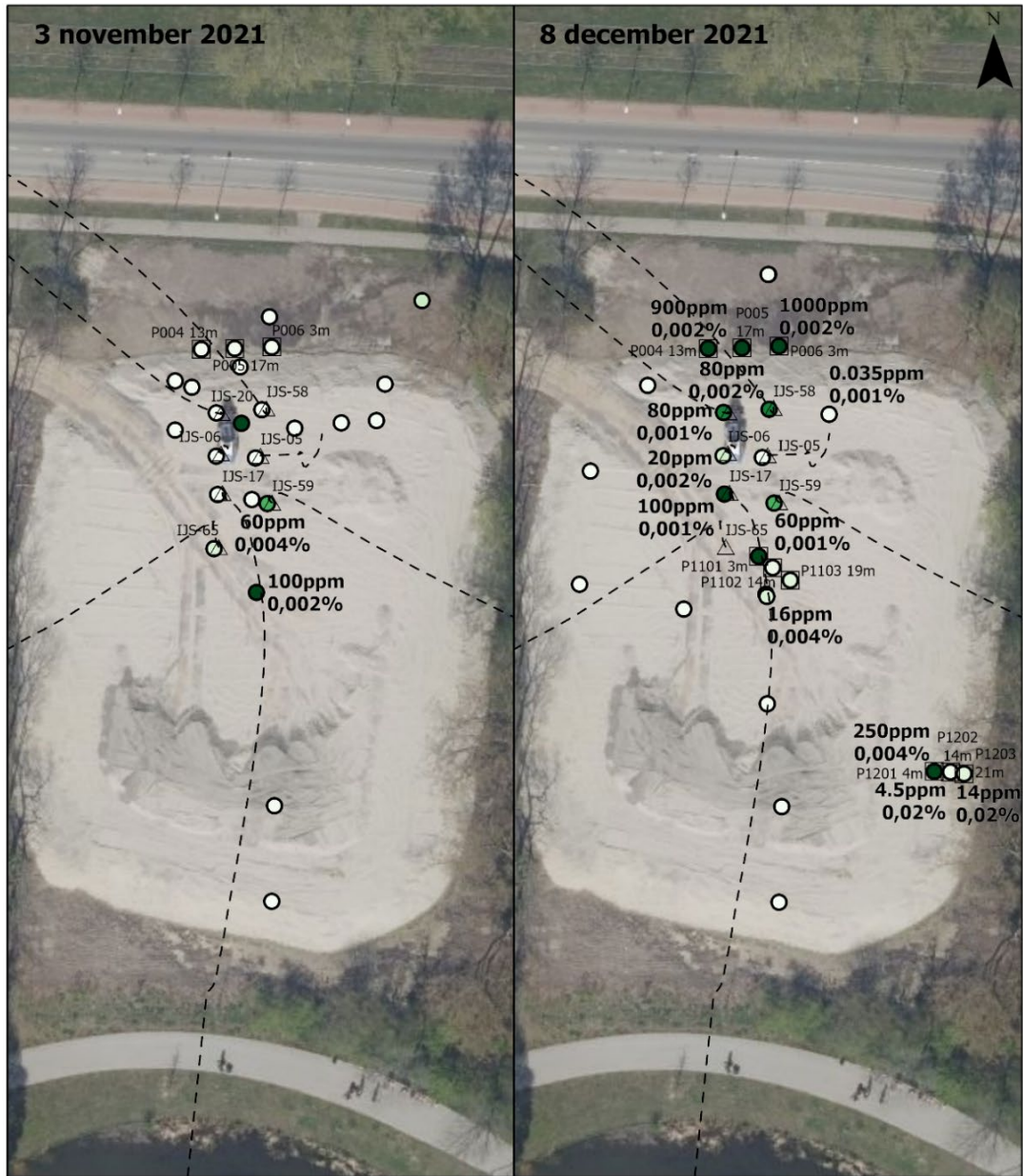
0 0,02 0,04 Kilometer



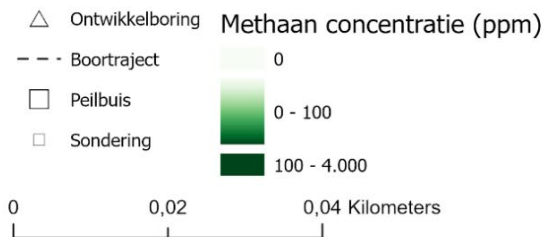
TNO innovation for life

Figuur 10: Fluxmetingen bodem Dwarsdijk Oost. Op de kaart staan enkel de metingen die op de onverstoorte bodem (zonder geboord gat) zijn genomen. De metingen met een flux van 10 ml/m²/uur of meer zijn gelabeld. Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaat van een punt.

Methaanconcentratie metingen Dwarsdijk-Oost



Legenda



TNO innovation for life

Figuur 11: Methaanconcentraties (ppm) o.b.v. QCL metingen bij meetlocatie Dwarsdijk Oost – op verschillende meetdagen. Op de kaart staan zowel de metingen met gat als zonder geboord gat, evenals QCL metingen bij peilbuizen. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.5.1. zijn de concentraties onderling niet goed vergelijkbaar. De metingen met een R^2 van 0.75 of hoger zijn gelabeld. Op deze labels is de ratio ethaan/methaan (%) toegevoegd. . Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

3.1.2 Gasmonsters: samenstelling & isotopensignatuur

3.1.2.1 Meetwaarden

Gascompositie en isotopensamenstelling van de gasmonsters genomen bij Dwarsdijk Oost staan gegeven in Tabel 11, Tabel 12, Figuur 12 en Figuur 13.

Tabel 11: Gassamenstelling monsters Dwarsdijk Oost.

Naam	Bron	Feature	Met gat	Diepte (m)	C1 (mol ppm)	C2 (mol ppm)	C3 (mol ppm)	C4 (mol ppm)	C5 (mol ppm)	C6+ (mol ppm)	N2 (mol%)	O2 (mol%)	CO2 (mol%)
DO_3nov_CIO 522	Bodem		x		71	nd	nd	nd	nd	nd	81.3	17.9	0.05
DO_8dec_IJS-06	Bodem_IJS-put	_IJS-06	x		15	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DO_8dec_IJS-17	Bodem_IJS-put	_IJS-17	x		12	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DO_8dec_IJS-20	Bodem_IJS-put	_IJS-20	x		97	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DO_8dec_IJS-58	Bodem_IJS-put	_IJS-58	x		76	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DO_3nov_IJS-59	Bodem_IJS-put	_IJS-59	x		63	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.06
DO_8dec_IJS-59	Bodem_IJS-put	_IJS-59	x		12	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DO_3nov_IJS-65	Bodem_IJS-put	_IJS-65	x		16	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
DO_30nov_P004	Peilbuis	_P004		13.1	2,360	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	77.7	20.7	0.42
DO_3nov_P004	Peilbuis	_P004		13.1	57	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.07
DO_8dec_P004	Peilbuis	_P004		13.1	4,640	nd	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	77.5	20.6	0.56
DO_3nov_CIO 320_P004	Peilbuis	_P004		13.1	58	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
DO_30nov_P005	Peilbuis	_P005		17.1	6	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DO_3nov_P005P	Peilbuis	_P005		17.1	28	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
DO_8dec_P005	Peilbuis	_P005		17.1	108	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.08
DO_3nov_CIO 057_P005	Peilbuis	_P005		17.1	5	nd	nd	nd	nd	nd	78.6	20.4	0.05
DO_3nov_CIO 084_P005	Peilbuis	_P005		17.1	5	nd	nd	nd	nd	nd	79.3	19.8	0.05
DO_30nov_P006	Peilbuis	_P006		2.5	51	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DO_3nov_P006	Peilbuis	_P006		2.5	110	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
DO_8dec_P006	Peilbuis	_P006		2.5	16,300	0.2	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	76.8	20.6	0.05
DO_3nov_CIO 579_P006	Peilbuis	_P006		2.5	180	nd	nd	nd	nd	nd	79.9	19.2	0.06
DO_8dec_P1101	Peilbuis	_P1101		3.0	548	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.04
DO_8dec_P1102	Peilbuis	_P1102		14.5	9	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DO_8dec_P1103	Peilbuis	_P1103		19.0	6	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	21.0	0.04
DO_8dec_P1201	Peilbuis	_P1201		4.0	43	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.10
DO_8dec_P1202	Peilbuis	_P1202		14.0	6	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.8	0.11
DO_8dec_P1203	Peilbuis	_P1203		21.0	18	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.08
DO_3nov_box24	Vertikale drain				3	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05

Wat opvalt aan de resultaten:

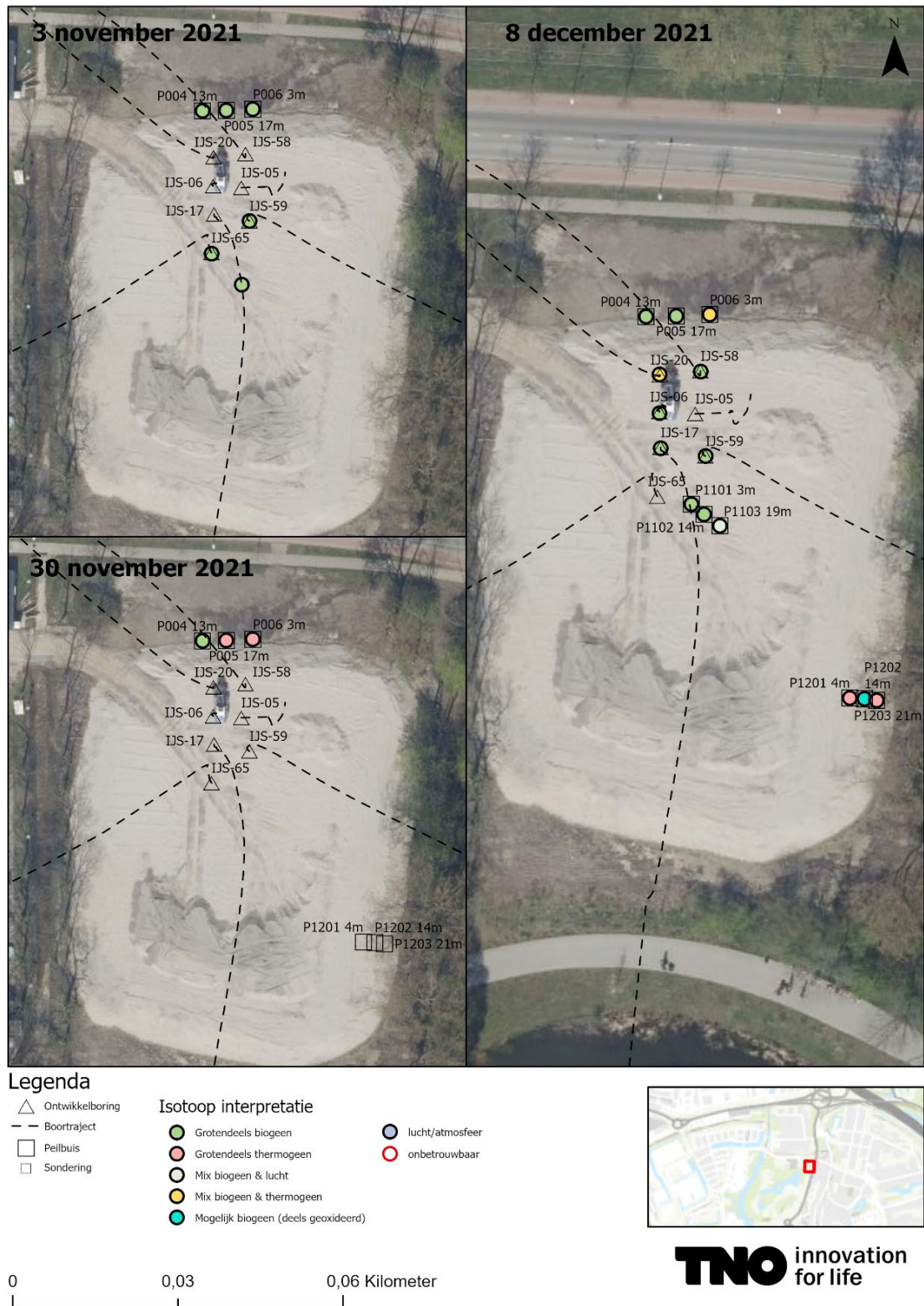
- De gasmonsters bestaan voornamelijk uit lucht (N₂ 78% en O₂ ~21%).
- Methaanconcentraties zijn over het algemeen (significant) hoger dan in buitenlucht; hogere koolwaterstoffen (ethaan en propaan) zijn niet in meetbare concentraties aanwezig. Uitzondering hierop is het gasmonster uit peilbuis P006 (van 8 december) waarbij 0.2 ppm ethaan is gemeten. In geen van de gasmonsters is H₂S aangetroffen.
- Methaan koolstof- en waterstofisotopen variëren respectievelijk tussen -70 en -25‰ en -300 en -85‰.
- CO₂ koolstofisotopen variëren van -15 tot -4‰, waarbij (vanwege de zwaardere δ¹³C ratio's) de gasmonsters uit peilbuizen P1201, P1202 & P1203 clusteren in het thermogene gebied ten opzicht van de overige gasmonsters die meer naar biogene herkomst neigen (Figuur 13).
- Gasmonsters van bodemmetingen boven de putten clusteren in methaan koolstof- en waterstofisotopen signatuur (respectievelijk -60 tot -50‰ en -290 tot -240‰) terwijl de gasmonsters uit de peilbuizen een grotere spreiding in waterstof- en koolstofisotopen omvatten.
- Het gasmonster uit peilbuis P1202 heeft een zeer hoge (aangerijkte) δD (-37.5‰) en is vanwege de gekozen schaal niet zichtbaar in Figuur 12.
- De isotopensignatuur van een gasmonster van een bodemmeting (Box 10, op ~10m ten zuiden van IJS-59) is vergelijkbaar met de gasmonsters van bodemmetingen boven de IJsselmonde putten. De isotopensignatuur van de bodemmeting boven een drainagelint (Box 24) is onbetrouwbaar door de zeer lage methaanconcentratie.

Tabel 12 hieronder geeft een overzicht van de isotopensignatuur en de uiteindelijke interpretatie van de herkomst per gasmonster. De interpretatie wordt toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 14 toont de interpretatie per meetpunt op de kaart. In het geval van meerdere gasmonsters op één meetpunt en meetdag, is de interpretatie getoond voor het gasmonster met de hoogste methaanconcentratie.

Tabel 12: Isotopensignatuur en interpretatie herkomst van verzamelde gasmonsters voor Dwarsdijk Oost.

Naam	Bron	Feature	Diepte peilbuis (m)	Methaan-concentratie sample (ppm)	IMAU - d13C (CH4) sample	IMAU - d2H (CH4) sample	ISOLAB - d13C (CO2)	ISOLAB - d13C (CH4)	ISOLAB - d2H (CH4)	Interpretatie
DO_3nov_CIO 522	Bodem			71.0	-63.3	-263.5	-14.2	-63.2		Grotendeels biogeen
DO_8dec_IJS-06	Bodem IJS-put	IJS-06		13.8	-61.3	-241.0	-9.5			Grotendeels biogeen
DO_8dec_IJS-17	Bodem IJS-put	IJS-17		10.4	-57.6	-265.6	-9.2			Grotendeels biogeen
DO_8dec_IJS-20	Bodem IJS-put	IJS-20		89.0	-51.7	-247.6	-9.3	-52.9		Mix biogeen & thermogeen
DO_8dec_IJS-58	Bodem IJS-put	IJS-58		75.0	-60.3	-268.2	-10.7	-59.6		Grotendeels biogeen
DO_3nov_IJS-59	Bodem IJS-put	IJS-59		54.0	-56.3	-294.5	-12.9	-57.8		Grotendeels biogeen
DO_8dec_IJS-59	Bodem IJS-put	IJS-59		10.8	-62.2	-265.8	-9.2			Grotendeels biogeen
DO_3nov_IJS-65	Bodem IJS-put	IJS-65		14.0	-63.1	-244.9	-11.6	-62.5		Grotendeels biogeen
DO_3nov_Background	Buitenlucht (achtergr)			2.7	-50.4	-132.4				lucht/atmosfeer
DO_30nov_P004	Peilbuis	P004	13.1	2,360.0	-63.6	-204.3	-3.7	-63.6	-225	Grotendeels biogeen
DO_3nov_P004	Peilbuis	P004	13.1	51.5	-53.7	-85.9	-12.4	-54.3		Grotendeels biogeen
DO_8dec_P004	Peilbuis	P004	13.1	4,640.0	-64.4	-206.2	-3.6	-64.5	-227	Grotendeels biogeen
DO_3nov_CIO 320_P004	Peilbuis	P004	13.1	58.0			-13.8	-58.9		Grotendeels biogeen
DO_30nov_P005	Peilbuis	P005	17.1	5.4	-41.5	-148.8	-10.3			Grotendeels thermogeen
DO_3nov_P005B	Peilbuis	P005	17.1	6.2	-58.1	-175.2				Grotendeels biogeen
DO_3nov_P005P	Peilbuis	P005	17.1	28.0	-66.8	-185.3	-12.7	-67		Grotendeels biogeen
DO_8dec_P005	Peilbuis	P005	17.1	108.0	-58.7	-167.4	-12.7	-59.2		Grotendeels biogeen
DO_3nov_CIO 057_P005	Peilbuis	P005	17.1	5.0			-12.6			geen CH4 d13C & dD meting
DO_3nov_CIO 084_P005	Peilbuis	P005	17.1	5.0			-11.9			geen CH4 d13C & dD meting
DO_30nov_P006	Peilbuis	P006	2.5	49.7	-45.0	-220.2	-10.4	-44.8		Grotendeels thermogeen
DO_3nov_P006	Peilbuis	P006	2.5	74.5	-56.7	-226.6	-12.9	-61.2		Grotendeels biogeen
DO_8dec_P006	Peilbuis	P006	2.5	16,300.0	-49.4	-240.5	-12.8	-49.6	-260	Mix biogeen & thermogeen
DO_3nov_CIO 579_P006	Peilbuis	P006	2.5	180.0			-14.5	-60.6		Grotendeels biogeen
DO_8dec_P1101	Peilbuis	P1101	3.0	548.0	-69.5	-305.5	-10.2	-70.2	-331	Grotendeels biogeen
DO_8dec_P1102	Peilbuis	P1102	14.5	8.7	-58.6	-243.9	-9.5			Grotendeels biogeen
DO_8dec_P1103	Peilbuis	P1103	19.0	5.3	-51.5	-186.3	-9.3			Mix biogeen & lucht
DO_8dec_P1201	Peilbuis	P1201	4.0	38.7	-25.8	-122.1	-12.9	-26.9		Grotendeels thermogeen
DO_8dec_P1202	Peilbuis	P1202	14.0	6.3	-26.2	-37.5	-16.0			Mogelijk biogeen (deels geoxideerd)
DO_8dec_P1203	Peilbuis	P1203	21.0	16.8	-35.2	-159.6	-15.5	-35.6		Grotendeels thermogeen
DO_3nov_box24	Vertikale drain			3.1	-51.0	-153.9	-12.3			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)

Isotopeninterpretatie Dwarsdijk-Oost



Figuur 14: Isotopeninterpretatie per meetpunt Dwarsdijk Oost

3.1.2.2 Toelichting interpretatie

Gasmonsters uit meetbox op bodem

De isotopensignatuur van de gasmonsters verzameld uit de meetbox boven de geabandonneerde IJsselmonde putten duiden op een voornamelijk biogene oorsprong van het aangetroffen methaangas (met uitzondering van de meting boven IJS-20). Alleen boven IJS-59 zijn op meerdere dagen (3 november en 8 december) gasmonsters verzameld. Ondanks kleine variaties in isotopenwaarden en methaanconcentraties, duiden de resultaten van dit gasmonster voor beide meetdagen op een biogene oorsprong. Gasmetingen op een referentielocatie ten zuiden van de putten (bodemgat meting Box 10) laten ook een grotendeels biogene isotopensignatuur zien.

De methaan koolstofisotopen verhouding in het gasmonster gerelateerd aan IJS-20 is significant zwaarder (-51.7‰) in vergelijking met de andere gasmonsters verzameld boven de IJsselmonde putten. De methaan waterstofisotopen signatuur en methaan-concentraties zijn echter vergelijkbaar met de andere bodemmetingen. De zwaardere methaan koolstofisotopen verhouding duidt erop dat er menging heeft plaatsgevonden met een methaangas met zwaardere isotopensignatuur. Dit gasmonster wordt derhalve geïnterpreteerd als een mengsel van gas met een biogene en thermogene oorsprong. Menging met gas wat significante methaanoxidatie heeft ondergaan is niet aannemelijk omdat de CO₂ koolstofisotopen verhouding van dit gasmonster (-9.3‰) vergelijkbaar is met de andere gasmonsters uit de bodemmetingen.

Gasmonsters uit peilbuizen

De isotopendata van gasmonsters genomen uit de verschillende peilbuizen laten een grotere variatie in gasoorsprong zien, van voornamelijk biogene tot een mengsel van biogeen-thermogeen tot voornamelijk thermogene gasoorsprong. Binnen deze variatie lijkt de herkomst van het gas locatie gebonden te zijn.

Peilbuizen P004, P005 en P006 liggen ongeveer 10 meter ten noorden van de putten en zijn op alle drie de meetdagen bemonsterd. Voor peilbuizen P004 (filterdiepte 13m) en P005 (filterdiepte 17m) duiden de isotopensignaturen op een voornamelijk biogene gasoorsprong. In peilbuis P004 wordt dit consistent over de drie meetdagen aangetroffen. Er is echter geen oudere data beschikbaar; deze peilbuis is niet bemonsterd door NAM (september 2021) en voor de Panterra gasmonsters (juli 2021) waren de concentraties te laag om een isotopenmeting uit te voeren. Gebaseerd op de beschikbare data wordt voor P004 geconcludeerd dat het methaangas een biogene gas oorsprong heeft.

Voor peilbuis P005 duiden de isotopensignaturen op de meetdagen 3 november en 8 december op een biogene herkomst. In het gasmonster genomen op 30 november, duidt de isotopensignatuur op een voornamelijk thermogene oorsprong; methaanoxidatie in dit gas monster is niet aannemelijk gezien de CO₂ koolstof isotopen (-10.3‰). De methaanconcentratie in het 30 november gasmonster is echter erg laag (6 ppm) waardoor deze meting wellicht minder betrouwbaar is. Data van eerder genomen gasmonsters (Panterra_juli2021 en NAM_september2021) duiden voor deze peilbuis op een biogene oorsprong. Gebaseerd op de beschikbare data wordt voor P005 geconcludeerd dat het methaangas een voornamelijk biogene gasoorsprong heeft. Een eventuele thermogene gasbijdrage kan niet uitgesloten

worden, maar is gezien de lage methaanconcentratie in het betreffende gasmonster niet evident.

Voor P006 (qua filterdiepte de ondiepste peilbuis op 2.5 meter diepte) is de isotopensignatuur niet eensluidend. De data van 3 november duiden op gas van voornamelijk biogene oorsprong, op 30 november van voornamelijk thermogene oorsprong en op 8 december een mengsel van biogene en thermogene oorsprong. De methaanconcentraties variëren significant over de meetdagen maar er is geen relatie tussen gasconcentratie en isotopensignatuur. In de meting van 8 december wordt een zeer hoge methaanconcentratie aangetroffen (~16000ppm) alsmede 0.2 ppm ethaan. De isotopen data voor dit gasmonster suggereert een mengsel van thermogeen en biogeen gas. Voor het gasmonster genomen op 30 november is de methaanconcentratie significant lager (51 ppm) en bevat het geen meetbaar ethaan; de isotopen data echter suggereert voor dit gasmonster een voornamelijk thermogene oorsprong. Voor deze peilbuis zijn ook oudere data beschikbaar (voornamelijk methaan koolstofisotopen) waarbij het NAM gasmonster (september 2021) op een grotendeels biogene gasoorsprong duidt terwijl het Panterra gasmonster (juli 2021) op een mengsel biogeen en thermogeen gas ($\delta^{13}\text{C}$ -41.5‰) duidt. Gebaseerd op de beschikbare data wordt voor P006 geconcludeerd dat het methaangas een mengsel is van thermogeen en biogeen gas. Bij gebrek aan uitgangssamenstellingen (*endmembers*) is de mate van menging lastig te bepalen.

De peilbuizen P1101, P1102 en P1103 liggen direct ten zuiden van de IJsselmonde putten (ongeveer ter hoogte van IJS-65) en laten geen correlatie zien tussen gascompositie, isotopensignatuur en filterdiepte. Isotopendata voor alle drie de peilbuizen duiden op een grotendeels biogene herkomst. Voor twee peilbuizen (P1102 en P1103) is de methaanconcentratie erg laag (respectievelijk 9 en 6 ppm) waardoor de interpretatie minder betrouwbaar is omdat ze in de buurt van atmosferische concentraties komen. Door de lage methaanconcentratie in P1103 verschuift de isotopensignatuur richting de achtergrondwaarden gemeten nabij Dwarsdijk Oost. De CO₂ koolstofisotopen voor deze twee peilbuizen duiden ook op een nagenoeg atmosferische signatuur. Het gasmonster uit peilbuis P1101 heeft een hogere methaanconcentratie, echter ook hier duiden de methaan en CO₂ isotopendata op een voornamelijk biogene oorsprong van het bemonsterde gas.

De isotopendata van gasmonsters uit peilbuizen P1201, P1202 en P1203 (welke ongeveer 35 m ten zuidoosten van IJS-65 liggen) duiden voor alle drie op een grotendeels thermogene herkomst (zie ook Figuur 13). De methaan koolstofisotopen voor deze gasmonsters zijn vergelijkbaar met isotopenwaarden die worden aangetroffen in gasreservoirs (NLOG database en Figuur 12). Deze zijn lichter (~ -35 tot -25‰) dan de bandbreedte voor koolstofisotopen uit het IJsselmonde veld gegeven door NAM (-38 tot -44‰, NAM, 2021). P1203 (met filterdiepte van 21m de diepste peilbuis van de drie) is qua koolstof- en waterstofisotopen samenstelling vergelijkbaar met de isotopensignatuur van het Holland Groenzand gas reservoir uit put PRN-01-S1 (TNO (2021) en Figuur 12).

Voor P1202 (met filterdiepte op 14 m de middelste van de drie peilbuizen) zijn de koolstofisotopen vergelijkbaar met P1201 en P1203, maar het heeft een veel zwaardere δD (-37.5‰). Significante methaanoxidatie zou deze zwaardere δD kunnen verklaren. Methaanoxidatie resulteert doorgaans in een lagere methaanconcentratie wat ook in de gasmonster is aangetroffen (6 ppm). De lage concentratie maakt de meting echter ook minder betrouwbaar. Wanneer ook naar de CO₂ koolstofisotopen wordt gekeken (-16.0‰) dan lijkt methaanoxidatie niet plausibel, aangezien dan veel zwaardere koolstofisotopen ratio's zouden worden verwacht. Jacques et al. (2019) vonden zeer verhoogde waterstofisotopen ratio's in

watermonsters in de Schelde en konden deze niet verklaren door middel van alleen methaanoxidatie, maar suggereerde dat een onbekende, lokale methaanbron aanwezig zou kunnen zijn. Voor peilbuis P1202 is een zeer lokale methaanbron echter niet plausibel gezien de nabije locatie van peilbuis P1201 en P1203 (weliswaar andere filterdieptes). Er is op het moment nog geen goede verklaring voor de zeer verhoogde waterstofisotopen ratio in P1202.

Gebaseerd op de beschikbare data wordt geconcludeerd dat het aangetroffen methaan in peilbuizen P1201, P1202 en P1203 een voornamelijk thermogene oorsprong heeft. De peilbuizen liggen op enige afstand van de IJsselmonde putten en niet boven een van de gedeveerde putpaden (Figuur 14). De bron van het thermogene gas is niet eensluidend, maar het gas zou afkomstig kunnen zijn uit het Holland Groenzand Laagpakket. Isotopendata over ondieper gelegen gasreservoirs (Basaal Dongen laagpakket) ontbreekt (zie ook Appendix C), waardoor er geen uitspraken gedaan kunnen worden of het eventueel afkomstig is uit dit gasreservoir.

3.1.3 Conclusie

Op basis van de interpretatie van de QCL metingen van de drie verschillende meetdagen kan worden geconcludeerd dat er sprake is van methaanflux uit de bodem:

- De maximale methaanflux uit de (onverstoorde) bodem op de zandverhoging is ca. 51 ml/m²/uur, boven IJS-58.
- De hoogste methaanflux op de locatie komt uit drassige bodem aan voet van zandverhoging, ca. 60 ml/m²/uur.
- Er is geen opvallende correlatie tussen de hoogste meetwaarden en de locatie van de putten.
- Boven twee verticale drainagelinten worden geen hogere concentraties gemeten dan op andere plekken.

Ten aanzien van de herkomst van dit methaan kan worden gesteld dat:

- De gemeten ethaan/methaanratio's zijn laag. Hiermee kan niet worden aangetoond noch uitgesloten dat er sprake is van een bijdrage van thermogeen gas uit een reservoir met laag ethaangehalte. Het is wel nagenoeg uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put) uit een reservoir met een ethaangehalte van >1%.
- Gasmonsters van bodemmetingen boven de putten duiden op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas (met uitzondering van IJS-20). Op de locatie van IJS-59 is op twee opeenvolgende meetdagen bemonsterd en hieruit volgt een consistent beeld van gas van biogene oorsprong. Isotopensignatuur van een gasmonster genomen boven IJS-20 duidt op een mengsel van gas met een biogene en thermogene oorsprong.
- Gasmonsters uit peilbuizen direct naast IJS-65 (P1101, P1102 en P1103) hebben een grotendeels biogene herkomst.
- Gasmonsters verzameld uit peilbuizen (P1201, P1202 en P1203) ten zuidoosten van de putten hebben de grotendeels thermogene herkomst. De precieze bron is onbekend.
- Peilbuizen die op enkele meters afstand van de putten liggen (P004, P005 en P006) geven een tweeledig beeld. Uit P006 zijn gasmonsters verzameld met een isotopensignatuur wat duidt op een gasmengsel van thermogene en biogene oorsprong; voor peilbuizen P004 en P005 duidt de isotopensignatuur op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas.

3.2 Dwarsdijk West

3.2.1 Boxmetingen

Tabel 13 laat de maximale concentratieverhoging in ethaan en methaan, de ethaan/methaanratio en de methaanflux zien voor iedere boxmeting uitgevoerd boven de IJsselmonde putten op Dwarsdijk West.

Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

- Er is een duidelijk en consistent verschil tussen maximale concentraties gemeten op de onverstoorde bodem, en boven een nieuw boorgat. Na het boren van een gat worden er (tijdelijk) hogere concentraties methaan en/of ethaan gemeten. Met gat is de concentratieverhoging een factor 10 tot 100 groter dan zonder.
- De ethaan/methaanratio's zijn laag.
- De grootste concentratieverhoging en methaanflux wordt boven IJS-46 gemeten.

Tabel 13: Resultaten boxmetingen Dwarsdijk West - Boven IJsselmonde putten

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
DW_8dec_Box6a_IJS-07	Bodem_IJS-put	IJS-07			0.1	0.5			5.0	2.7	0.94
DW_8dec_Box6c_IJS-07	Bodem_IJS-put	IJS-07		x	0.1	0.7					
DW_8dec_Box6d_IJS-07	Bodem_IJS-put	IJS-07		x	0.1	0.35					
DW_8dec_Box7a_IJS-21	Bodem_IJS-put	IJS-21			0.1	0.25			2.2	1.2	0.95
DW_8dec_Box7b_IJS-21	Bodem_IJS-put	IJS-21		x	0.2	27					
DW_8dec_Box8a_IJS-26	Bodem_IJS-put	IJS-26			0.1	0.25			2.2	1.2	0.95
DW_8dec_Box8b_IJS-26	Bodem_IJS-put	IJS-26			0.1	0.4			8.2	4.4	0.98
DW_8dec_Box8c_IJS-26	Bodem_IJS-put	IJS-26		x	0.1	3.2					
DW_8dec_Box9a_IJS-46	Bodem_IJS-put	IJS-46			0.1	7			53.0	28.6	0.97
DW_8dec_Box9b_IJS-46	Bodem_IJS-put	IJS-46	DW_8dec_IJS-46b	x	2.5	60	9.0E-06	0.95			
DW_8dec_Box9c_IJS-46	Bodem_IJS-put	IJS-46	DW_8dec_IJS-46c	x	25.0	1000	3.0E-05	0.92			

Tabel 14 toont de meetresultaten voor de overige boxmetingen op Dwarsdijk West.

Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

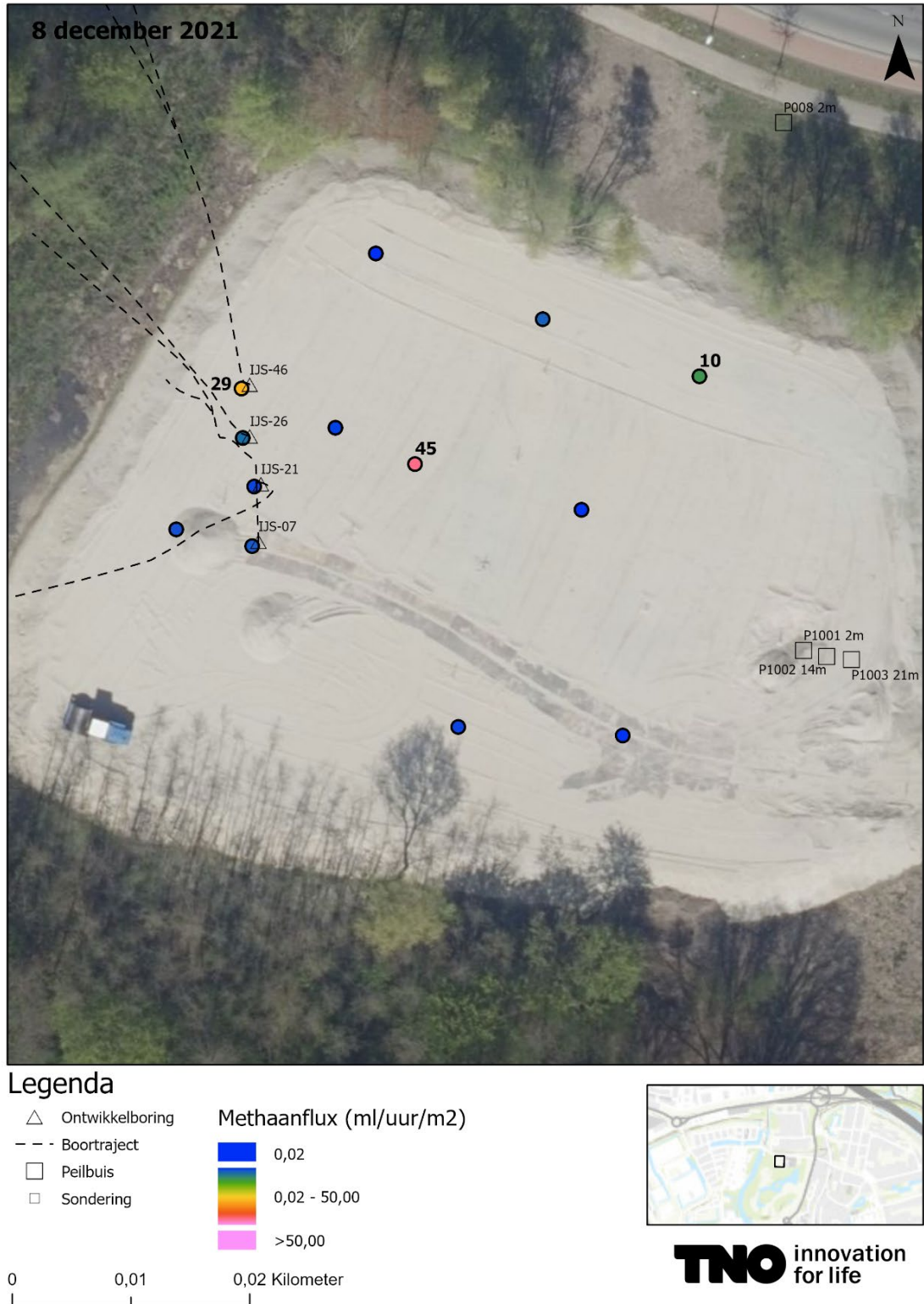
- De meeste concentraties en fluxen blijven laag. Bij box 11 wordt een hogere methaanflux gemeten dan boven IJS-46. Na het maken van een gat loopt de methaanconcentratie bij box 20 op tot 4000 ppm.
- De ethaan/methaanratio's zijn allemaal laag, behalve bij box 2, waar een ratio van 0.35% wordt afgeleid. Het gaat hier in absolute zin wel om de minimale ethaanconcentratieverhoging die überhaupt als meetsignaal kan worden geïnterpreteerd. De betekenis van deze bevinding is onduidelijk, maar door de zeer lage concentraties, zowel van methaan als ethaan, en omdat het slecht één meting betreft, kunnen hier geen conclusies aan worden verbonden.
- De boxmetingen boven de verticale drainagelinten laten geen opvallende methaan- of ethaansignalen zien.

Tabel 14: Resultaten boxmetingen Dwarsdijk West - Overige metingen

Naam	Bron	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
DW_8dec_Box1	Bodem			0.1	0.04			0.4	0.2	0.98
DW_8dec_Box11	Bodem			0.1	6			83.0	44.8	0.99
DW_8dec_Box12	Bodem			0.1	0.1			0.5	0.3	0.50
DW_8dec_Box13	Bodem			0.1	0.002					
DW_8dec_Box14	Bodem			0.1	0.04					
DW_8dec_Box15a	Bodem			0.1	0.015					
DW_8dec_Box15b	Bodem		x	0.5	15	4.0E-05	0.92			
DW_8dec_Box16	Bodem			0.1	1.5			18.7	10.1	0.88
DW_8dec_Box17a	Bodem			0.1	0.5			6.1	3.3	1.00
DW_8dec_Box17b	Bodem		x	1.0	40	1.0E-05	0.82			
DW_8dec_Box18a	Bodem			0.1	0.03			0.2	0.1	0.88
DW_8dec_Box18b	Bodem	DW_8dec_Box30	x	2.0	14	2.0E-05	0.95			
DW_8dec_Box19	Bodem			0.1	-0.2					
DW_8dec_Box2	Bodem			0.3	0.15	3.5E-03	0.82	2.4	1.3	0.98
DW_8dec_Box20	Bodem	DW_8dec_Box32	x	50.0	4000	2.0E-05	0.90			
DW_8dec_Box4	Bodem			0.1	0.005					
DW_8dec_Box5a	Bodem			0.1	0.3			3.5	1.9	0.99
DW_8dec_Box5b	Bodem		x	8.0	350	2.0E-05	0.99			
DW_8dec_Box6b	Bodem		x	5.0	20	2.0E-05	0.98			
DW_8dec_Box10	Vertikale drain			0.1	0.15			1.9	1.0	0.99
DW_8dec_Box3	Vertikale drain			0.1	0.015					

Figuur 15 en Figuur 16 tonen respectievelijk de methaanfluxwaarden en maximale concentratieverhogingen van methaan en ethaan op de kaart. Hierbij worden alleen metingen op de onverstoorde bodem meegenomen. Deze kaarten laten zien dat de hoogste waarden gevonden worden bij put IJS-46 en ca. 10 meter ten zuidoosten van die put, bij box 11. Box 16, met 10 ml/m²/uur de op twee na grootste flux, en box 2, met een hogere ethaan/methaanratio dan de andere locaties, liggen beiden op ca. 20 meter van de putten af.

Methaanflux per meetpunt Dwarsdijk-West



Figuur 15: Berekende methaan fluxen aan de bodem van Dwarsdijk West. Op de kaart enkel de metingen die op de onverstoorde bodem (zonder geboord gat) zijn genomen. De metingen met een flux van 10 ml/m²/uur of meer zijn gelabeld. Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

Methaanconcentratie metingen Dwarsdijk-West



Legenda

- △ Ontwikkeld boring
 - - - Boortraject
 - Peilbuis
 - Sondring
- Methaan concentratie (ppm)
- 0
 - 0 - 100
 - 100 - 4.000

0 0,02 0,04 Kilometers



TNO innovation for life

Figuur 16: Methaanconcentraties (ppm) o.b.v. QCL metingen bij locatie Dwarsdijk West. Op de kaart staan zowel de metingen met gat als zonder geboord gat. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.5.1. zijn de concentraties onderling niet goed vergelijkbaar. De metingen met een R^2 van 0.75 of hoger zijn gelabeld. Op deze labels is de ratio ethaan/methaan (%) toegevoegd. Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

3.2.2 Gasmonsters: samenstelling & isotopensignatuur

3.2.2.1 Meetwaarden

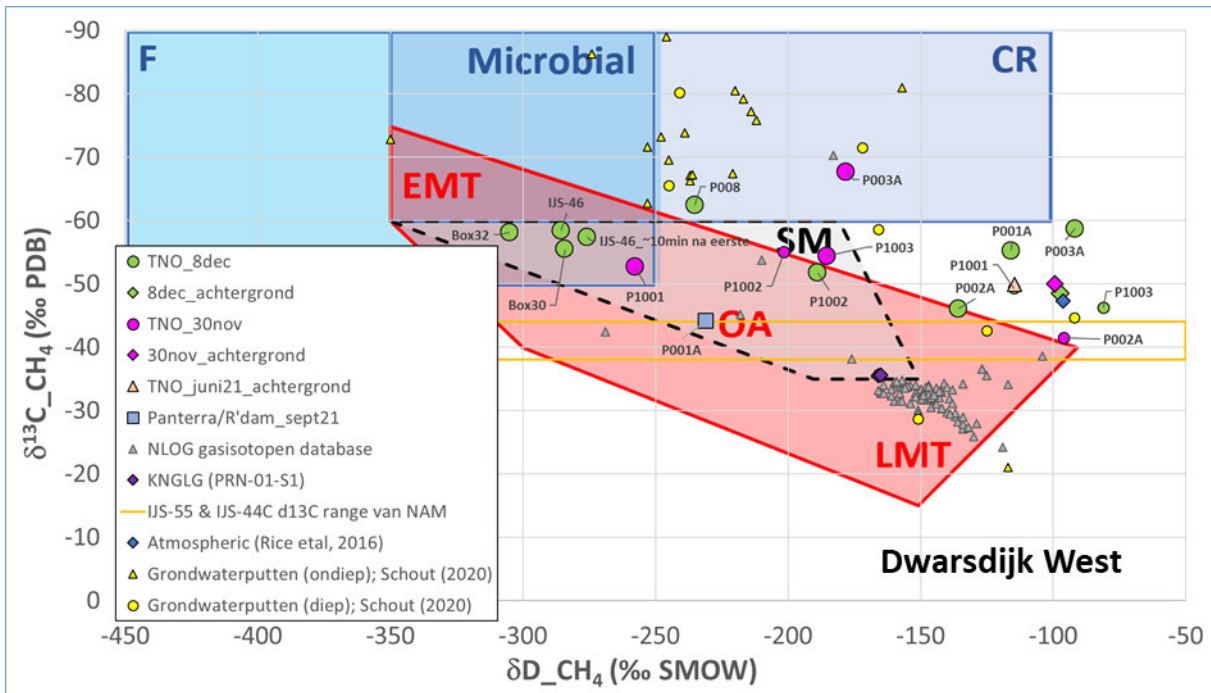
Gascompositie en isotopensamenstelling van de gasmonsters staan gegeven in Tabel 15, Tabel 16, Figuur 17 en Figuur 18.

Tabel 15: Gassamenstelling monsters Dwarsdijk West.

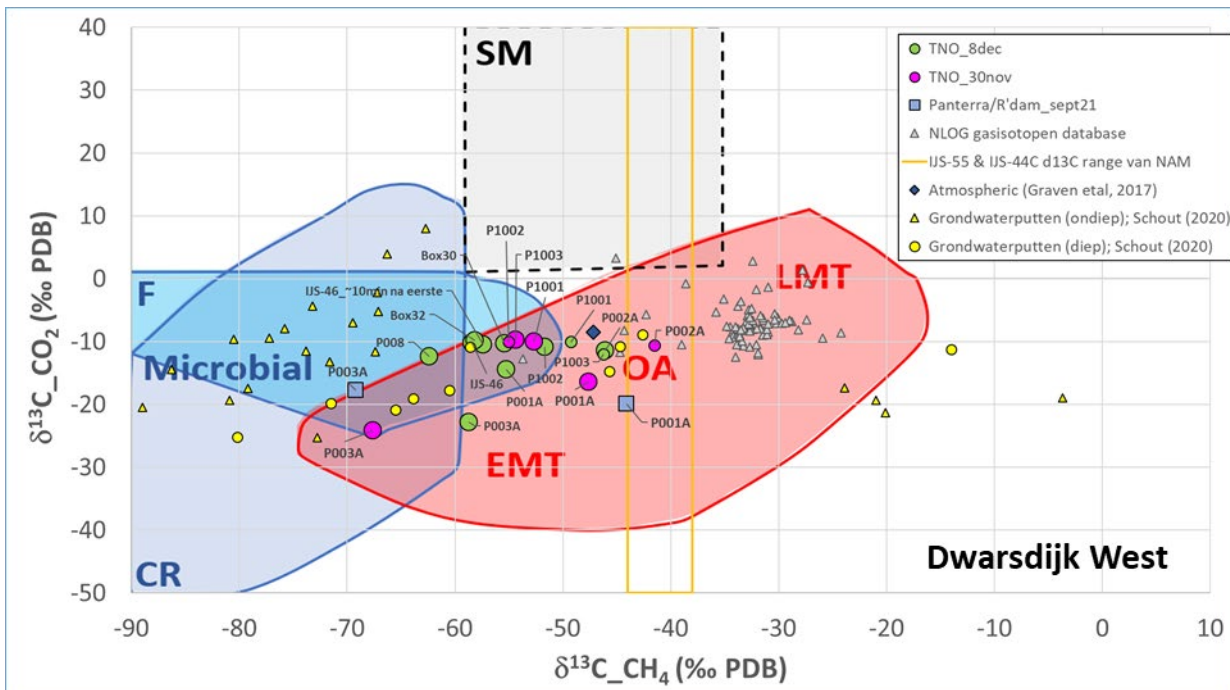
Naam	Bron	Feature	Met gat	Diepte (m)	C1 (mol ppm)	C2 (mol ppm)	C3 (mol ppm)	C4 (mol ppm)	C5 (mol ppm)	C6+ (mol ppm)	N2 (mol%)	O2 (mol%)	CO2 (mol%)
DW_8dec_Box30	Bodem		x		90	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DW_8dec_Box32	Bodem		x		72	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DW_8dec_IJS-46b	Bodem_IJS-put	IJS-46	x		69	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DW_8dec_IJS-46c	Bodem_IJS-put	IJS-46	x		193	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.04
DW_30nov_P001A	Peilbuis	P001A		13.0	43	nd	nd	nd	0.1	na	78.1	20.9	0.10
DW_8dec_P001A	Peilbuis	P001A		13.0	65	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	20.9	0.08
DW_30nov_P002A	Peilbuis	P002A		17.0	5	nd	nd	nd	nd	na	78.0	21.0	0.04
DW_8dec_P002A	Peilbuis	P002A		17.0	12	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.05
DW_30nov_P003A	Peilbuis	P003A		2.1	49	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.0	20.8	0.21
DW_8dec_P003A	Peilbuis	P003A		2.1	68	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	20.9	0.14
DW_8dec_P008	Peilbuis	P008		2.5	928	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.06
DW_30nov_P1001	Peilbuis	P1001		2.5	10	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	21.0	0.04
DW_8dec_P1001	Peilbuis	P1001		2.5	2	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
DW_30nov_P1002	Peilbuis	P1002		14.5	5	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	21.0	0.04
DW_8dec_P1002	Peilbuis	P1002		14.5	10	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	20.9	0.05
DW_30nov_P1003	Peilbuis	P1003		21.0	9	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	78.1	21.0	0.04
DW_8dec_P1003	Peilbuis	P1003		21.0	4	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.06

Wat opvalt aan de resultaten is:

- De gasmonsters bestaan voornamelijk uit lucht (N₂ 78% en O₂ ~21%).
- De methaanconcentraties zijn over het algemeen hoger dan in buitenlucht; hogere koolwaterstoffen (ethaan en propaan) zijn niet in meetbare concentraties aanwezig. H₂S is niet aangetroffen.
- Methaan koolstof- en waterstofisotopen variëren respectievelijk tussen -60 en -45‰ en -300 en -100‰. CO₂ koolstofisotopen variëren van -25 tot -10‰.
- Er is geen systematische relatie in variatie in isotopenwaarden tussen de verschillende meetdagen (bijvoorbeeld het gasmonster uit peilbuis P001A heeft δ¹³C van -47.6‰ op 30 november, en -55.3‰ op 8 december, terwijl gasmonster P003A -67.6‰ en 58.7‰ heeft voor respectievelijk 30 november en 8 december).
- Gasmonsters genomen uit de bodem (meting boven IJS-46 put (duplicaat), en op locatie enige meters ervandaan) hebben vergelijkbare δ¹³C waarden, maar hebben lagere δD (~ -280‰) dan gasmonsters uit de peilbuizen. Voor de CO₂ δ¹³C is er nagenoeg geen onderscheid tussen de peilbuizen en bodemmetingen.
- De hoogste methaanconcentratie is gemeten in een gasmonster uit peilbuis P008 (928 ppm); er wordt in dit monster echter geen meetbare hogere koolwaterstoffen aangetroffen.



Figuur 17: Methaan waterstof- en koolstofisotopen diagram voor de locatie Dwarsdijk West. Voor de gebruikte afkortingen en gebruik van symbolen zie Figuur 5.



Figuur 18: Methaan en CO₂ koolstofisotopen diagram voor de locatie Dwarsdijk West. Voor de gebruikte afkortingen en gebruik van symbolen zie Figuur 6.

Gasmonsters met een methaanconcentratie van < 5ppm worden als onbetrouwbaar beschouwd omdat deze concentratie dicht in de buurt van buitenlucht (~2ppm) ligt waardoor de achtergrondbijdrage een grote invloed heeft op de isotopensignatuur. In Figuur 17 en Figuur 18 zijn deze waarden wel weergegeven, maar hebben ze een kleinere symboolgrootte in vergelijking met de rest van de data.

Een gasmonster uit peilbuis P001A (30 november) heeft een zeer hoge (verrijkte) δD van -18.2‰ (de $\delta^{13}C$ is wel vergelijkbaar met de overige gasmonsters). Dit monster is vanwege de gekozen horizontale schaal niet zichtbaar in Figuur 17.

Tabel 16 geeft een overzicht van de isotopensignatuur en de uiteindelijke interpretatie van de herkomst per gasmonster. De interpretatie wordt toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 19 toont de interpretatie per meetpunt op de kaart. In het geval van meerdere gasmonsters op één meetpunt en meetdag, is de interpretatie getoond voor het gasmonster met de hoogste methaanconcentratie.

Tabel 16: Isotopensignatuur en interpretatie herkomst van verzamelde gasmonsters Dwarsdijk West.

Naam	Bron	Feature	Diepte peilbuis (m)	Methaanconcentratie sample (ppm)	IMAU - $\delta^{13}C$ (CH4) sample	IMAU - δ^2H (CH4) sample	ISOLAB - $\delta^{13}C$ (CO2)	ISOLAB - $\delta^{13}C$ (CH4)	ISOLAB - δ^2H (CH4)	Interpretatie
DW_8dec_Box30	Bodem			85.0	-55.4	-284.2	-10.3	-56.2		Grotendeels biogeen
DW_8dec_Box32	Bodem			68.9	-58.1	-305.1	-9.8	-58.4		Grotendeels biogeen
DW_8dec_IJS-46b	Bodem_IJS-put	IJS-46		67.3	-58.4	-285.6	-10.2	-57.9		Grotendeels biogeen
DW_8dec_IJS-46c	Bodem_IJS-put	IJS-46		193.0	-57.4	-275.9	-10.5	-58.1	-299	Grotendeels biogeen
DW_30nov_Background	Buitenlucht (achtergrond)			2.3	-50.0	-99.4				lucht/atmosfeer
DW_8dec_Background	Buitenlucht (achtergrond)			2.1	-48.5	-97.5				lucht/atmosfeer
DW_30nov_P001A	Peilbuis	P001A	13.0	42.1	-47.6	-18.2	-16.4	-47.2		Mogelijk biogeen (deels geoxideerd)
DW_8dec_P001A	Peilbuis	P001A	13.0	54.7	-55.3	-115.9	-14.4	-57.8		Mix biogeen & lucht
DW_30nov_P002A	Peilbuis	P002A	17.0	4.7	-41.5	-96.0	-10.6			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)
DW_8dec_P002A	Peilbuis	P002A	17.0	11.3	-46.1	-135.8	-11.4			Mix biogeen & thermogeen
DW_30nov_P003A	Peilbuis	P003A	2.1	42.0	-67.6	-178.3	-24.1	-68.7		Mogelijk biogeen (deels geoxideerd)
DW_8dec_P003A	Peilbuis	P003A	2.1	62.9	-58.7	-91.8	-22.8	-56.7		Mogelijk biogeen (deels geoxideerd)
DW_8dec_P008	Peilbuis	P008	2.5	928.0	-62.4	-235.1	-12.4	-62.8	-257	Grotendeels biogeen
DW_30nov_P1001	Peilbuis	P1001	2.5	7.6	-52.7	-257.7	-10.0			Grotendeels biogeen
DW_8dec_P1001	Peilbuis	P1001	2.5	2.4	-49.3	-114.8	-10.1			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)
DW_30nov_P1002	Peilbuis	P1002	14.5	4.6	-55.0	-201.5	-10.1			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)
DW_8dec_P1002	Peilbuis	P1002	14.5	8.1	-51.7	-188.8	-10.9			Grotendeels biogeen
DW_30nov_P1003	Peilbuis	P1003	21.0	7.6	-54.4	-185.3	-9.7			Mix biogeen & lucht
DW_8dec_P1003	Peilbuis	P1003	21.0	3.0	-46.2	-81.0	-12.0			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)

Isotopeninterpretatie Dwarsdijk-West



Figuur 19: Isotopeninterpretatie per meetpunt Dwarsdijk West

3.2.2.2 Toelichting interpretatie

De gasisotopen data voor de bodem en peilbuizen bemonsterd bij Dwarsdijk West laten grotendeels een biogene isotopensignatuur zien. Gebaseerd op de waterstofisotopen kan onderscheid gemaakt worden tussen de gasmonsters genomen uit de bodem (boxmetingen) en de peilbuizen, waarbij de gasmonsters uit de meetbox duidelijker naar een biogene oorsprong neigen. Voor de peilbuizen is de isotopensignatuur niet altijd eensluidend: voor een aantal metingen (bijv. P001A & P003A van 30 november en P003A van 8 december) lijkt het gas van voornamelijk biogene oorsprong, waarbij methaanoxidatie niet uitgesloten kan worden (CO_2 koolstofisotopen -24 tot -16‰). Bij andere metingen aan de peilbuizen (bijv. P1003 van 30 november en P001A van 8 december) lijkt sprake van een mengsel van biogeen gas met lucht waarbij de isotopen van de gasmonsters in de buurt komen van de gemeten achtergrondwaarden. Overige peilbuizen (P1001 en P1002) hebben een voornamelijk biogene gasoorsprong. Peilbuis P008 heeft de hoogste methaanconcentratie in Dwarsdijk West, maar heeft een biogene isotopensignatuur.

De isotopen signatuur van gasmonster P002A (8 december) duidt op een mengsel van biogeen en thermogeen gas. Dit gasmonster heeft echter wel een lage methaanconcentratie (12 ppm). Een eerdere meeting aan deze peilbuis (30 november) gaf een nog lagere methaanconcentratie (5 ppm), waardoor deze meting als onbetrouwbaar wordt beschouwd. Gezien de CO_2 -koolstofisotopen signatuur van de 8 december meting (-11.4‰) lijkt methaanoxidatie niet aannemelijk, waardoor een thermogene gascontributie de meest waarschijnlijke verklaring is.

Voor de waterstof isotopensignatuur van P001A (30 november) is geen duidelijke verklaring. De $\delta^{13}\text{C}$ duidt op een thermogene bijdrage. De sterk verrijkte δD waarde is een indicatie voor methaanoxidatie. Uitgaande van een gesloten systeem zal doorgaande oxidatie gepaard gaan met een afname van de methaanconcentratie. De gascompositie geeft echter geen significant lagere methaanconcentratie in vergelijking met gasmonsters die geen extreem verrijkte δD waarden hebben.

3.2.3 Conclusie

Op basis van de interpretatie van de QCL metingen kan worden geconcludeerd dat er inderdaad sprake is van methaanflux uit de bodem:

- De maximale methaanflux uit de (onverstoorde) bodem is ca. 45 ml/m²/uur.
- Er is geen opvallende correlatie tussen hoogste meetwaarden en de locatie van de putten.
- Boven twee verticale drainagelinten worden geen hogere concentraties gemeten dan op andere plekken.

Ten aanzien van de herkomst van dit methaan kan worden gesteld dat:

- De gemeten ethaan/methaanratio's zijn laag. Hiermee kan niet worden aangetoond noch uitgesloten dat er sprake is van een bijdrage van thermogeen gas uit een reservoir met laag ethaangehalte. Het is wel nagenoeg uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put) uit een reservoir met een ethaangehalte van >1%.
- Gasmonsters van bodemmetingen boven en rondom de putten duiden op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas.
- Gasmonsters uit peilbuizen op de zandverhoging (P1001, P1002 en P1003) hebben een grotendeels biogene herkomst.
- Gasmonsters verzameld uit peilbuizen ten westen van de IJsselmonde putten (P001A, P002A en P003A) geven een tweeledig beeld. De meeste gasmonster lijken van biogene oorsprong, deels met grote bijdrage van buitenlucht en soms onderhevig aan methaanoxidatie. Gasmonster P002A (van 8 december) heeft een afwijkende signatuur, die duidt op een bijdrage van thermogeen gas. Methaanoxidatie in dit gasmonster is niet aannemelijk.

3.3 Noorderhelling Oost

3.3.1 Boxmetingen

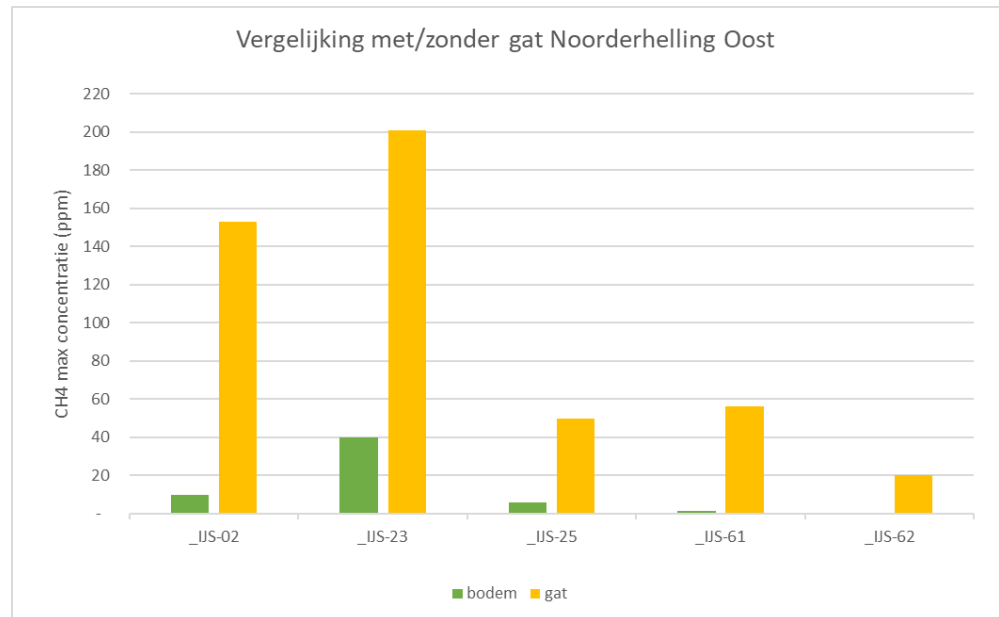
Tabel 17 laat de maximale concentratieverhoging in ethaan en methaan, de ethaan/methaanratio en de methaanflux zien voor iedere boxmeting uitgevoerd boven de IJsselmonde putten op Noorderhelling Oost.

Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

- Er is een duidelijk en consistent verschil tussen maximale concentraties gemeten op de onverstoorde bodem, en boven een nieuw boorgat. Na het boren van een gat worden er (tijdelijk) hogere concentratie methaan en/of ethaan gemeten. Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 20.
- De ethaan/methaanratio's blijven ver onder de ratio's die bij Gronings gas gangbaar zijn, maar zijn hoger dan bij de meeste andere putlocaties op Noorderhelling West en Dwarsdijk (Oost en West). De ratio's liggen in een bereik dat op verschillende manieren zou kunnen ontstaan (zie Appendix D). De ratio's worden meegewogen bij het interpreteren van de isotopensignatuur.
- De grootste concentratieverhoging en methaanflux (190 ml/m²/uur) wordt gedetecteerd boven put IJS-23 op 3 november (ca. één dag na verwijderen van het asfalt).

Tabel 17: Resultaten boxmetingen Noorderhelling Oost - Boven IJsselmonde putten

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (l)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
NO_3nov_Box5a_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02			8.0	10	7.0E-04	0.99	89.0	48.1	0.97
NO_3nov_Box5b_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02	NO_3nov_IJS-02	x	70.0	75	8.0E-05	0.99			
NO_3nov_Box5c_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02	NO_3nov_CIO 6017	x	65.0	78	7.0E-05	0.89			
NO_30nov_Box4a_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02			0.1	0.02			0.4	0.2	0.81
NO_30nov_Box4b_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02		x	4.0	5	9.0E-04	0.97			
NO_3nov_Box7a_IJS-23	Bodem_IJS-put	IJS-23			5.0	40	8.0E-05	0.99	352.0	190.1	0.94
NO_3nov_Box7b_IJS-23	Bodem_IJS-put	IJS-23	NO_3nov_IJS-23	x	20.0	200	1.0E-04	0.99			
NO_3nov_Box7c_IJS-23	Bodem_IJS-put	IJS-23	NO_3nov_CIO 708	x	0.2	1					
NO_30nov_Box7_IJS-23	Bodem_IJS-put	IJS-23			0.2	0.06	2.2E-03	0.42	0.6	0.3	0.72
NO_3nov_Box6a_IJS-25	Bodem_IJS-put	IJS-25			3.0	6	5.0E-04	0.95	35.0	18.9	0.98
NO_3nov_Box6c_IJS-25	Bodem_IJS-put	IJS-25	NO_3nov_CIO 633	x	20.0	50	4.0E-04	1.00			
NO_30nov_Box5_IJS-25	Bodem_IJS-put	IJS-25			0.1	0.02			0.1	0.0	0.31
NO_3nov_Box4a_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61			0.5	1.4	1.0E-04	0.03	16.0	8.6	0.99
NO_3nov_Box4b_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61	NO_3nov_IJS-61	x	20.0	38	3.0E-04	0.99			
NO_3nov_Box4c_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61	NO_3nov_CIO 565	x	18.0	18	8.0E-04	0.85			
NO_30nov_Box3a_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61			-	0.02			0.2	0.1	0.84
NO_30nov_Box3b_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61			0.1	0.02			0.1	0.1	0.79
NO_3nov_Box3a_IJS-62	Bodem_IJS-put	IJS-62			0.1	0.2	1.5E-03	0.30	1.9	1.0	0.75
NO_3nov_Box3b_IJS-62	Bodem_IJS-put	IJS-62	NO_3nov_IJS-62	x	20.0	20	1.0E-03	0.94			
NO_30nov_Box1_IJS-62	Bodem_IJS-put	IJS-62			-	0.04			0.1	0.1	0.36



Figuur 20: Maximale concentratieverhoging methaan putten Noorderhelling Oost - met/zonder gat

Tabel 18 laat het verschil in methaanflux zien tussen de metingen op 3 en 30 november. Hieruit blijkt dat er op 3 november consistent hogere methaanfluxen worden gemeten dan op 30 november. Dit past bij de hypothese dat er ophoping van gas heeft plaatsgevonden onder het asfalt van de parkeerplaats, welke na het zagen van verschillende openingen in het asfalt kan ontsnappen naar de atmosfeer. De weersomstandigheden kunnen ook hebben bijgedragen aan dit resultaat: op 30 november regent het en is de bodem vochtiger dan op 3 november (zie Appendix B), wat methaanoxidatie en/of de doorlaatbaarheid van de bodem kan beïnvloeden. Alsnog is de verwachting dat de metingen van 30 november representatief zijn voor de ontstane evenwichtssituatie en er bij herhaalmetingen geen sterk afwijkende waarden zullen worden gevonden.

Tabel 18: Methaanflux (ml/m²/uur) uit bodem boven putten Noorderhelling Oost – 3 en 30 november ca. één dag na zagen in het asfalt en 27 dagen later (in kolom 'Put' is de verkorte monsternaam is weergegeven; de volledige monsternaam staat in Tabel 17).

Put	3-nov-21	30-nov-21
_IJS-02	48.06	0.22
_IJS-23	190.08	0.33
_IJS-25	18.90	0.03
_IJS-61	8.64	0.18
_IJS-62	1.03	0.06

Tabel 19 geeft de meetresultaten voor de boxmetingen boven de peilbuizen.

Hier valt op dat:

- De hoogste concentraties worden gemeten boven de eerst geplaatste peilbuizen (P001 en P002) die in maart 2021 op enkele meters ten zuiden van de putten zijn geplaatst.
- Boven sonderingsgat P803, welke aan de oostkant van de parkeerplaats ligt, op ca. 75 meter ten oosten van de putten, wordt ook een hoge concentratie gemeten.

- De ethaan/methaanratio's zijn maximaal 0.03%. Deze waarde ligt rond de waarde gevonden voor de Dongen Sand Member via IJS-01 (zie Appendix D). De ratio's worden meegewogen bij het interpreteren van de isotopensignatuur.

Tabel 19: Resultaten boxmetingen Noorderhelling Oost – Peilbuizen

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met dop	Diepte (m)	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)
NO_3nov_Box21_P001	Peilbuis	_P001	NO_3nov_P001.2		18	200.0	1600	1.0E-04	0.97
NO_3nov_Box22_P002	Peilbuis	_P002	NO_3nov_P002.2		22	600.0	1600	3.0E-04	0.98
NO_3nov_Box23_P003	Peilbuis	_P003	NO_3nov_P003.2		3.6	0.5	20	6.0E-05	0.20
NO_3nov_Box18_P23.01	Peilbuis	_P23.01	NO_3nov_P23.01.01		3.5	1.0	10	3.0E-05	0.34
NO_30nov_Box8_P23.01	Peilbuis	_P23.01	NO_30nov_P23.01.1		3.5	0.1	0.04		
NO_3nov_Box19_P23.02	Peilbuis	_P23.02	NO_3nov_P23.02.02		17	10.0	175	3.0E-05	0.99
NO_3nov_Box20_P23.03	Peilbuis	_P23.03	NO_3nov_P23.03.02		22	0.5	40	2.0E-05	0.80
NO_30nov_Box14_P601	Peilbuis	_P601	NO_30nov_P601.1		3.5	1.0	40	3.0E-05	0.95
NO_30nov_Box16_P701	Peilbuis	_P701			3.5	0.1	0.15		
NO_30nov_Box9a_P801.1	Peilbuis	_P801.1		x	3.5	0.1	0.04		
NO_30nov_Box9b_P801.1	Peilbuis	_P801.1	NO_30nov_801.1.1		3.5	0.4	1.6	4.0E-04	0.43
NO_30nov_Box10a_P801.2	Sondering gat	_P801.2		x	21.6	0.2	0.02		
NO_30nov_Box10b_P801.2	Sondering gat	_P801.2	NO_30nov_801.2.1		21.6	2.5	50	4.0E-05	0.99
NO_30nov_Box11a_P801.3	Sondering gat	_P801.3		x	24.6	0.2	0.5		
NO_30nov_Box11b_P801.3	Sondering gat	_P801.3	NO_30nov_801.3.1		24.6	65.0	550	1.0E-04	0.96
NO_30nov_Box11c_P801.3	Sondering gat	_P801.3	NO_30nov_801.3.2		24.6	10.0	90	1.0E-04	0.99

Tabel 20: Resultaten boxmetingen Noorderhelling Oost – Overige metingen

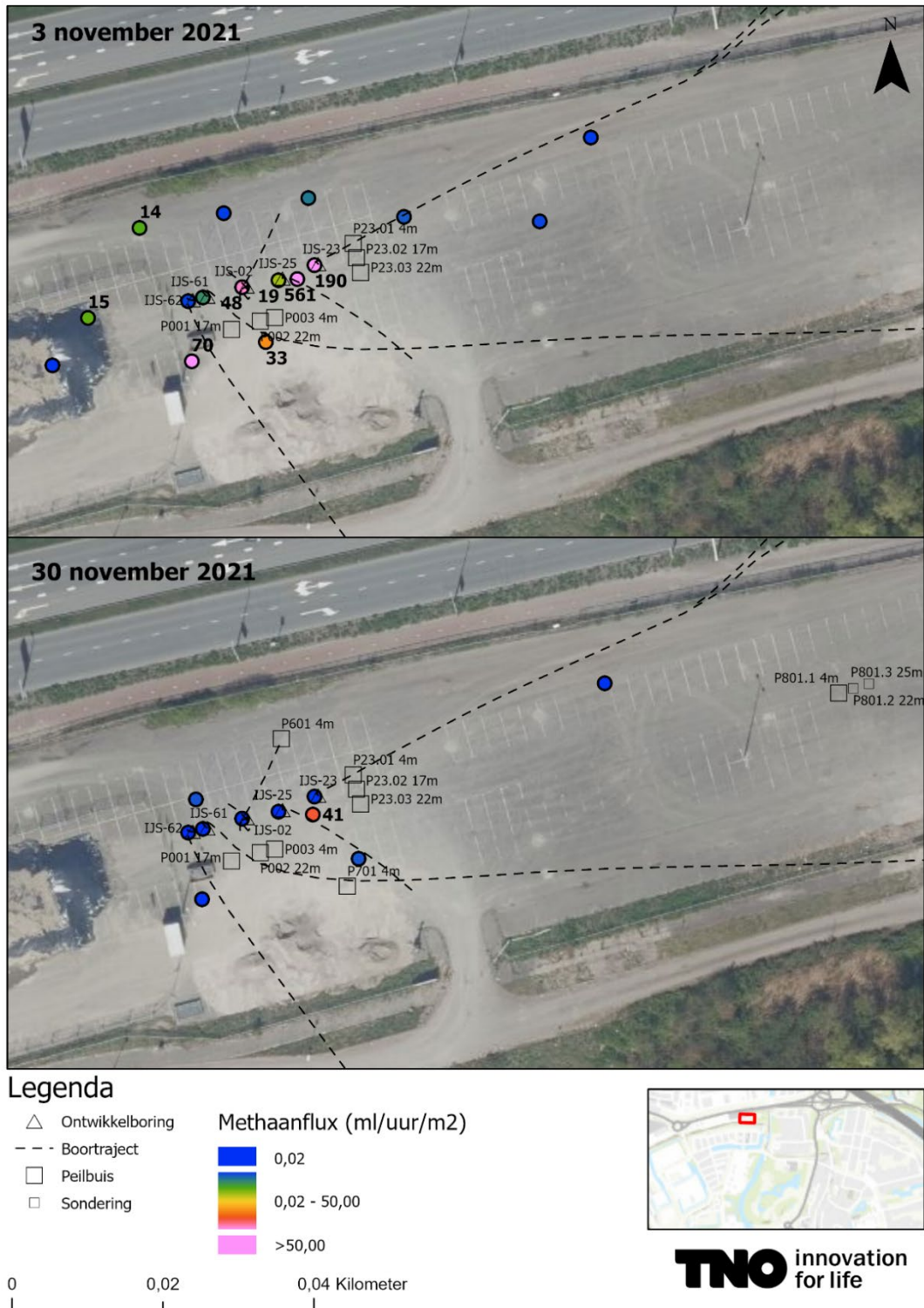
Naam	Bron	Gerelateerd sample	Met gat	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
NO_3nov_Box10	Bodem			0.4	4	6.0E-05	0.59	129.0	69.7	1.00
NO_3nov_Box11	Bodem			0.3	0.5	8.0E-04	0.41	5.0	2.7	0.99
NO_3nov_Box12	Bodem			-	0					
NO_3nov_Box13a	Bodem			1.5	0.3	2.0E-03	0.47	2.1	1.1	0.99
NO_3nov_Box13b	Bodem	NO_3nov_box13	x	2.0	20	5.0E-05	0.67			
NO_3nov_Box14a	Bodem			0.5	0.2	1.3E-03	0.25	1.2	0.6	0.98
NO_3nov_Box14b	Bodem		x	0.6	0.3	1.3E-03	0.89			
NO_3nov_Box15	Bodem			0.3	1.2	3.0E-04	0.58	11.0	5.9	0.99
NO_3nov_Box16	Bodem			0.4	0.1	1.8E-03	0.22	1.4	0.8	0.99
NO_3nov_Box17	Bodem			0.3	1.2	8.0E-05	0.11	25.0	13.5	0.98
NO_3nov_Box1a	Bodem			0.5	0.2	1.3E-03	0.20	0.4	0.2	0.90
NO_3nov_Box1b	Bodem		x	4.0	120	5.0E-05	0.98			
NO_3nov_Box1c	Bodem		x	1.4	25	5.0E-05	0.93			
NO_3nov_Box24_Referentie	Bodem			0.1	0.01					
NO_3nov_Box2a	Bodem			1.0	3	2.0E-04	0.69	27.0	14.6	0.97
NO_3nov_Box2b	Bodem		x	1.0	10	7.0E-05	0.64			
NO_3nov_Box8a	Bodem			12.0	160	8.0E-05	1.00	1,038.0	560.5	0.98
NO_3nov_Box8b	Bodem		x	20.0	200	8.0E-05	1.00			
NO_3nov_Box9	Bodem			0.5	7	1.0E-04	0.54	62.0	33.5	0.99
NO_30nov_Box12	Bodem			0.1	0.01			0.3	0.1	0.95
NO_30nov_Box13	Bodem			0.1	0.005					
NO_30nov_Box15	Bodem			0.1	0.3			4.5	2.4	0.96
NO_30nov_Box17	Bodem			-	0.04			0.5	0.2	0.69
NO_30nov_Box18	Bodem			0.1	0.02					
NO_30nov_Box19	Bodem			0.1	0.08					
NO_30nov_Box2	Bodem			-	0.02					
NO_30nov_Box20	Bodem			0.2	0.8	1.0E-04	0.33	4.0	2.2	0.96
NO_30nov_Box21	Bodem			0.2	0.02					
NO_30nov_Box6	Bodem			0.1	0.6	8.0E-05	0.42	76.0	41.0	0.87

Tabel 20 toont de meetresultaten voor de overige boxmetingen op Noorderhelling Oost. Figuur 21 en Figuur 22 laten respectievelijk de methaanfluxwaarden en maximale concentratieverhogingen van methaan en ethaan zien op de kaart. Hierbij worden alleen metingen op de onverstoorde bodem meegenomen.

Deze resultaten laten zien dat:

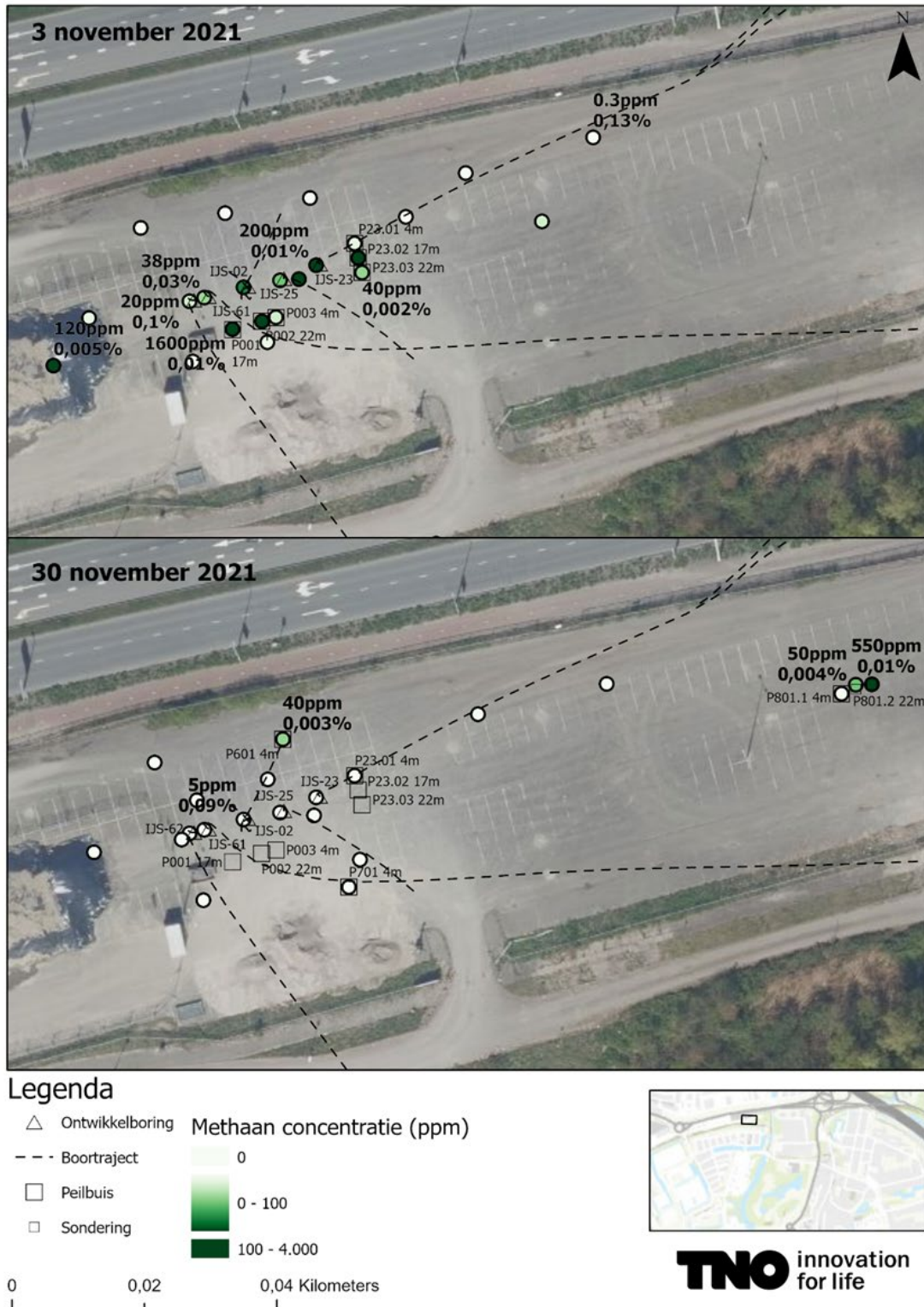
- De hoogste flux ($560 \text{ ml/m}^2/\text{uur}$) die op deze locatie is gemeten, vindt plaats op 3 november bij box 8 (zie Figuur 21), aan de rand van het gat in het asfalt (ca. één dag na verwijderen van het asfalt). Dit past bij de hypothese dat er ophoping van gas heeft plaatsgevonden onder het asfalt van de parkeerplaats, welke na het zagen van verschillende openingen in het asfalt kan ontsnappen naar de atmosfeer. Als op 30 november op dezelfde plek op de bodem wordt gemeten (box 6) is de flux met $41 \text{ ml/m}^2/\text{uur}$ een stuk lager maar de ethaan/methaan ratio blijft gelijk.
- De methaanfluxen en concentratieverhogingen lijken groter te zijn naarmate de meting dichterbij de putten wordt uitgevoerd.

Methaanflux per meetpunt Noorderhelling-Oost



Figuur 21: Berekende methaan fluxen aan de bodem van Noorderhelling Oost. Op de kaart enkel de metingen die op de onverstoorde bodem (zonder geboord gat) zijn genomen. De metingen met een flux van 10 ml/m²/uur of meer zijn gelabeld. Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaat van een punt.

Methaanconcentratie metingen Noorderhelling-Oost



Figuur 22: Methaanconcentraties (ppm) o.b.v. QCL metingen bij locatie Noorderhelling Oost – op verschillende meetdagen. Op de kaart staan zowel de metingen met gat als zonder geboord gat, evenals QCL metingen bij peilbuizen. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.5.1. zijn de concentraties onderling niet goed vergelijkbaar. De metingen met een R^2 van 0.75 of hoger zijn gelabeld. Op deze labels is de ratio ethaan/methaan (%) toegevoegd. . Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

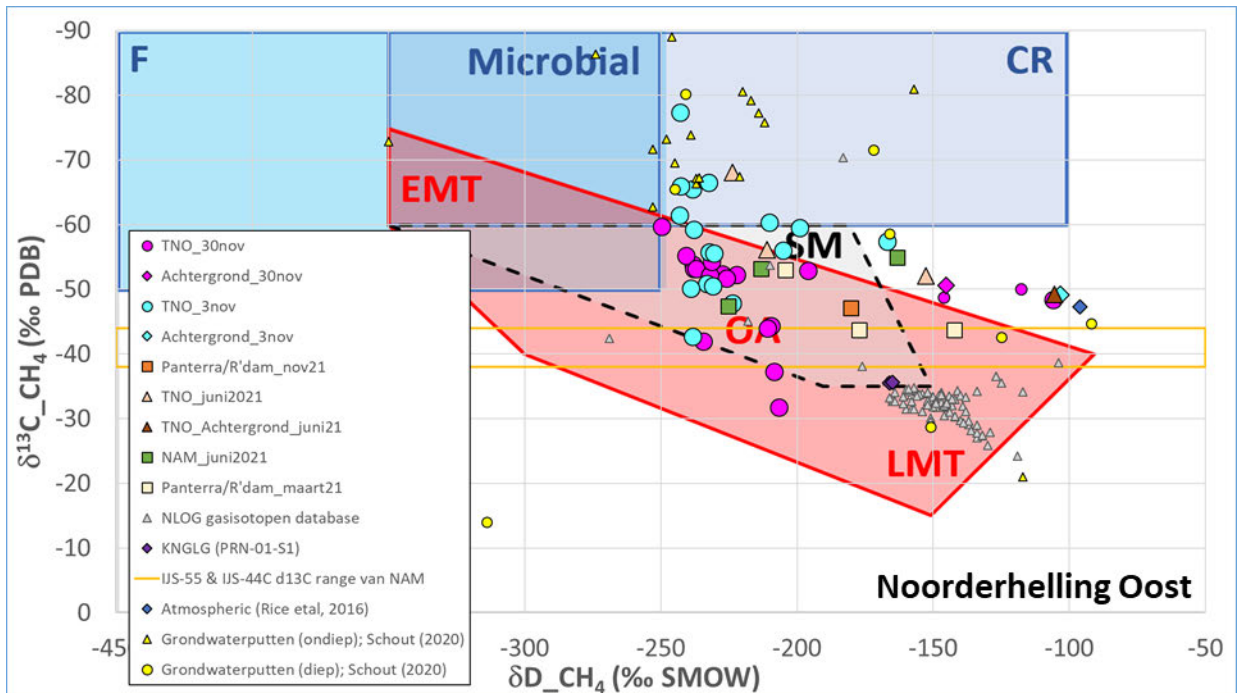
3.3.2 Gasmonsters: samenstelling & isotopensignatuur

3.3.2.1 Meetwaarden

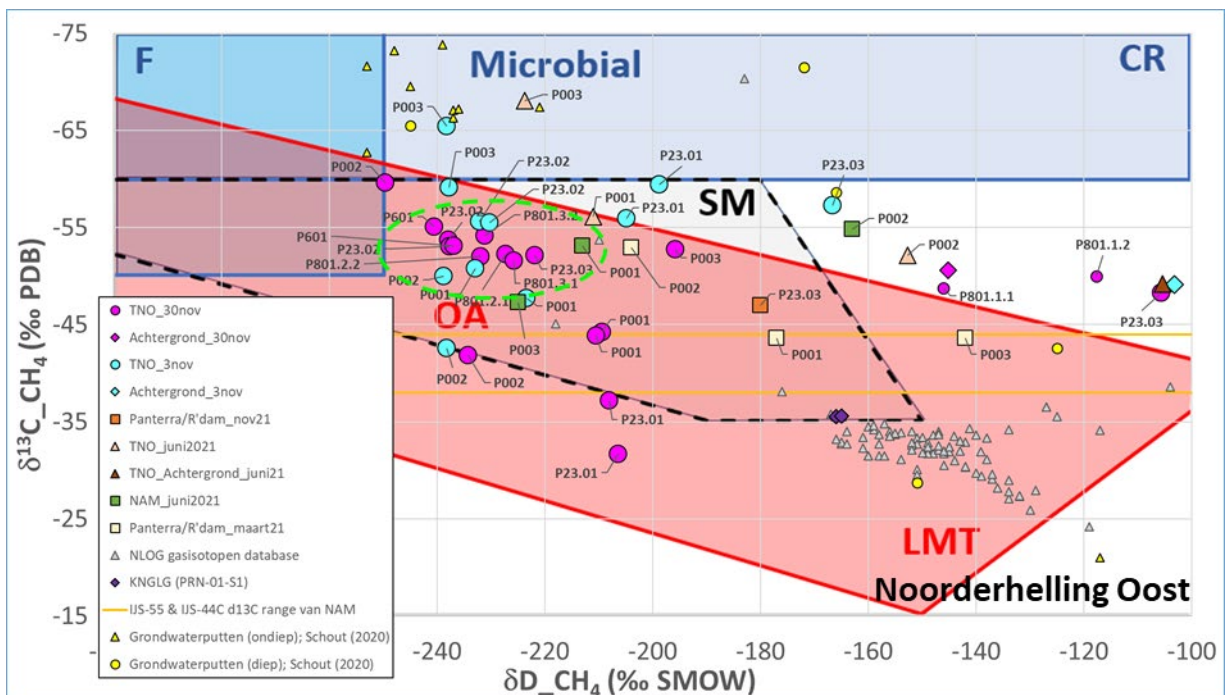
Gascompositie en isotopen samenstelling van de locatie Noorderhelling Oost staan gegeven in Tabel 21, Tabel 22 en Figuur 23 tot en met Figuur 26.

Tabel 21: Gassamenstelling monsters Noorderhelling Oost.

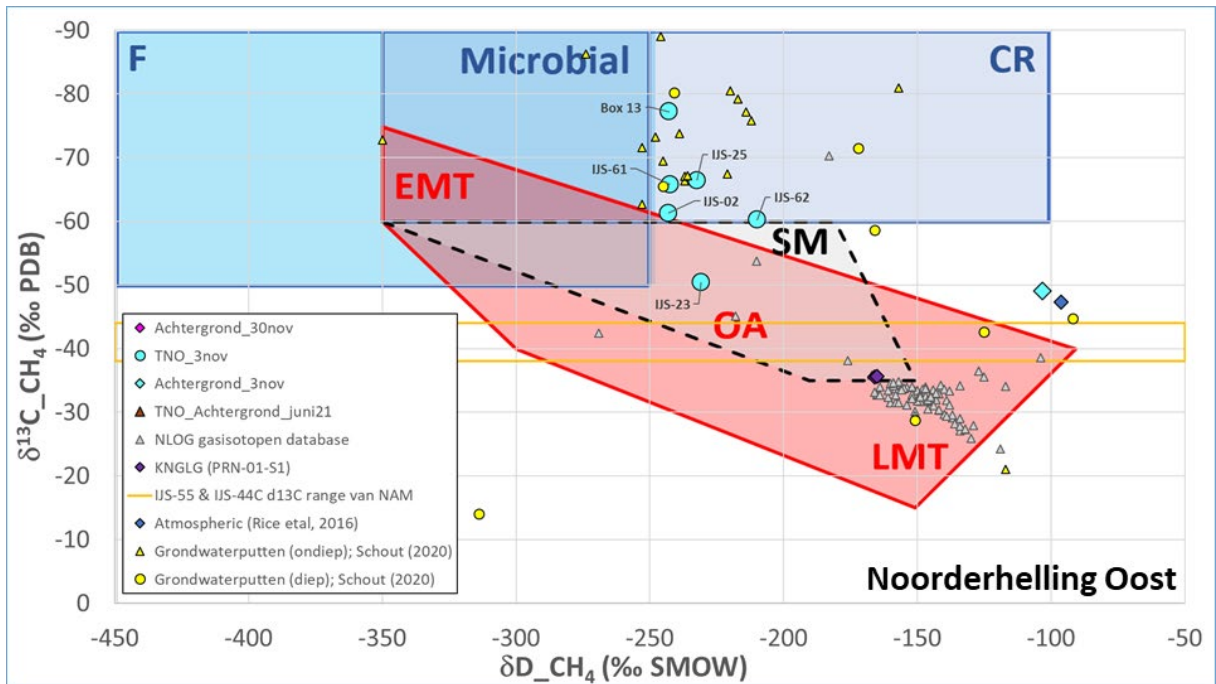
Naam	Bron	Feature	Met gat	Diepte (m)	C1 (mol ppm)	C2 (mol ppm)	C3 (mol ppm)	C4 (mol ppm)	C5 (mol ppm)	C6+ (mol ppm)	N2 (mol%)	O2 (mol%)	CO2 (mol%)
NO_3nov_box13	Bodem		x		19	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	21.0	0.05
NO_3nov_CIO 6017	Bodem_IJS-put	IJS-02	x		69	nd	nd	nd	nd	nd	78.5	20.5	0.06
NO_3nov_IJS-02	Bodem_IJS-put	IJS-02	x		80	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	21.0	0.06
NO_3nov_CIO 708	Bodem_IJS-put	IJS-23	x		91	nd	nd	nd	nd	nd	80.7	18.4	0.05
NO_3nov_IJS-23	Bodem_IJS-put	IJS-23	x		110	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.06
NO_3nov_CIO 633	Bodem_IJS-put	IJS-25	x		47	nd	nd	nd	nd	nd	80.9	18.2	0.04
NO_3nov_IJS-25	Bodem_IJS-put	IJS-25	x		51	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
NO_3nov_CIO 565	Bodem_IJS-put	IJS-61	x		26	nd	nd	nd	nd	nd	80.8	18.3	0.05
NO_3nov_IJS-61	Bodem_IJS-put	IJS-61	x		31	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05
NO_3nov_IJS-62	Bodem_IJS-put	IJS-62	x		9	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	21.0	0.05
NO_30nov_P001.1	Peilbuis	P001		18.0	1,170	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.07
NO_30nov_P001.2	Peilbuis	P001		18.0	3,760	0.3	<0.1 ppm	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	77.9	20.7	0.13
NO_3nov_P001.2	Peilbuis	P001		18.0	3,300	nd	nd	nd	nd	na	77.8	20.8	0.18
NO_30nov_P002.1	Peilbuis	P002		22.0	347	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.06
NO_30nov_P002.2	Peilbuis	P002		22.0	2,550	0.5	<0.1 ppm	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	78.0	20.6	0.27
NO_3nov_P002.2	Peilbuis	P002		22.0	3,700	nd	nd	nd	nd	na	77.7	20.8	0.19
NO_30nov_P003	Peilbuis	P003		3.6	159	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
NO_3nov_P003.2	Peilbuis	P003		3.6	730	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.08
NO_3nov_P23.01.02	Peilbuis	P23.01		3.5	210	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.06
NO_30nov_P23.01.1	Peilbuis	P23.01		3.5	284	nd	nd	nd	nd	na	77.9	20.9	0.20
NO_30nov_P23.01.2	Peilbuis	P23.01		3.5	84	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.07
NO_3nov_P23.02.02	Peilbuis	P23.02		17.0	2,800	nd	nd	nd	nd	na	77.8	20.8	0.18
NO_30nov_P23.02.1	Peilbuis	P23.02		17.0	5,130	nd	nd	nd	nd	na	77.5	20.8	0.35
NO_30nov_P23.02.2	Peilbuis	P23.02		17.0	10,300	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	76.8	20.6	0.67
NO_3nov_P23.03.02	Peilbuis	P23.03		22.0	19	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.05
NO_30nov_P23.03.1	Peilbuis	P23.03		22.0	62	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.05
NO_30nov_P23.03.2	Peilbuis	P23.03		22.0	7	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.05
NO_30nov_P601.1	Peilbuis	P601		3.5	973	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.8	0.05
NO_30nov_P601.2	Peilbuis	P601		3.5	276	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.04
NO_30nov_801.1.1	Peilbuis	P801.1		3.5	4	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
NO_30nov_801.1.2	Peilbuis	P801.1		3.5	3	nd	nd	nd	nd	na	78.1	21.0	0.04
NO_30nov_801.2.1	Sondering gat	P801.2		21.6	2,330	nd	nd	<0.1 ppm	nd	na	79.5	19.0	0.34
NO_30nov_801.2.2	Sondering gat	P801.2		21.6	995	nd	nd	nd	nd	na	78.7	20.1	0.17
NO_30nov_801.3.1	Sondering gat	P801.3		24.6	251	nd	nd	nd	nd	na	78.3	20.7	0.08
NO_30nov_801.3.2	Sondering gat	P801.3		24.6	125	nd	nd	nd	nd	na	78.2	20.8	0.06



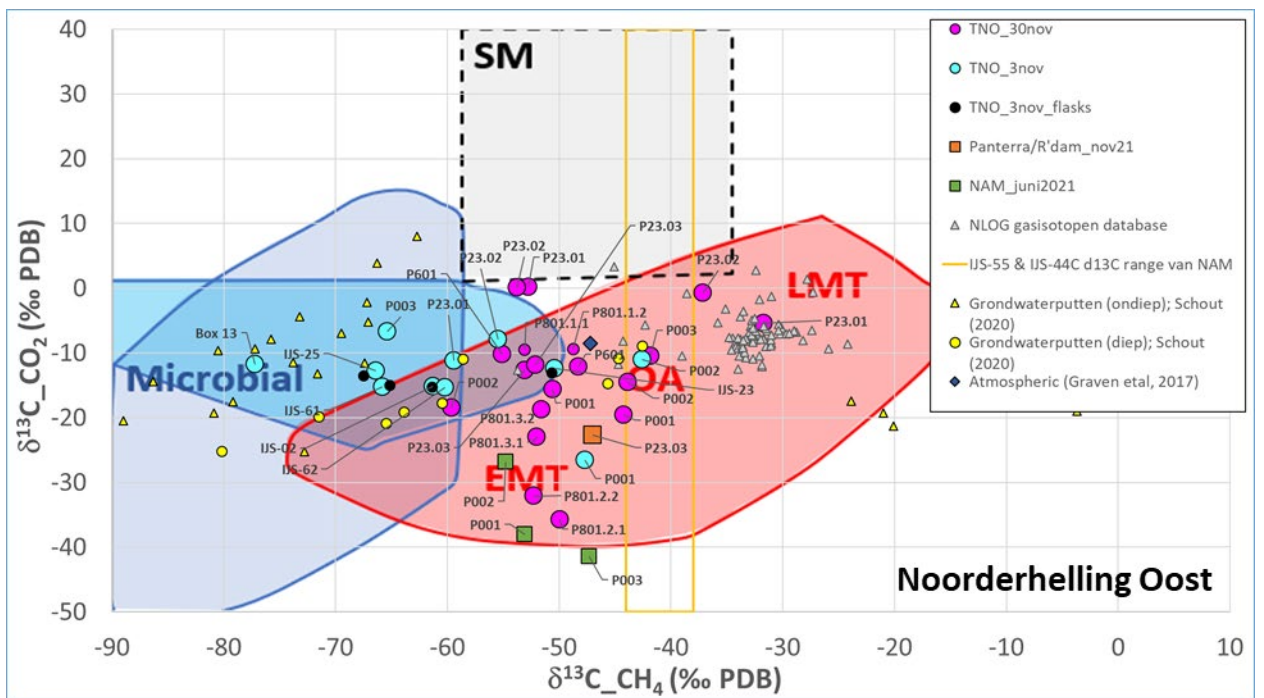
Figuur 23: Methaan waterstof- en koolstofisotopen diagram met alle nieuwe (3 & 30 november en 8 december) data alsmede alle eerder verzamelde data (TNO, NAM en Panterra) voor Noorderhelling Oost. Zie Figuur 5 voor de gebruikte afkortingen.



Figuur 24: Data als in Figuur 23, maar alleen voor alle isotopen data gemeten aan peilbuizen (met sample label) voor Noorderhelling Oost. Het bereik van de x-as en y-as is hier uitvergroot om de monster labels beter zichtbaar te maken. Groene gestreepte cirkel geeft een cluster van gasmonsters weer; zie tekst voor betekenis van dit cluster.



Figuur 25: Data als in Figuur 23, maar alleen voor alle isotopen data gemeten aan de box metingen (met gat) voor Noorderhelling Oost.



Figuur 26: Methaan koolstofisotopen vs. CO₂ koolstofisotopen diagram met alle nieuwe (3 & 30 november en 8 december) data alsmede alle eerder verzamelde data (NAM en Panterra) voor Noorderhelling Oost. Zie Figuur 6 voor de gebruikte afkortingen.

Wat opvalt aan de resultaten:

- De gasmonsters bestaan voornamelijk uit lucht (N₂ 78% en O₂ ~21%).
- De methaanconcentraties in gasmonsters uit de peilbuizen zijn over het algemeen (significant) hoger (>100 ppm) dan in buitenlucht. Gasmonsters genomen uit bodemmetingen hebben over het algemeen lagere methaanconcentraties (<100 ppm).
- Hogere koolwaterstoffen (ethaan en propaan) zijn in zeer lage concentraties aangetroffen in de serie meetresultaten van 30 november (<0.1 ppm); in de serie meetresultaten van 3 november zijn deze niet gedetecteerd. In geen van de gasmonsters is H₂S aangetroffen.
- Methaan koolstof- en waterstofisotopen variëren respectievelijk tussen -80 en -30‰ en -250 en -160‰.
- De methaan waterstofisotopen van de gasmonsters uit de bodemmonsters hebben een nauw bereik tussen ongeveer -245 en -210‰; de koolstofisotopen van deze gasmonsters variëren tussen -80 en -50‰. De gasmonsters uit de peilbuizen laten een grotere spreiding zien in methaangas isotopen.
- CO₂ koolstofisotopen van gasmonsters uit de bodemmetingen variëren tussen -15 en -11‰; de peilbuizen variëren tussen -36 en 0‰.

Om de reproduceerbaarheid van de data te kunnen testen zijn voor de meetserie van 3 november gasmonsters genomen in zowel gaszakken als gasflessen. Omdat de gasflessen lastiger te hanteren waren in het veld (in vergelijking met de gaszakken), en de beperkte beschikbaarheid van de gasflessen, is er voor gekozen om tijdens latere meetdagen geen gebruik meer te maken van de gasflessen en alleen te bemonsteren in gaszakken.

Voor de meetserie van 30 november is voor ieder gasmonster een duplicaat bemonsterd (met uitzondering van P003). Reproduceerbaarheid van de isotopen data van de gasmonsters is over het algemeen goed. Met name voor de gasmonsters met hoge methaanconcentraties (>100 ppm) komen de gemeten methaan waterstof- en koolstof, en CO₂ koolstof isotopen goed overeen tussen de replicaat gasmonsters. Voor de monsters met lagere methaanconcentraties (met name uit peilbuis P23.03 en P801.1, methaan concentratie < 10 ppm) is de reproduceerbaarheid van de methaan waterstofisotopen niet goed; de koolstofisotopen van zowel CO₂ en methaan reproduceren voor deze peilbuizen echter beter.

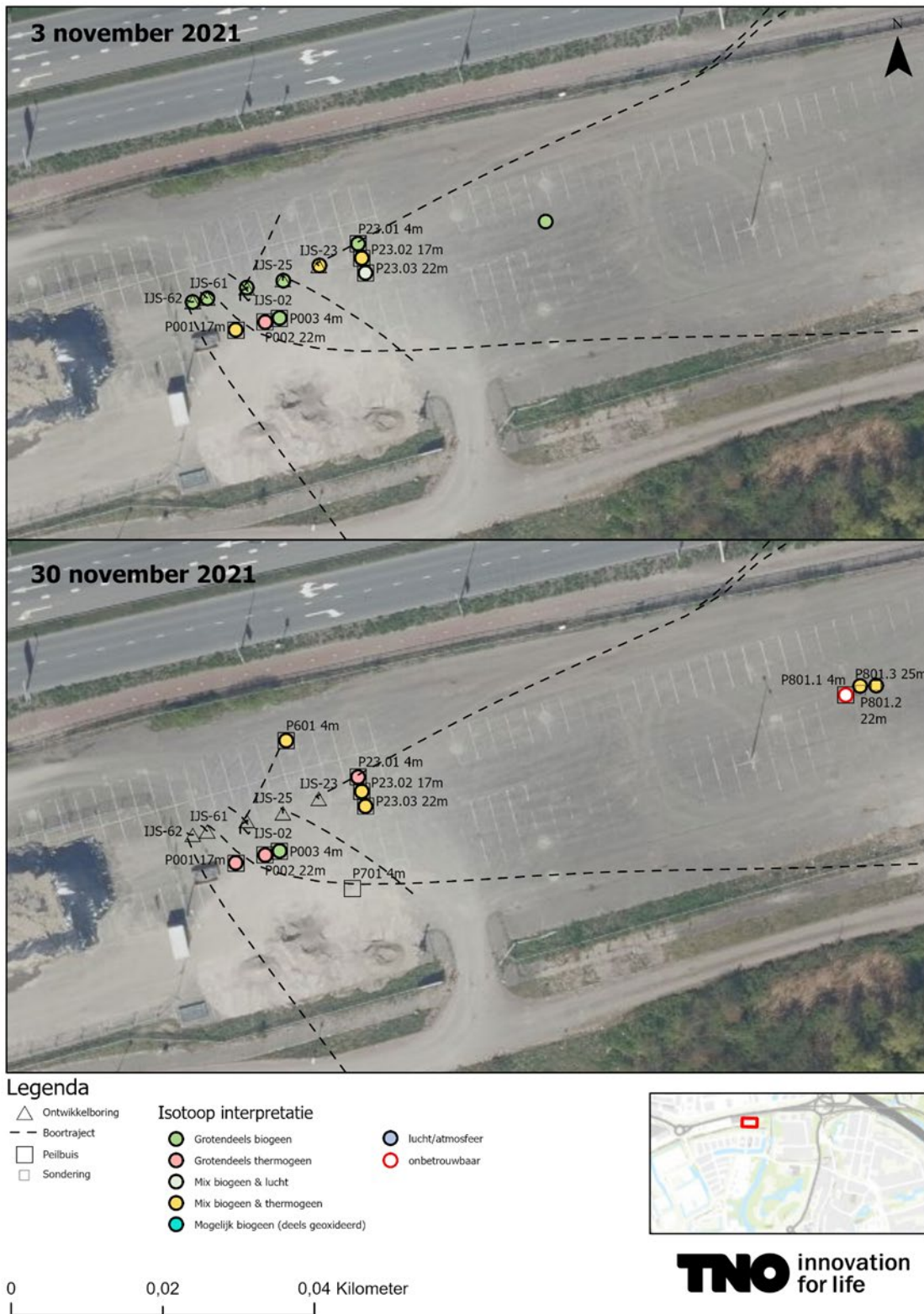
Een aantal peilbuizen waren deels voltooid tijdens de laatste meetdag van 30 november. P601, P701 en P801 waren reeds geboord en zijn bemonsterd (P701 had echter een dermate lage methaanconcentratie dat geen bruikbaar gasmonster genomen kon worden). P802 en P803 waren nog niet compleet, maar waren aangemerkt als sonderingsgaten; deze zijn echter wel bemonsterd. Peilbuizen P602, P603, P702 en P703 werden pas op 2 december geplaatst en zijn niet bemonsterd.

Tabel 22 hieronder geeft een overzicht van de isotopensignatuur en de uiteindelijke interpretatie van de herkomst per gasmonster. De interpretatie wordt toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 27 toont de interpretatie per meetpunt op de kaart. In het geval van meerdere gasmonsters op één meetpunt en meetdag, is de interpretatie getoond voor het gasmonster met de hoogste methaanconcentratie.

Tabel 22: Isotopensignatuur en interpretatie herkomst van verzamelde gasmonsters van Noorderhelling Oost.

Naam	Bron	Feature	Diepte peilbuis (m)	Methaan-concentratie sample (ppm)	IMAU - d13C (CH4) sample	IMAU - d2H (CH4) sample	ISOLAB - d13C (CO2)	ISOLAB - d13C (CH4)	ISOLAB - d2H (CH4)	Interpretatie
NO_3nov_box13	Bodem			18.1	-77.2	-242.7	-11.7	-77		Grotendeels biogeen
NO_3nov_CIO 6017	Bodem IJS-put	IJS-02		69.0			-15.2	-61.4		Grotendeels biogeen
NO_3nov_IJS-02	Bodem IJS-put	IJS-02		79.4	-61.3	-243.0	-15.1	-61.4		Grotendeels biogeen
NO_3nov_CIO 708	Bodem IJS-put	IJS-23		91.0			-13.0	-50.7		Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_IJS-23	Bodem IJS-put	IJS-23		105.0	-50.4	-230.8	-12.4	-50.2		Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_CIO 633	Bodem IJS-put	IJS-25		47.0			-13.5	-67.5		Grotendeels biogeen
NO_3nov_IJS-25	Bodem IJS-put	IJS-25		47.5	-66.4	-232.3	-12.8	-66.8		Grotendeels biogeen
NO_3nov_CIO 565	Bodem IJS-put	IJS-61		26.0			-15.0	-65.2		Grotendeels biogeen
NO_3nov_IJS-61	Bodem IJS-put	IJS-61		30.0	-65.8	-242.5	-15.2	-66		Grotendeels biogeen
NO_3nov_IJS-62	Bodem IJS-put	IJS-62		9.1	-60.2	-209.8	-15.3			Grotendeels biogeen
NO_30nov_Background	Buitenlucht (achtergro			3.5	-50.6	-145.2				lucht/atmosfeer
NO_3nov_Background	Buitenlucht (achtergro			2.2	-49.1	-103.3				lucht/atmosfeer
NO_30nov_P001.1	Peilbuis	P001	18.0	1,170.0	-44.2	-209.4	-15.6	-44.3	-229	Grotendeels thermogeen
NO_30nov_P001.2	Peilbuis	P001	18.0	3,760.0	-43.8	-210.5	-19.6	-44.8	-231	Grotendeels thermogeen
NO_3nov_P001.1	Peilbuis	P001	18.0	4,600.0	-50.8	-232.9				Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_P001.2	Peilbuis	P001	18.0	3,300.0	-47.7	-223.4	-26.5	-49	-250	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_P002.1	Peilbuis	P002	22.0	347.0	-59.6	-249.6	-14.5	-59.8	-266	Grotendeels biogeen
NO_30nov_P002.2	Peilbuis	P002	22.0	2,550.0	-41.9	-234.2	-18.5	-43.8	-256	Grotendeels thermogeen
NO_3nov_P002.1	Peilbuis	P002	22.0	5,600.0	-50.0	-238.8				Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_P002.2	Peilbuis	P002	22.0	3,700.0	-42.6	-238.2	-11.0	-46.3	-261	Grotendeels thermogeen
NO_30nov_P003	Peilbuis	P003	3.6	159.0	-52.8	-195.8	-10.5	-53		Grotendeels biogeen
NO_3nov_P003.1	Peilbuis	P003	3.6	2,600.0	-59.1	-237.8				Grotendeels biogeen
NO_3nov_P003.2	Peilbuis	P003	3.6	730.0	-65.4	-238.2	-6.7	-68.9	-261	Grotendeels biogeen
NO_3nov_P23.01.01	Peilbuis	P23.01	3.5	220.0	-55.9	-204.9				Grotendeels biogeen
NO_3nov_P23.01.02	Peilbuis	P23.01	3.5	210.0	-59.4	-198.8	-11.2	-59.1		Grotendeels biogeen
NO_30nov_P23.01.1	Peilbuis	P23.01	3.5	284.0	-31.7	-206.4	0.2	-33.5	-227	Grotendeels thermogeen
NO_30nov_P23.01.2	Peilbuis	P23.01	3.5	80.2	-37.2	-208.1	-5.4	-37.5		Grotendeels thermogeen
NO_3nov_P23.02.01	Peilbuis	P23.02	17.0	2,700.0	-55.6	-232.1				Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_P23.02.02	Peilbuis	P23.02	17.0	2,800.0	-55.5	-230.3	-7.9	-55.7	-255	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_P23.02.1	Peilbuis	P23.02	17.0	5,130.0	-53.8	-237.9	-0.7	-54.5	-259	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_P23.02.2	Peilbuis	P23.02	17.0	10,300.0	-53.1	-237.7	0.1	-53.5	-260	Mix biogeen & thermogeen
NO_3nov_P23.03.01	Peilbuis	P23.03	22.0	6.5	-57.3	-166.7				Mix biogeen & lucht
NO_3nov_P23.03.02	Peilbuis	P23.03	22.0	8.0			-10.6	-49.6		onbetrouwbaar (monster fout)
NO_30nov_P23.03.1	Peilbuis	P23.03	22.0	59.0	-52.1	-221.9	-12.7	-52.1		Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_P23.03.2	Peilbuis	P23.03	22.0	6.0	-48.3	-105.7	-11.8			lucht/atmosfeer
NO_30nov_P601.1	Peilbuis	P601	3.5	973.0	-55.1	-240.5	-12.1	-55.4	-261	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_P601.2	Peilbuis	P601	3.5	276.0	-53.1	-236.9	-10.2	-53	-258	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_801.1.1	Peilbuis	P801.1	3.5	3.3	-48.7	-146.1	-9.5			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)
NO_30nov_801.1.2	Peilbuis	P801.1	3.5	2.6	-50.0	-117.7	-9.4			onbetrouwbaar (C1 < 5ppm)
NO_30nov_801.2.1	Sondering gat	P801.2	21.6	2,330.0	-52.3	-227.3	-35.7		-252	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_801.2.2	Sondering gat	P801.2	21.6	995.0	-52.0	-231.9	-32.1	-53.7	-249	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_801.3.1	Sondering gat	P801.3	24.6	251.0	-51.6	-225.7	-23.0	-51.5	-247	Mix biogeen & thermogeen
NO_30nov_801.3.2	Sondering gat	P801.3	24.6	125.0	-54.1	-231.2	-18.7	-54		Mix biogeen & thermogeen

Isotopeninterpretatie Noorderhelling-Oost



Figuur 27: Isotopeninterpretatie per meetpunt Noorderhelling Oost

3.3.2.2 Toelichting interpretatie

Bij de locatie Noorderhelling Oost zijn gasmonsters genomen uit bodemmetingen en peilbuizen. Een deel van deze peilbuizen (P001, P002 en P003) zijn tijdens eerdere meetcampagnes ook bemonsterd en deze informatie is gebruikt in de interpretatie. Voor de Panterra gasmonsters genomen in maart 2021 bestaat het vermoeden dat deze zijn gecontamineerd middels niet schone gasflessen (NAM, 2021). Deze data wordt daarom niet gebruikt. Latere gasmonsters genomen door Panterra uit deze en andere peilbuizen wordt wel meegenomen in de interpretatie.

De isotopensignatuur van de bodemgatmetingen boven de putten (met uitzondering van IJS-23) duiden op een voornamelijk biogene gasoorsprong van het methaangas. Methaanconcentraties zijn over het algemeen tussen 20 – 110ppm, met uitzondering van IJS-62 (9 ppm). Voor dit gasmonster verschuift de waterstof isotopenverhouding richting atmosferisch//achtergrond ten opzicht van de overige bodemmetingen. De methaangas isotopen van de gasmonsters boven de putten komen overeen met isotopenverhoudingen die ook elders in grondwaterputten aangetroffen worden (Schout, 2020 en Figuur 23). CO₂ koolstofisotopen in alle bodemgatmetingen neigen naar atmosferische isotopenverhoudingen, wat verklaard kan worden door de grote lucht component in de gasmonsters (Tabel 21).

Methaanconcentraties en de methaan waterstofisotopenverhouding in gasmonsters genomen boven IJS-23 wijken niet significant af van de overige bodemmetingen. Het IJS-23 gasmonster heeft echter een significant hogere koolstofisotopenverhouding wat er op duidt dat het gasmonster bestaat uit een mengsel met een methaangas met zwaardere isotopensignatuur. Menging met gas wat significante methaan-oxidatie heeft ondergaan is niet aannemelijk gezien de CO₂ koolstofisotopen verhouding van dit gasmonster (-12‰) en vergelijkbare waarden voor de andere bodemmetingen (-15 tot -12‰). De isotopensignatuur van het gasmonster genomen boven IJS-23 wordt derhalve geïnterpreteerd als een mengsel van gas van biogene en thermogene oorsprong. De mate van menging, alsmede een mogelijke oorsprong van het thermogene gas is lastig vast te stellen omdat zogenaamde *endmember* isotopenverhoudingen van een puur thermogeen (uit de IJsselmonde reservoirs) en biogeen gas ontbreken.

Voor de gasisotopen gemeten aan de monsters uit de peilbuizen is de interpretatie van de isotopendata vaak niet eensluidend. Een groot aantal van de peilbuis isotopen data clustert rond een waterstofisotopen interval van ongeveer -240 tot -220‰, en methaan koolstofisotopen interval van ongeveer -56 tot -46‰ (groene cirkel in Figuur 24). Corresponderende CO₂ koolstofisotopen verhoudingen in deze gasmonsters duiden erop dat in ieder geval een deel van deze gasmonsters methaanoxidatie heeft ondergaan.

Gebaseerd op de methaan koolstofisotopen zou het merendeel van de gasmonsters in dit cluster als gas van biogene oorsprong geïnterpreteerd kunnen worden. Echter, wanneer ook de waterstofisotopen worden beschouwd, dan is het aannemelijk dat er menging heeft plaatsgevonden met gas met een wat zwaardere waterstofisotopen signatuur zoals thermogeen gas. Er is echter geen harde grens te trekken tussen een gas wat isotopisch als biogeen of als mengsel biogeen-thermogeen beschouwd kan worden. Derhalve is het binnen dit cluster lastig onderscheid te maken en worden deze gasmonsters als mengsels biogeen en thermogeen gas geïnterpreteerd waarbij enige mate van methaanoxidatie niet kan worden uitgesloten.

Voor peilbuizen P001, P002 en P003 zijn zowel op 3 en 30 november gasmonsters genomen. Gasisotopen data van monsters uit P003 (ondiepste peilbuis, filterdiepte 3,5m) geeft een consistent beeld van voornamelijk gas van biogene oorsprong. Interpretatie van gasmonsters genomen tijdens andere bemonsteringsdagen (NAM, TNO en Panterra) geven voornamelijk hetzelfde beeld voor deze peilbuis. De isotopensignatuur van gasmonsters uit peilbuis P001 (filterdiepte 18 m) duidt op een mengsel van biogeen en thermogeen gas tot voornamelijk thermogeen gas. Bijvoorbeeld voor de serie van 30 november, waarbij de methaan koolstofisotopen in de buurt komen van de door de NAM gegeven isotopenbereik van IJsselmonde gas reservoirs (NAM, 2021). Enige mate van methaanoxidatie kan niet worden uitgesloten gezien de CO₂ koolstofisotopen tussen -25 en -15‰. Voor de diepste peilbuis P002 (filterdiepte 22 m) geven de isotopen data van 3 en 30 november een redelijk consistent beeld van mengsel van gas van biogene en thermogene oorsprong tot voornamelijk thermogene oorsprong. Echter, de duplicaat monsters genomen op 30 november zijn niet consistent, waarbij de isotopensignatuur van monster 3nov_P002.1 op een grotendeels biogene gas oorsprong duidt, terwijl 3nov_P002.2 op een grotendeels thermogene gas oorsprong duidt. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een significant verschil (respectievelijk -59.6 en -41.9‰) in methaan koolstofisotopen. De waterstof isotopen en CO₂ koolstofisotopen reproduceren wel goed. Afgezien van bijvoorbeeld een analytische meetfout is er op het moment geen goede verklaring voor het grote verschil in methaan koolstofisotopen verhouding voor deze duplicaat gasmonsters.

Peilbuis 801 (monsternaam 801.1) en sonderingsgaten 802 (monsternaam 801.2) en 803 (monsternaam 801.3) zijn op 30 november in duplicaat bemonsterd. De methaan concentraties in P801 (ondiepste peilbuis met filterdiepte 3.5 m) zijn <5 ppm waardoor deze als onbetrouwbaar worden beschouwd. De isotopensignatuur in sonderingsgaten P801.2 en P801.3 duidt op een mengsel van gas met biogene en thermogene oorsprong. Gasmonsters uit deze beide sonderingsgaten zijn in meer (P801.2) of mindere (P801.3) mate aan methaanoxidatie onderhevig geweest gegeven de CO₂ koolstofisotopen verhoudingen (-35 en -32‰ voor P801.2 en -23 en -19‰ voor P801.3). De gaten liggen dicht bij elkaar en zijn waarschijnlijk van ongeveer dezelfde diepte waardoor het niet duidelijk is wat deze verschillen in CO₂ koolstofisotopen verhoudingen kan verklaren.

De isotopensignatuur van de duplicaat gasmonsters uit peilbuis P601 duidt op een mengsel van gas van biogene en thermogene oorsprong. Hoewel gebaseerd op de methaan koolstofisotopen een voornamelijk biogene gas oorsprong aannemelijk is, vallen de isotopenverhoudingen van deze gasmonsters binnen het cluster wat aangeduid wordt als mengsel van biogeen en thermogeen gas (Figuur 24). De CO₂ koolstofisotopen verhoudingen komen in de buurt van atmosferische waarden. Methaanoxidatie in deze gasmonsters is niet aannemelijk.

De peilbuizen P23.01, P23.02 en P23.03 zijn zowel door TNO (3 en 30 november in duplicaat) alsmede door Panterra bemonsterd (op 5 november, SodM email referentie 26 november 2021). De Panterra data van 5 november wijken op zowel methaanconcentratie als isotopendata af van de TNO data. Methaanconcentraties in de Panterra monsters zijn significant hoger (49000 - 56000 ppm in P23.02 en P23.01 in de Panterra data in vergelijking met 200-10000 ppm voor de TNO gasmonsters Tabel 21).

De isotopensignatuur van de gasmonsters door TNO op 3 november genomen uit P23.01 (ondiepste peilbuis, filterdiepte 3.5 m) duidt op een voornamelijk biogene oorsprong van het methaangas. In de gasmonsters genomen op 30 november echter, zijn de methaan koolstofisotopen verhoudingen duidelijk hoger (-37 en -31‰) waardoor er voor deze gasmonsters een grotendeels thermogene gasoorsprong wordt verondersteld. De methaan koolstof verhoudingen zijn lager dan het bereik van de IJsselmonde gasreservoir koolstofisotopen data gegeven door de NAM (NAM, 2021). Methaanoxidatie is niet aannemelijk gezien de CO₂ koolstofisotopen verhoudingen tussen -11 en 0‰. Panterra gasmonsters van 5 november laten gelijksoortige isotopen verhoudingen zien.

Gasmonsters uit peilbuis P23.02 (filterdiepte 17 m) laten voor zowel 3 als 30 november isotopenverhoudingen zien die op een mengsel van biogeen en thermogeen gas duiden. Hoewel de koolstofisotopen van deze gasmonsters niet heel laag zijn (~-55 tot -53‰) en daardoor een voornamelijk biogene oorsprong zouden duiden, liggen deze gasmonsters in het cluster van data wat als mengsel van thermogeen en biogeen wordt beschouwd (Figuur 24). In tegenstelling tot de Panterra data van 5 november duiden de CO₂ koolstofisotopen niet op significante methaanoxidatie. De methaanisotopen zijn vergelijkbaar met de TNO data en worden als mengsel van biogeen en thermogeen gas geïnterpreteerd.

Voor de gasmonsters genomen uit peilbuis P23.03 (filterdiepte 22 m) is de interpretatie voor de data van beide meetdagen niet eensluidend. Dit komt voornamelijk door de lage methaanconcentraties die op beide meetdagen in drie van de vier monsters werden aangetroffen en vanwege een lekkage in de gaszak van monster 3nov_P23.03.02 (deze is derhalve niet meegenomen in de interpretatie). Gasmonsters 3nov_P23.03.01 en 30nov_P23.03.02 hebben methaanconcentraties <7 ppm, en waardoor de isotopensignatuur nagenoeg atmosferische waarden heeft. Het enige succesvolle gasmonster is 30nov_P23.03.01. De isotopensignatuur valt binnen het grotere cluster en wordt derhalve beschouwd als een mengsel van gas met biogene en thermogene oorsprong. De methaanisotopen voor deze peilbuis verschillen tussen de TNO en Panterra gasmonsters. Ook duiden de Panterra data van de CO₂ koolstofisotopen op methaanoxidatie (-22.7‰), dit wordt echter niet geobserveerd in het TNO gasmonster (-12.7‰). Er is momenteel geen goede verklaring te geven voor de verschillen tussen de TNO en Panterra gasmonsters voor deze peilbuis.

3.3.3 Conclusie

Op basis van de interpretatie van de QCL metingen kan worden geconcludeerd dat er sprake is van methaanflux uit de bodem:

- De maximale methaanflux uit de bodem is ca. 560 ml/m²/uur. Deze flux is gevonden aan de rand van een opening in het asfalt op 3 november en is mogelijk gerelateerd aan een ophoping van gas onder het asfalt.
- Op 30 november worden significant lagere fluxen gemeten dan op 3 november (max. 41 ml/m²/uur). Dit is consistent met de hypothese dat er sprake was van gasophoping welke in de tussenperiode grotendeels is ontsnapt. Een verschil in weersomstandigheden kan ook een beperkte rol spelen bij de lagere methaanflux, door het beïnvloeden van oxidatie en/of doorlaatbaarheid van de bodem. Alsnog is de verwachting dat de metingen van 30 november representatief zijn voor de ontstane evenwichtssituatie en er bij herhaalmetingen geen sterk afwijkende waarden zullen worden gevonden.

- De hoogste meetwaarden lijken met name in de buurt van de putten worden gevonden. De grootste concentratieverhoging en methaanflux (190 ml/m²/uur) wordt gedetecteerd boven put IJS-23 op 3 november (ca. één dag na verwijderen van het asfalt). Dit is ook de put met een problematische historie (zie Appendix C), waardoor de suggestie wordt gewekt dat hier inderdaad sprake is van een relatie tussen de put en de gevonden methaan- en ethaanconcentraties.
- Maar ook in enkele sonderingsgaten verder van de putten af worden hoge methaanconcentraties (tot 2300 ppm) gemeten.

Ten aanzien van de herkomst van dit methaan kan worden gesteld dat:

- De gemeten ethaan/methaanratio's zijn laag, maar gemiddeld hoger dan op de andere locaties. Hiermee kan niet worden aangetoond noch uitgesloten dat er sprake is van een bijdrage van thermogeen gas uit een reservoir met laag ethaangehalte. Het is wel nagenoeg uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put) uit een reservoir met een ethaangehalte van >1%.
- Gasmonsters van bodemmetingen boven de putten duiden op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas (uitzondering IJS-23).
- De isotopesignatuur van een gasmonster boven IJS-23 duidt op een mengsel van gas met een biogene en thermogene oorsprong.
- De bodem boven IJS-59 is op twee opeenvolgende meetdagen bemonstert en geeft een consistent beeld van gas van biogene oorsprong.
- In de peilbuizen worden overwegend isotopesignaturen aangetroffen die duiden op gas van thermogene oorsprong of een mengsel van biogeen en thermogeen gas; er is echter geen duidelijke relatie met de diepte van de peilbuizen. Uitzondering is peilbuis P003, welke consistent hoofdzakelijk biogeen gas bevat.
- Interpretatie van de isotopendata (per peilbuis) over de twee meetdagen (3 en 30 november) is grotendeels consistent. Uitzondering is P23.01 waarvoor op 3 november een grotendeels biogene oorsprong wordt geïnterpreteerd en op 30 november een grotendeels thermogene gasoorsprong.
- Indicatie voor methaanoxidatie is waargenomen in een aantal gasmonsters uit peilbuizen en sonderingsgaten; er is echter geen relatie met locatie en diepte van de peilbuizen.

3.4 Noorderhelling West

3.4.1 Boxmetingen

Tabel 23 laat de maximale concentratieverhoging in ethaan en methaan, de ethaan/methaanratio en de methaanflux zien voor iedere boxmeting uitgevoerd boven de putten op Noorderhelling West. De meting aan het ventilatiekanaal is uitgevoerd met de aanzuigslang van de QCL, zonder de meetbox. Wat opvalt aan deze resultaten is dat:

- Er is sprake van een hoge methaanconcentratie in de uitvoer van het ventilatiekanaal. Dit betreft methaan dat uit de bodem onder de Gamma omhoog komt.
- Boven peilbuizen P402 en P403 worden ook verhoogde methaanconcentraties gemeten.
- Op de bodem ten noorden van de putten (box 1 en 2) worden geen opvallende concentratieverhogingen gemeten.
- De ethaan/methaanratio's zijn zeer laag.

Tabel 23: Resultaten boxmetingen Noorderhelling West

Naam	Bron	Feature	Gerelateerd sample	Met dop	Diepte (m)	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
NW_30nov_Box1	Bodem					0.3	0.01					
NW_30nov_Box2a	Bodem					0.3	0.01					
NW_30nov_Box4a_P4.01	Peilbuis	_P4.01		x	3.0	0.1	0.07			2.3	1.2	0.93
NW_30nov_Box4b_P4.01	Peilbuis	_P4.01	NW_30nov_P4.01.1		3.0	0.1	0.05					
NW_30nov_Box5a_P4.02	Peilbuis	_P4.02		x	17.0	0.1	2.2			33.0	17.8	0.32
NW_30nov_Box5b_P4.02	Peilbuis	_P4.02	NW_30nov_P4.02.1		17.0	12.0	350	3.0E-05	0.98			
NW_30nov_Box3a_P4.03	Peilbuis	_P4.03		x	21.0	0.1	1.6			16.0	8.6	0.97
NW_30nov_Box3b_P4.03	Peilbuis	_P4.03	NW_30nov_P4.03.1		21.0	1.2	50	2.0E-05	0.88			
NW_30nov_Box6_Ventilatie	Ventilatiekanaal	Ventilatie	NW_30nov_VK1			50.0	1200	3.0E-05	0.97			
NW_30nov_Box2b	Buis					0.3	0.4					

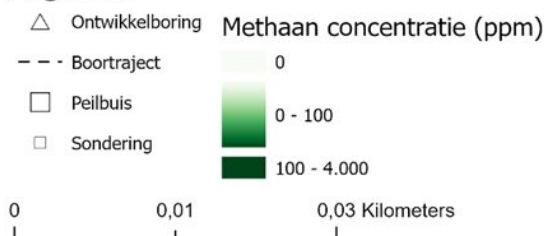
Op basis van de meetresultaten en een eenvoudige berekening kan een ruwe schatting worden gegeven van de methaanflux uit de bodem onder de Gamma van gemiddeld 14 ml/m²/uur. De berekening gaat uit van:

- 2 ventilatiebuizen met een straal van ca. 10 cm
- Een uittreedsnelheid van ca. 0.25 m/s
- Een gemiddelde methaanconcentratie in de ventilatiebuizen van 1000 ppm
- Een gerelateerd grondvlak (bodemoppervlakte onder de Gamma dat is aangesloten op het ventilatiesysteem) van ca. 40 x 100 m = 4000 m²

Methaanconcentratie metingen Noorderhelling-West



Legenda



TNO innovation
for life

Figuur 28: Methaanconcentraties (ppm) o.b.v. QCL metingen bij locatie Noorderhelling West. Op de kaart staan zowel de metingen aan de peilbuizen en aan het ventilatiekanaal. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.5.1. zijn de concentraties onderling niet goed vergelijkbaar. De metingen met een R^2 van 0.75 of hoger zijn gelabeld. Op deze labels is de ratio ethaan/methaan (%) toegevoegd. Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

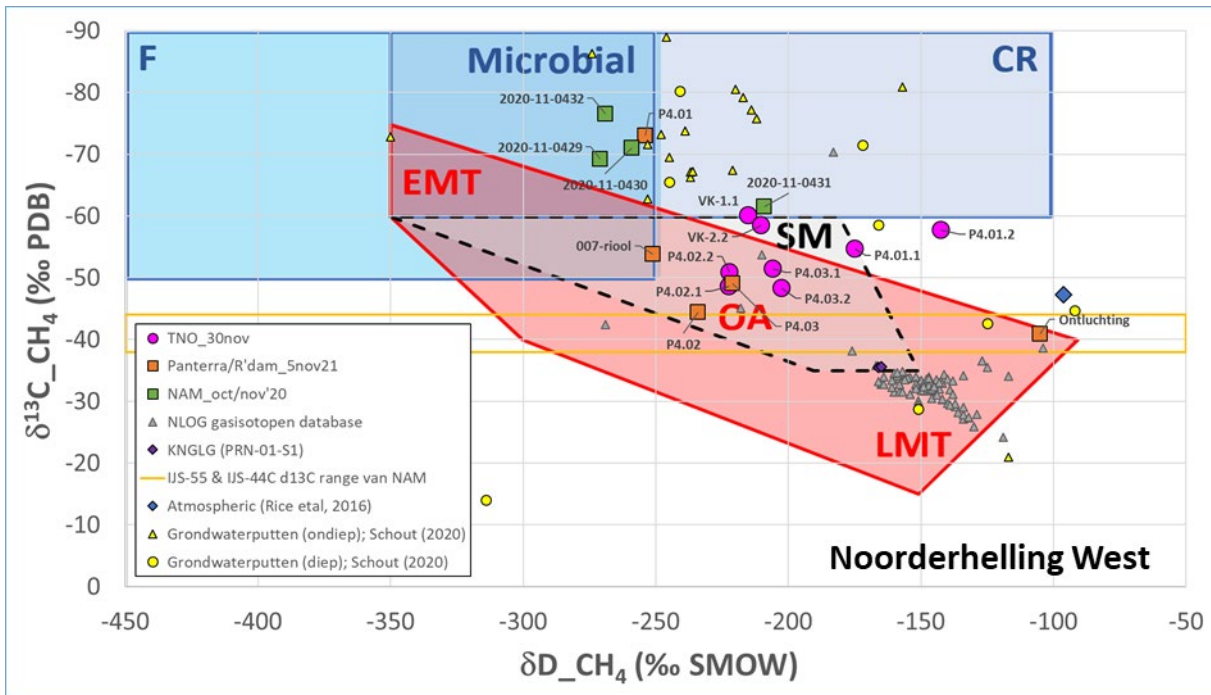
3.4.2 Gasmonsters: samenstelling & isotopensignatuur

3.4.2.1 Meetwaarden

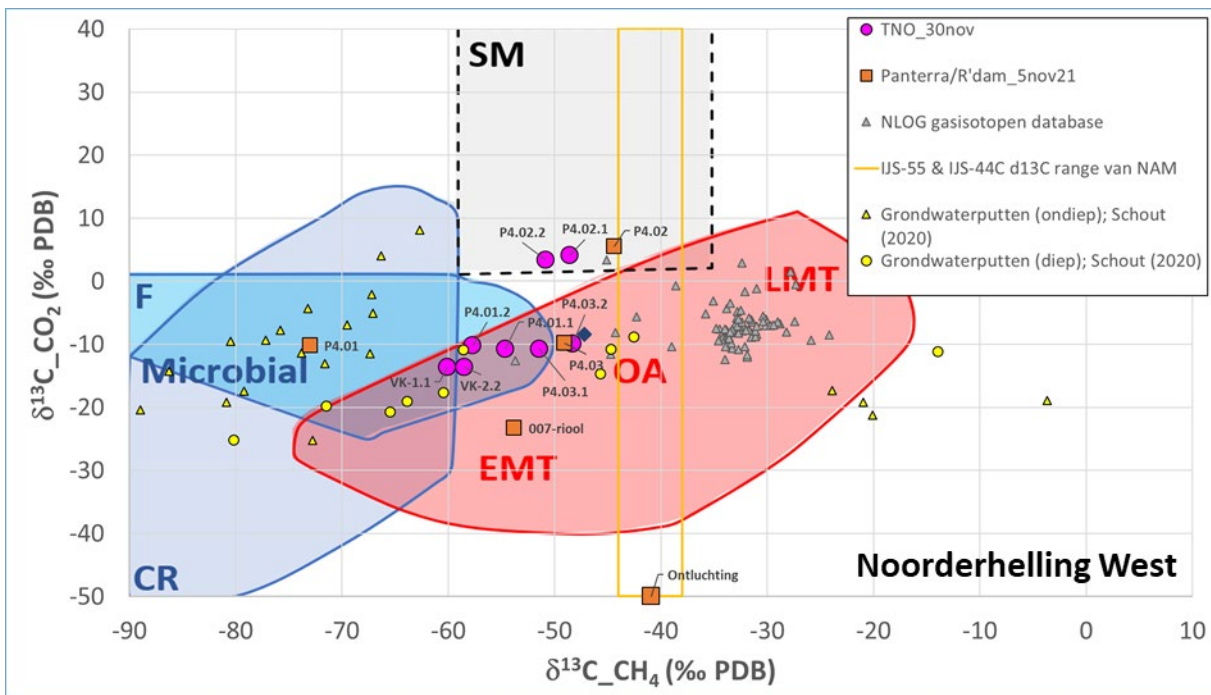
Gascompositie en isotopen samenstelling van de locatie Noorderhelling West staan gegeven in Tabel 24, Tabel 25, Figuur 29 en Figuur 30.

Tabel 24: Gassamenstelling monsters Noorderhelling West.

Naam	Bron	Feature	Met gat	Diepte (m)	C1 (mol ppm)	C2 (mol ppm)	C3 (mol ppm)	C4 (mol ppm)	C5 (mol ppm)	C6+ (mol ppm)	N2 (mol%)	O2 (mol%)	CO2 (mol%)
NW_30nov_P4.01.1	Peilbuis	_P4.01		3.0	17	nd	nd	nd	nd	na	78.1	20.9	0.04
NW_30nov_P4.01.2	Peilbuis	_P4.01		3.0	7	nd	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	78.1	21.0	0.04
NW_30nov_P4.02.1	Peilbuis	_P4.02		17.0	14,600	<0.2 ppm	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	76.6	20.5	0.51
NW_30nov_P4.02.2	Peilbuis	_P4.02		17.0	7,290	nd	nd	nd	<0.1 ppm	na	77.3	20.7	0.29
NW_30nov_P4.03.1	Peilbuis	_P4.03		21.0	6,050	nd	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	na	77.6	20.7	0.18
NW_30nov_P4.03.2	Peilbuis	_P4.03		21.0	3,020	nd	nd	<0.1 ppm	nd	na	77.8	20.8	0.12
NW_30nov_VK1	Ventilatiekanaal	Ventilatie			1,200	nd	<0.1 ppm	<0.1 ppm	nd	na	79.1	19.8	0.04
NW_30nov_VK2	Ventilatiekanaal	Ventilatie			1,190	<0.2 ppm	<0.1 ppm	<0.1 ppm	nd	na	79.1	19.8	0.04



Figuur 29: Methaan waterstof- en koolstofisotopen diagram met alle nieuwe (30 november) data alsmede alle eerder verzamelde data voor Noorderhelling West (NAM en Panterra). Zie Figuur 5 voor de gebruikte afkortingen.



Figuur 30: Methaan koolstofisotopen vs. CO₂ koolstofisotopen diagram met alle nieuwe (30 november) data alsmede alle eerder verzamelde data voor Noorderhelling West. Zie Figuur 6 voor de gebruikte afkortingen.

Wat opvalt aan de resultaten:

- Gasmonsters bestaan voornamelijk uit lucht (N₂ 78% en O₂ ~21%).
- Methaanconcentraties zijn over het algemeen (significant) hoger dan lucht (behalve P4.01); hogere koolwaterstoffen (ethaan en propaan) zijn in zeer lage concentraties aangetroffen in de peilbuizen (vaak <0.2 ppm). In geen van de gasmonsters is H₂S aangetroffen.
- Methaan koolstof- en waterstofisotopen variëren respectievelijk tussen ongeveer -60 en -48‰ en -220 en -140‰.
- CO₂ koolstofisotopen variëren van -14 tot +4‰.
- De koolstofisotopen van de gasmonsters uit het Gamma ventilatiekanaal zijn iets lager (~ -60‰) dan de koolstofisotopen uit de peilbuizen (~ -50‰); de gasmonsters hebben echter vergelijkbare waterstof isotopen verhoudingen.

Ieder gasmonster is in duplicaat genomen. Reproduceerbaarheid van de isotopen data van de gasmonsters is over het algemeen zeer goed. Met name voor de gasmonsters met hoge methaan concentraties (>1000 ppm) komen de gemeten methaan waterstof- en koolstof, en CO₂ koolstof isotopen goed overeen tussen de replicaat gasmonsters. Voor de lagere methaan concentraties (peilbuis P4.01, met 17 en 7 ppm) is de reproduceerbaarheid van de methaan waterstofisotopen minder goed; de koolstof isotopen van zowel CO₂ en methaan laten wel nagenoeg dezelfde waarden zien voor de replicaat metingen.

Bij de locatie Noorderhelling West zijn op 8 december een drietal nieuwe peilbuizen geplaatst aan de oostkant van het Gamma filiaal (P501, P502 en P503). Deze peilbuizen zijn niet bemonsterd.

Tabel 25 hieronder geeft een overzicht van de isotopensignatuur en de uiteindelijke interpretatie van de herkomst per gasmonster. De interpretatie wordt toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 31 toont de interpretatie per meetpunt op de kaart. In het geval van meerdere gasmonsters op één meetpunt en meetdag, is de interpretatie getoond voor het gasmonster met de hoogste methaanconcentratie.

Tabel 25: Isotopensignatuur en interpretatie herkomst van verzamelde gasmonsters van Noorderhelling West.

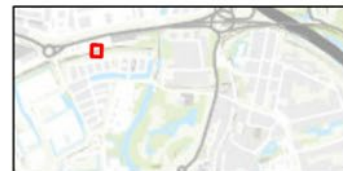
Naam	Bron	Feature	Diepte peilbuis (m)	Methaan-concentratie sample (ppm)	IMAU - d13C (CH4) sample	IMAU - d2H (CH4) sample	ISOLAB - d13C (CO2)	ISOLAB - d13C (CH4)	ISOLAB - d2H (CH4)	Interpretatie
NW_30nov_P4.01.1	Peilbuis	P4.01	3.0	16.9	-54.6	-174.8	-10.8	-54.4		Mix biogeen & lucht
NW_30nov_P4.01.2	Peilbuis	P4.01	3.0	6.5	-57.7	-142.3	-10.3			Mix biogeen & lucht
NW_30nov_P4.02.1	Peilbuis	P4.02	17.0	14,600	-48.6	-222.3	4.0	-51.1	-238	Mix biogeen & thermogeen
NW_30nov_P4.02.2	Peilbuis	P4.02	17.0	7,290	-50.9	-222.1	3.3	-49.3	-236	Mix biogeen & thermogeen
NW_30nov_P4.03.1	Peilbuis	P4.03	21.0	6,050	-51.5	-205.7	-10.8	-54.2	-225	Mix biogeen & thermogeen
NW_30nov_P4.03.2	Peilbuis	P4.03	21.0	3,020	-48.3	-202.4	-10.0	-49.6	-223	Mix biogeen & thermogeen
NW_30nov_VK1	Ventilatiekanaal	Ventilatie		1,200	-60.1	-215.0	-13.7	-60.6	-236	Grotendeels biogeen
NW_30nov_VK2	Ventilatiekanaal	Ventilatie		1,190	-58.5	-210.2	-13.7	-59.7	-229	Grotendeels biogeen

Isotopeninterpretatie Noorderhelling-West



Legenda

- | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| △ Ontwikkelboring | Isotoop interpretatie | ● lucht/atmosfeer |
| - - - Boortraject | ● Grotendeels biogeen | ○ onbetrouwbaar |
| □ Peilbuis | ● Grotendeels thermogeen | |
| □ Sondering | ● Mix biogeen & lucht | |
| | ● Mix biogeen & thermogeen | |
| | ● Mogelijk biogeen (deels geoxideerd) | |



0 0,01 0,02 Kilometer

TNO innovation for life

Figuur 31: Isotopeninterpretatie per meetpunt Noorderhelling West

3.4.2.2 Toelichting interpretatie

Aan de Noorderhelling West zijn enkel gasmonsters genomen uit drie peilbuizen (P4.01 P4.02 en P4.03) en het ventilatiekanaal in de Gamma. De isotopensignatuur van de meest ondiepe peilbuis (P4.01, filterdiepte 3 m) en de gasmonsters uit het ventilatiekanaal duiden op een voornamelijk biogene oorsprong van het aangetroffen methaangas. In de gasmonsters uit P4.01 is de methaanconcentratie laag (17 en 7 ppm), waarbij een duidelijke verschuiving in de waterstof isotopensignatuur zichtbaar is richting de achtergrond/atmosferische waarde naarmate de methaanconcentratie lager wordt. In het ventilatiekanaal zijn de methaanconcentraties significant hoger (~1200 ppm) en duiden de isotopen op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas.

De methaanconcentraties van gasmonsters uit peilbuizen P4.02 (filter diepte 17 m) en P4.03 (filterdiepte 21 m) zijn zeer hoog (tot ~14.000 ppm) waarbij opgemerkt wordt dat het eerste gasmonster in een peilbuis een significante hogere concentratie heeft dan het tweede, duplicaat gasmonster uit dezelfde peilbuis. Ethaan is aangetroffen in gasmonster uit P4.02 (<0.2 ppm). De isotopendata voor deze gasmonsters duiden op een gasmengsel van thermogene en biogene oorsprong. Bij gebrek aan *endmembers* is de mate van menging echter lastig te bepalen.

Voor de locatie Noorderhelling West is data beschikbaar uit eerdere metingen uitgevoerd door NAM (november 2020) en Panterra (5 november 2021). Voor de metingen uitgevoerd door de NAM is niet duidelijk waar deze zijn genomen ("gas cap", NAM, 2021); de isotopensignatuur voor deze monsters duidt echter op een grotendeels biogene oorsprong van het methaangas.

De isotopensignatuur van gasmonsters genomen door Panterra komt grotendeels overeen met de TNO analyses van 30 november. Hoewel gasconcentraties verschillen en de koolstof- en waterstofisotopen wat variëren, duidt de isotopensignatuur in de Panterra gasmonsters op een voornamelijk biogene oorsprong (P4.01) en een mengsel van thermogeen en biogeen gas (P4.02 en P4.03), waarbij de methaan koolstofisotopen in gasmonster P4.02 wellicht een voornamelijk thermogene oorsprong heeft.

CO₂ isotopen gemeten aan gasmonster "007 riool" en "ontluchting" in de Panterra gasmetingen duidt op geoxideerd methaangas. Het is echter niet duidelijk waar deze gasmonsters genomen zijn, en hoe deze te vergelijken zijn met de gasmonsters genomen door TNO uit het ventilatiekanaal in de Gamma.

In zowel de TNO 30 november, als de Panterra 5 november data wordt in gasmonsters uit peilbuis P4.02 CO₂ d13C waarden van ~ +3 tot +5‰ gemeten. Milkov & Ethiopie (2018) beschouwen d13C van CO₂ zwaarder dan +2‰ als CO₂ wat door microben geproduceerd wordt tijdens biodegradatie van oliereservoirs. Voor P4.02 geeft dit aan dat een deel van het thermogene gas uit de diepere gelegen oliereservoirs afkomstig kan zijn. Opmerkelijk is echter wel dat dit gemeten wordt in de middelste peilbuis, en niet (ook) in de diepste peilbuis (P4.03, filterdiepte 21 m). Bij opwaartse migratie door de ondergrond zou namelijk verwacht worden dat een deel van dit gas ook in de diepere peilbuis aangetroffen wordt.

Een andere mogelijke verklaring zou grondwaterverontreiniging via het naast gelegen benzinstation zijn. In de gasmonsteranalyses van TNO zijn zeer lage concentraties van wat hogere koolwaterstoffen aangetroffen (<0.2 ppm); in de Panterra gasmonsters van 5 november zijn deze niet gedetecteerd. Uit de begeleidende GC spectra (email SodM, referentie 26 november 2021) blijkt dat

indicatoren die routinematig gebruikt worden voor contaminatiemonitoring (bijv. benzeen, toluen, M/P/O xylene) niet worden aangetroffen. Bij eventuele grondwaterverontreiniging via het benzinestation zou dit ook verwacht worden in de ondiepe peilbuis (P4.01, filter 3 m); dit wordt echter niet geobserveerd in de data van P4.01. Om eventuele grondwaterverontreiniging uit te sluiten wordt derhalve aanbevolen om chemische analyse van het grondwater uit de peilbuizen uit te voeren.

3.4.3 *Conclusie*

Op basis van de interpretatie van de QCL metingen kan worden geconcludeerd dat er sprake is van methaanflux uit de bodem:

- Methaanconcentraties van enkele duizenden ppm in de diepere peilbuizen en tot ca. 1200 ppm in het ventilatiekanaal van het Gamma gebouw.
- Een ruwe inschatting geeft een waarde van ca. 14 ml/m²/uur als de gemiddelde methaanflux uit de bodem onder het Gamma gebouw. Dit is vergelijkbaar met methaanfluxen die op andere locaties worden gemeten.

Ten aanzien van de herkomst van dit methaan kan worden gesteld dat:

- De gemeten ethaan/methaanratio's zijn laag. Hiermee kan niet worden aangetoond noch uitgesloten dat er sprake is van een bijdrage van thermogeen gas uit een reservoir met laag ethaangehalte. Het is wel nagenoeg uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put) uit een reservoir met een ethaangehalte van >1%.
- Gasmonsters uit het ventilatiekanaal van de Gamma bevatten gas van grotendeels biogene herkomst.
- Gasmonsters uit de ondiepe peilbuis (P4.01, filterdiepte 3 m) hebben een voornamelijk biogene gasoorsprong.
- Gasmonsters uit de diepere peilbuizen (P4.02, filterdiepte 17 m en P4.03, filterdiepte 21 m) hebben een isotopesignatuur wat duidt op een mengsel van biogeen en thermogeen gas.
- CO₂ koolstofisotopen van de gasmonsters in peilbuis P4.02 duiden erop dat een deel van het thermogene gas uit dieper gelegen biogedegradeerde olie reservoirs kan komen. Omdat dit alleen in de peilbuis met een filterdiepte van 17 meter wordt aangetroffen en niet ook in de diepste peilbuis kan grondwaterverontreiniging niet worden uitgesloten. Voor dit laatste wordt aanbevolen om chemische analyse van het grondwater uit de peilbuizen uit te voeren.

3.5 Referentielocaties

3.5.1 Boxmetingen

De volgende referentielocatie zijn bemeten

- Grondwaterputten (GMW37H124589, GMW37H124354)
- Locaties in park De Twee Heuvels
- Bodem in wijk (op locatie van grondwaterputten B37H0403 en GMW37H124587; putten niet meer aanwezig door herontwikkeling van plantsoen)

Hierbij is een aantal onconventionele metingen uitgevoerd: bij box 2 is in de grondwater-monitoringsbuis gemeten, en in het park zijn boorkernen verzameld met de grondboor. Deze boorkernen zijn verzameld op grotere afstand van de meetbus, waardoor boxmetingen op deze locaties niet mogelijk waren. De boorkernen zijn direct na de boring in een afgesloten plastic zak gestopt. Vervolgens is deze plastic zak met de boorkern meegenomen naar de QCL in de meetbus voor het bepalen van de concentraties (zie Tabel 26 en Figuur 32).

Wat opvalt aan de resultaten is:

- De ethaan/methaanratio in de grondwater-monitoringsbuis bij box 2 is 0.01%. In de bodem monsters uit het park zelfs 0.03%. Dit is laag, maar hoger dan bij de meeste andere metingen rondom de IJsselmonde putten.
- De methaanflux die bij de boxmeting op de bodem nabij de grondwater-monitoringsbuis (box 1) wordt gemeten, is van dezelfde orde grootte als sommige boxmetingen op putlocaties.

Tabel 26: Resultaten referentiemetingen

Naam	Bron	Gerelateerd sample	Met gat	Met dop	Diepte (m)	dC2H6 (ppb)	dCH4 (ppm)	C2H6/CH4 (/)	R ² (C2H6/CH4)	CH4 (ppb/s)	CH4 (ml/m ² /uur)	R ² (helling CH4)
REF_30nov_Box4a_Waterput B37H0403	Bodem				30.0	0.2	0.01			0.0	0.0	0.94
REF_30nov_Box4b_Waterput B37H0403	Bodem		x		30.0	-	0					
REF_30nov_Box1	Bodem					0.1	1.8			28.0	15.1	0.95
REF_30nov_kath.besch_a	Bodem					-	0.006					
REF_30nov_kath.besch_b	Bodem		x			0.2	0.01					
REF_30nov_Box3a_Waterput GMW37H124354	GW monitoring			x	3.3	-	0					
REF_30nov_Box3b_Waterput GMW37H124354	GW monitoring				3.3	-	0.004					
REF_30nov_Box2a_Waterput GMW37H124589	GW monitoring	REF_30nov_WP-1.1			20.6	0.1	0.02					
REF_30nov_Box2b_Waterput GMW37H124589	GW monitoring	REF_30nov_WP-1.2			20.6	20.0	120	1.0E-04	0.99			
REF_8dec_Park2	Bodemmonster	REF_8dec_Park1	x			8.0	160	4.0E-05	nvt			
REF_8dec_Park3	Bodemmonster		x			4.0	12	3.0E-04	nvt			
REF_8dec_Park5	Bodemmonster		x			0.5	1.5	3.0E-04	nvt			

Methaanconcentratie metingen Park De Twee Heuvels



Figuur 32: Methaanconcentratie metingen (ppm) aan bodemonsters uit meetlocatie Park De Twee Heuvels. Op de kaart staan zowel de metingen met gat als zonder geboord gat (in roze letter kleur). De metingen zijn gelabeld. Op deze labels is de ratio ethaan/methaan (%) toegevoegd. . Opmerking: in deze figuur wordt voor de decimalen een komma gebruikt in plaats van een punt.

3.5.2 Gasmonsters: samenstelling & isotopensignatuur

3.5.2.1 Meetwaarden

Gascompositie en isotopen samenstelling van de referentie locaties staan gegeven in Tabel 27, Tabel 28, Figuur 33 en Figuur 34.

Tabel 27: Resultaten gascompositie metingen voor referentie locaties.

Naam	Bron	Feature	Met gat	Diepte (m)	C1 (mol ppm)	C2 (mol ppm)	C3 (mol ppm)	C4 (mol ppm)	C5 (mol ppm)	C6+ (mol ppm)	N2 (mol%)	O2 (mol%)	CO2 (mol%)
REF_8dec_Park1	Bodemmonster		x		96	nd	nd	nd	nd	na	78.0	20.9	0.11
REF_30nov_WP-1.1	GW monitoring	Waterput GMW37H124589		20.6	40	nd	nd	<0.1 ppm	nd	nd	78.1	20.9	0.05
REF_30nov_WP-1.2	GW monitoring	Waterput GMW37H124589		20.6	11	nd	nd	nd	nd	nd	78.1	20.9	0.05

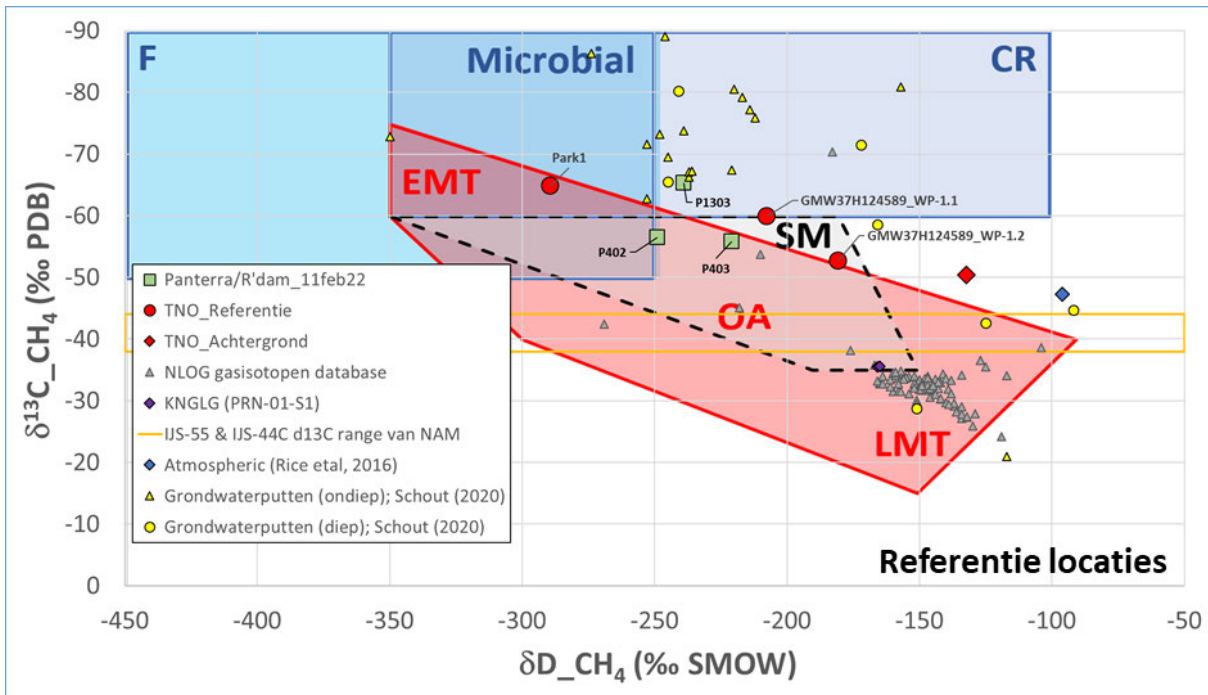
Wat opvalt aan de resultaten is:

- Gasmonsters bestaan voornamelijk uit lucht (N₂ 78% en O₂ ~21%).
- Methaanconcentraties in alle drie de gasmonsters zijn hoger dan lucht; hogere koolwaterstoffen (ethaan en propaan) zijn niet in meetbare concentraties aanwezig. H₂S is niet aangetroffen.
- Methaan koolstof- en waterstofisotopen variëren respectievelijk tussen -60 en -50‰ en -300 en -200‰. CO₂ koolstofisotopen variëren van -20 tot -10‰.
- Een duplicaatmeting aan GWM put 37H124589 laat een verschuiving zien richting isotopensignatuur van buitenlucht.

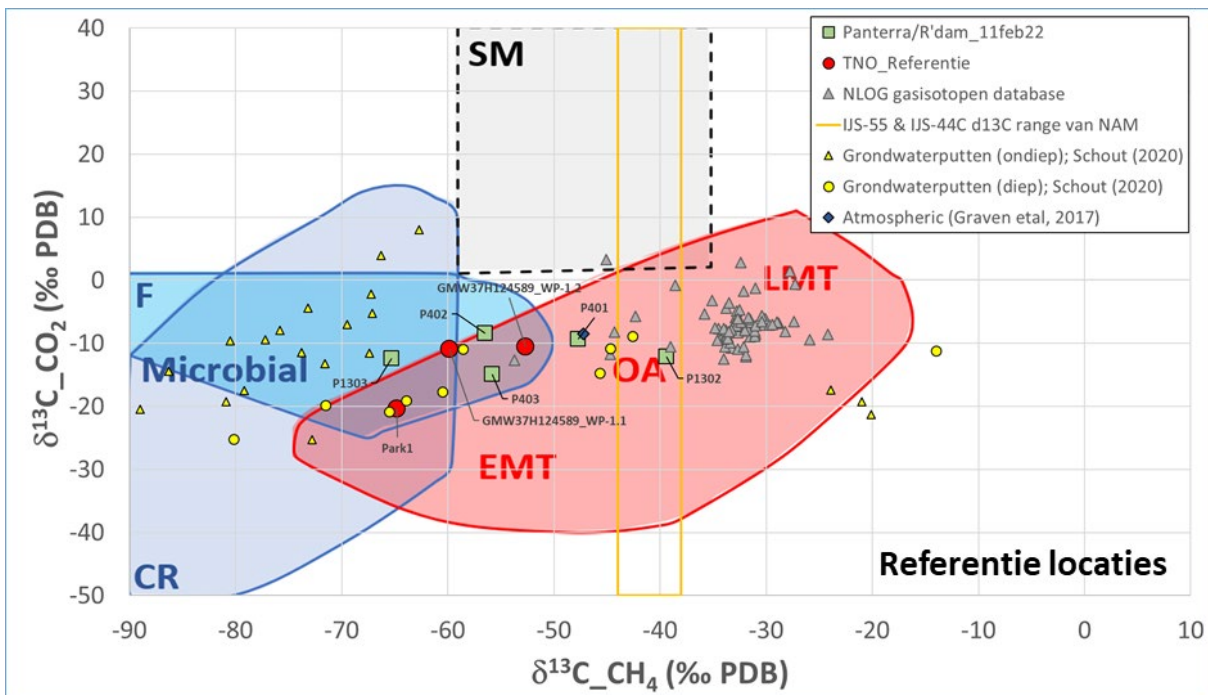
Tabel 28 hieronder geeft een overzicht van de isotopensignatuur en de uiteindelijke interpretatie van de herkomst per gasmonster. De interpretatie wordt toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 35 toont de interpretatie van het bodemmonster uit Park de Twee Heuvels op de kaart.

Tabel 28: Isotopensignatuur en interpretatie herkomst van verzamelde gasmonsters voor referentie locaties.

Naam	Bron	Feature	Diepte peilbuis (m)	Methaan- concentratie sample (ppm)	IMAU - d13C (CH4) sample	IMAU - d2H (CH4) sample	ISOLAB - d13C (CO2)	ISOLAB - d13C (CH4)	ISOLAB - d2H (CH4)	Interpretatie
REF_8dec_Park1	Bodemmonster			90.0	-64.8	-289.3	-20.4	-65.6		Grotendeels biogeen
REF_30nov_WP-1.1	GW monitoring	Waterput GMW37H124589	20.6	35.6	-59.9	-207.6	-10.9	-61.2		Grotendeels biogeen
REF_30nov_WP-1.2	GW monitoring	Waterput GMW37H124589	20.6	10	-52.7	-180.7	-10.5			Grotendeels biogeen



Figuur 33: Methaan waterstof- en koolstofisotopen diagram voor de referentie locaties. Zie Figuur 5 voor de gebruikte afkortingen.



Figuur 34: Methaan en CO₂ koolstofisotopen diagram voor de referentie locaties. Zie Figuur 5 voor de gebruikte afkortingen.

Isotopeninterpretatie Park De Twee Heuvels



Figuur 35: Isotopeninterpretatie gasmonster Park de Twee Heuvels

3.5.2.2 *Toelichting interpretatie*

De isotopesignatuur van het gasmonster genomen in het park (Park1) duidt op een voornamelijk biogene oorsprong van het gas. De bron van dit gas is mogelijk het organisch materiaal aanwezig in de bodem in het park, dan wel organisch rijke (veen)lagen die aanwezig zijn op grotere dieptes.

Uit grondwaterput GWM 37H124589 zijn twee gasmonsters genomen, beide direct uit de peilbuis. WP1.1 heeft een voornamelijk biogene isotopesignatuur. Het tweede duplicaat gasmonster laat een verschuiving zien richting isotopesignatuur van lucht. Dit kan verklaard worden doordat het opgehoopte methaangas bij de eerste bemonstering verzameld is, waardoor er (bij relatief lage fluxen) in de tweede bemonstering een relatief grotere lucht component zit. De methaanconcentraties in deze gasmonsters duiden ook op een dergelijke menging; gasmonster WP1.1 heeft een hogere methaanconcentratie (40 ppm) in vergelijking met WP1.2 (11 ppm).

Gasmonsters genomen voor referentielocaties door Panterra op 11 februari 2022 (peilbuizen P401-P403, ten zuiden van de put en puttraject IJS-01) en P1301-P1303 (ongeveer 2 km ten zuidwesten van DW, Figuur 2) laten, met uitzondering van twee peilbuizen (P401 en P1301) zeer hoge methaanconcentraties zien (> 1000 ppm, tot 2.5 mol%, Tabel 37 in Appendix E – Overzicht gascompositie en isotopendata uit eerdere/andere meetcampagnes). Ethaan, propaan en butaan worden (met uitzondering van gasmonster P403) in geen van de gasmonsters aangetroffen. De gasmonsters bevatten echter wel hogere koolwaterstoffen (C6+ in alle gasmonsters en C5 in gasmonsters P403 en P1303). In gasmonsters uit eerdere bemonsteringsdagen (Panterra gasmonsters van maart en september 2021) werden vergelijkbare observaties gedaan (waarbij de concentraties van C5 en C6 lager waren). Voor deze gasmonsters werd vermoed dat eventuele contaminatie van de gascilinders een rol heeft gespeeld (NAM, 2021). Dit zou ook voor de gasmonsters P401, P402 en P403 en P1301, P1302 en P1303 kunnen gelden. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat eventuele bodemverontreiniging van invloed is nabij de locaties van peilbuizen P401, P402 en P403 en P1301, P1302 en P1303. De interpretatie van isotopendata is gedaan onder aanname dat er geen contaminatie heeft plaatsgevonden.

Methaan koolstof- en waterstofisotopen data voor peilbuizen P401, P402 en P403 worden geïnterpreteerd als gas van biogene oorsprong waarbij menging met gas met zwaardere isotopesignatuur (thermogeen gas) mogelijk is (Figuur 33, Figuur 34 en Tabel 37 in Appendix E – Overzicht gascompositie en isotopendata uit eerdere/andere meetcampagnes). Isotopendata van P1303 duidt op een voornamelijk biogeen signatuur. Voor P1302 lijkt de methaan koolstofisotopenverhouding op gas van thermogene oorsprong te duiden, echter dit gasmonster heeft een δD van +74‰. Voor dit gasmonster is het aannemelijk dat significante methaanoxidatie heeft plaatsgevonden. Voor P1301 was de methaanconcentratie dermate laag (8 ppm) dat er geen methaan isotopenverhoudingen bepaald konden worden.

3.5.3 *Conclusie*

Op basis van de interpretatie van de QCL metingen kan worden geconcludeerd dat er inderdaad sprake is van methaanflux uit de bodem op de referentielocaties:

- De gevonden maximale methaanflux van 15 ml/m²/uur is van de zelfde orde grootte als methaanfluxen gevonden bij sommige putlocaties.

Ten aanzien van de herkomst van dit methaan kan worden gesteld dat:

- De gemeten ethaan/methaanratio's zijn laag, maar vergelijkbaar met de ratio's gemeten bij de putlocaties. Hiermee kan niet worden aangetoond noch uitgesloten dat er sprake is van een bijdrage van thermogeen gas uit een reservoir met laag ethaangehalte.
- Op basis van de isotopensignatuur kan worden gesteld dat de gasmonsters verzameld bij de referentielocaties een biogene oorsprong hebben.
- Op basis van de isotopensignatuur en afwijkende gascompositie is de interpretatie voor de door Panterra verzamelde aanvullende gasmonsters onzeker. Er is mogelijk sprake van een thermogene bijdrage bij peilbuizen P401, P402 en P403, nabij IJS-01, maar er kan ook sprake zijn van contaminatie.

4 Conclusie omtrent aanwezigheid en herkomst methaan bij voormalige winningslocaties Rotterdam

Het doel van de metingen was om vast te stellen of er sprake is van methaanflux uit de bodem op de voormalige winningslocaties, en als dit het geval is, wat de oorsprong is (thermo-/biogeen) van dit methaan.

Op basis van de uitgevoerde metingen en gasmonsternames, kan worden vastgesteld dat op alle voormalige winningslocaties, als mede op de verschillende referentielocaties, sprake is van een methaanflux uit de bodem. Hierbij is de methaanflux op de referentielocaties van dezelfde orde grootte als op de voormalige winningslocaties, met waarden tussen de 10 en 60 ml/m²/uur. Uitzondering hierop zijn twee boxmetingen uitgevoerd op Noorderhelling Oost op 3 november, ca. één dag na het verwijderen van stukken uit het asfalt. Hier worden methaanfluxen van 190 tot 560 ml/m²/uur gemeten. Bij de herhalingsmeting 4 weken later zijn de fluxen vele malen lager dan net na openbreken van het asfalt. Dit suggereert dat er ophoping heeft plaatsgevonden onder de afsluitende laag en de fluxen van 3 november niet representatief zijn voor een langere periode. Noorderhelling Oost is ook de enige locatie waar de methaanfluxen uit de bodem nabij de putlocaties duidelijk hoger zijn dan verder weg van de putlocaties. Boxmetingen boven drainagelinten (Dwarsdijk West en Dwarsdijk Oost), die tot 20 meter de bodem ingaan en een preferent lekp pad kunnen vormen, laten geen hogere concentratie/flux zien dan op andere plekken op de bodem. Door boxmetingen zowel direct op de bodem uit voeren, als boven een gat (0.5-1m) is duidelijk aangetoond dat er na het boren van een nieuw gat sprake is van hogere concentraties, welke afvlakken richting een representatieve evenwichtsconcentratie.

Tijdens boxmetingen wordt ook de ethaanconcentratie bepaald. Wanneer het ethaansignaal een goede correlatie vertoont met de stijging van de methaanconcentratie, wordt verondersteld dat beide afkomstig zijn uit dezelfde bron. De ethaan/methaanratio's zijn overwegend laag (gemiddeld 0.02%), veel lager bijvoorbeeld dan bij Gronings aardgas (~3%). Echter, een beperkt aantal beschikbare analyses van gas uit reservoirs in het IJsselmonde gebied laat zien dat het ethaangehalte in de ondiepe gasreservoirs ook laag kan zijn. Omdat ethaan in kleine hoeveelheden ook microbiel gevormd kan worden (zie Appendix D), zijn de lage ethaan/methaanratio's geen overtuigend bewijs om de aanwezigheid van thermogeen gas aan te tonen, noch de aanwezigheid hiervan uit te sluiten. Evenwel is het vrijwel uitgesloten dat het gemeten gas afkomstig is van een directe lekkage (via binnenkant put, zoals bij Monster het geval was) van gas uit een reservoir met een hoger ethaangehalte (>1%). Opvallend is dat de hoogste ethaan/methaanratio's worden gemeten bij locatie Noorderhelling Oost, waar de isotopensignaturen het vaakste wijzen op een thermogene oorsprong van het gevonden gas. Door gebrek aan uitgangssamenstellingen (*endmembers*) van thermogeen gas in de IJsselmonde reservoirs is het lastig te bepalen wat de bron van het thermogene gas is.

Naast boxmetingen is een groot aantal gasmonsters genomen, zowel uit de meetbox op de bodem, uit aanwezige peilbuizen, grondwaterputten en ventilatiekanaal. De gascompositie van deze gasmonsters laat in de meeste gevallen een consistent beeld zien; een verhoogde methaanconcentratie, niet of nauwelijks aanwezigheid van ethaan of hogere alkanen, geen aanwezigheid van H₂S, en verder een compositie die overeenkomt met buitenlucht. In enkele gasmonsters is de

aanwezigheid van ethaan of zelfs in beperkte mate die van hogere alkanen aangetoond. Deze informatie is meegenomen bij het interpreteren van de herkomst van deze gasmonsters op basis van de isotopensignatuur.

Uit de analyse van de isotopensignaturen van de gasmonsters komt een gevarieerd beeld naar voren. Vrijwel alle gasmonsters die zijn verzameld uit de meetbox welke op de bodem (in de meeste gevallen boven een boorgat) is geplaatst, zijn hoofdzakelijk van biogene herkomst. Alleen bij twee gasmonsters genomen boven putten IJS-23 (Noorderhelling Oost) en IJS-20 (Dwarsdijk Oost) wijst de isotopensignatuur op een mengsel van gas van biogene en thermogene herkomst. De gasmonsters verzameld op de referentielocaties (uit de bodem in het park, en uit een grondwaterput) zijn ook allen grotendeels van biogene herkomst.

De gasmonsters uit de peilbuizen wijken in isotopensignatuur vaak af van de gasmonsters uit de bodem. Op Dwarsdijk Oost hebben de gasmonsters uit peilbuizen P1201 en P1203 een duidelijke thermogene signatuur. Dit terwijl deze peilbuizen op grotere afstand van de aanwezige putten staan dan peilbuizen P1101 tot P1103, waar gas van biogene oorsprong wordt gevonden. Ook enkele gasmonsters uit peilbuizen P005 en P006 bevatten deels thermogeen gas. Voor deze locatie wordt dan ook geconcludeerd dat er thermogeen gas aanwezig is in de ondiepe bodem, welke niet overtuigend gecorreleerd is met de locatie van de putten. Dit thermogene gas levert echter nauwelijks een bijdrage aan het methaan dat op deze locatie uit de bodem komt, dit is grotendeels gas van biogene oorsprong.

Op Dwarsdijk West worden afwijkende isotopenwaarden gevonden bij peilbuis P001A, ten westen van de putlocaties. De waarden kunnen deels worden verklaard door verregaande methaanoxidatie, maar zijn lastig te duiden. Ook in peilbuis P002A worden afwijkende isotopenwaarden gevonden, bij een lage methaanconcentratie. Waarschijnlijk is hier sprake van een mix van biogeen en thermogeen gas. De overige peilbuizen bevatten gas van overwegend biogene oorsprong.

Op locatie Noorderhelling Oost bevatten bijna alle peilbuizen een duidelijke bijdrage van thermogeen gas, hoewel de ethaan/methaanratio's laag zijn. Alleen P003 bevat grotendeels biogeen gas op alle meetdagen. Bij sommige peilbuizen lijkt sprake van methaanoxidatie, maar is een thermogene gasbijdrage alsnog waarschijnlijk. Zoals hierboven besproken, is de biogene component ook op deze locatie dominant in het gas dat uit de bodem ontsnapt.

Bij Noorderhelling West is de bodem boven de putten niet bereikbaar, maar zijn gasmonsters verzameld uit drie peilbuizen en uit het ventilatiekanaal dat de ruimte onder het nieuwe Gamma gebouw dient te ontlichten. De twee diepere peilbuizen bevatten gas van deels biogene en deels thermogene oorsprong. Het gas dat onder de Gamma uit de bodem komt, blijkt van hoofdzakelijk biogene oorsprong. De isotopensignatuur van gas uit peilbuis P4.02 wijst erop dat er mogelijk sprake is van bodemverontreiniging. Daarom wordt aanbevolen om een chemische analyse uit te voeren van het grondwater in deze peilbuis.

De gasmonsters die zijn verzameld op de referentielocaties zijn allen van hoofdzakelijk biogene oorsprong. Het feit dat de methaanfluxen en ethaan/methaanratio's gemeten bij de referentielocaties niet wezenlijk verschillen van de metingen bij de putlocaties onderschrijft de waarde van de isotopenanalyse als instrument om de herkomst van methaan te duiden, in het bijzonder in dit gebied waar ondiepe reservoirs met soms lage ethaangehaltes aanwezig zijn.

5 Discussie

Resultaten en beperkingen van het huidige onderzoek

Het huidige onderzoek is uitgevoerd volgens een weloverwogen aanpak, middels een groot aantal metingen met high-end meetapparatuur en analysetechnieken die tot de meest gevoelige en nauwkeurige behoren die beschikbaar zijn. Desondanks zijn er belangrijke complicerende factoren waardoor een complete en eenduidige verklaring van alle meetresultaten niet altijd mogelijk is.

Allereerst blijkt uit historische gegevens dat deze regio wordt gekenmerkt door de ondiepe aanwezigheid van methaan in de bodem (Appendix C). Dit methaan, van waarschijnlijk biogene oorsprong (zie Appendix C, sectie 10.3), is afkomstig uit veenlagen in de ondiepe ondergrond, dan wel ontstaan als gevolg van degradatie van Holocene mariene sedimenten. Hierdoor kan tot op tientallen (wellicht honderd) meters diepte biogeen gas in de bodem aanwezig zijn (Bol, 1991; Schout, 2020). Dit methaangas is in het verleden als brongas gewonnen (zie sectie 10.3 en bijv. Bol, 1991; Midden-Delfland Vereniging, 2004). Ook thermogene gasreservoirs zijn op relatief geringe diepte aanwezig in dit gebied (op ~550 onder NAP, in het Basaal Dongen Zand Laagpakket). Het detecteren van methaan op zich, ook in peilbuizen die tot onder de bovenste veenlagen reiken, biedt daarom geen uitsluitel over lekkage gerelateerd aan geabandonneerde putten. Zie Appendix C voor een uitgebreidere discussie over de olie/gas reservoirs in het IJsselmonde veld, aanwezigheid van brongas en relatie met het voorkomen in verschillende sedimenten (formaties) en diepte.

Bij het analyseren van de meetresultaten bleek dat onder andere de methaanflux uit de bodem sterk kan wisselen van meetpunt tot meetpunt. Hieruit blijkt dat bepaalde processen en lekpaden op lokale schaal relevant kunnen zijn, en dat voor een compleet en representatief beeld dus een groot aantal metingen nodig is. Verder bleek dat meetresultaten ook significant kunnen verschillen van meetdag tot meetdag, zelfs als op dezelfde plaats wordt gemeten. Hoewel een eenvoudige verklaring vaak ontbreekt, is er in sommige gevallen wellicht sprake van invloed van veranderde weeromstandigheden op bijvoorbeeld methaanoxidatie en bodem-doorlaatbaarheid. Deze variatie mag dan vaak moeilijk te duiden zijn, ze is echt en moet daarom worden meegewogen in de beoordeling van de situatie op de verschillende putlocaties. Een aanbeveling voor vervolg- of vergelijkbare onderzoeken is om de metingen ten minste éénmaal te herhalen op een andere dag.

Het analyseren van de isotopensignatuur van gasmonsters is een essentiële techniek voor het bepalen van de herkomst van gas, maar helaas niet altijd eenduidig. In de bodem vinden allerlei processen plaats die invloed kunnen hebben op de isotopensignatuur van methaan, waaronder oxidatie, menging en reductie. Door het beschouwen van zowel de koolstof en waterstofisotopen van methaan, de koolstofisotopen van koolstofdioxide en de gascompositie (m.n. de methaanconcentratie) kan de oorsprong (biogeen/thermogeen) van het gas meestal alsnog worden achterhaald. Het gebrek aan gegevens omtrent gascompositie en isotopensignatuur voor de in dit gebied aanwezige reservoirs en brongas maakt het moeilijk om in het geval van menging tussen een biogeen gas en dieper thermogeen gas, de mengverhoudingen te bepalen en een nadere bronbepaling uit te voeren. In het bijzonder het gebrek aan data uit het Basaal Dongen Zand reservoir maakt het lastig

om dit ondiepe reservoir als mogelijke gasbron te kunnen aantonen en/of uitsluiten. Het Basaal Dongen reservoir ligt op de locaties Noorderhelling en Dwarsdijk op ongeveer 550m diepte.

Naast variaties in methaanfluxen en lastigheden bij het interpreteren van sommige isotopensignaturen, zijn er soms ook substantiële verschillen in gascompositie en/of isotopensignatuur tussen gasmonsters die op dezelfde plek en wijze zijn genomen, hetzij op verschillende dagen, hetzij duplicaatmetingen op dezelfde dag. In sommige gevallen kan bij duplicaatmetingen het effect van toegenomen menging met buitenlucht worden herkend, maar in sommige gevallen is de oorzaak van de verschillen onduidelijk.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Op en rondom de putlocaties is een groot aantal metingen uitgevoerd en gasmonsters verzameld. Daarnaast zijn op verschillende referentielocaties op dezelfde wijze metingen uitgevoerd en gasmonsters verzameld. Aanvullende referentiemetingen, met een variatie in o.a. bodemopbouw en ligging ten opzichte van gasreservoirs en putten, zouden kunnen helpen de situatie met betrekking tot de aanwezigheid en herkomst van gas in de bodem in dit gebied beter te duiden.

Op basis van de methaanconcentratie en stroomsnelheid van het ventilatiekanaal, en een inschatting van het grondoppervlak dat wordt bestreken, is een inschatting gemaakt van de gemiddelde methaanflux uit de bodem onder het pand van de Gamma. Een zelfde type analyse, uitgevoerd voor de kelder/kruipruimte van het zwembad (Dwarsdijk) en nabijgelegen woningen kunnen aanvullende informatie geven over de (variatie in) methaanfluxen uit de bodem in dit gebied.

Op basis van de metingen is geconstateerd dat het gas dat het oppervlak bereikt en wordt bemonsterd uit de meetbox, in vrijwel alle gevallen hoofdzakelijk uit biogeen gas bestaat. In peilbuizen blijkt echter soms een bijdrage van thermogeen gas. Er zou verder moeten worden onderzocht wat precies de significantie is voor de ontwikkeling van voormalige winningslocaties wanneer er sprake is van een verhoogde methaanconcentratie en mogelijke thermogene gasherkomst in (diepe) peilbuizen op of nabij deze locaties. Ook zou monitoring van methaanconcentratie op deze locaties kunnen worden ingezet om de variatie in methaanfluxen te kunnen onderzoeken en om de kans op onveilige situaties te verkleinen.

Tot slot is duidelijk dat er weinig data (isotopendata, maar ook gascompositie) beschikbaar is voor de olie/gas reservoirs uit het IJsselmonde veld, en in het bijzonder het Basaal Dongen Zand. Het verzamelen en bemonsteren van nieuwe gasmonsters uit de verschillende reservoirs zou zeer behulpzaam zijn voor het bepalen van de herkomst en oorsprong van het gas. Het is echter een te dure en tijdrovende exercitie om een nieuwe put te boren naar het Basaal Dongen Zand reservoir, alleen om hieruit gasmonsters te nemen voor het bepalen van de gascompositie en isotopensamenstelling. Het wordt daarom aanbevolen om bijvoorbeeld operators die geothermische putten gaan boren, te verzoeken om gasmonsters te nemen uit reservoirs die ook in het IJsselmonde veld voorkomen, wanneer deze worden verwacht/aangetroffen in de geothermieput.

6 Literatuur

- Adrichem-Boogaert, H. A., and Kouwe, W., 1993, Stratigraphic nomenclature of the Netherlands; revision and update by RGD and NOGEPa. TNO-NITG, Mededelingen Rijks Geologische Dienst: *Haarlem*, v. 50.
- Bartstra, D., 2003, Gasbronnen in Noord-Holland. Van 1895 tot heden, 138 p.:
- Bol, J., 1991, Moeras- of brongas: *Grondboor & Hamer*, v. 45, p. 150–153.
- Cirkel, G., Hartog, N., de La Loma Gonzalez, B., and Stuyfzand, P. J., 2015, Gijsbert Cirkel, Niels Hartog, Beatriz de La Loma Gonzalez, Pieter Stuyfzand: *H2O-online*, https://www.h2owaternetwerk.nl/images/H2O_Herkomst_CH4_in_grondw_verwGC-JH.pdf.
- Cleveringa, P., de Gans, W., and de Wolf, H., 1995, Aardgas onder Amsterdam; De laag van Harting: *Ons Amsterdam*, p. 6-9.
- de Bruin, G., Geel, K., Houben, S., Munsterman, D., Verweij, H., Smit, J., Janssen, N., Kerstholt-Boegehold, S., and Vandeweyer, V., 2017, MMU. Unravelling the stratigraphic and structural development of the strata found underneath and above the Mid Miocene Unconformity: TNO Report 2017 R10425, 104 p.
- Formolo, M., 2010, The Microbial Production of Methane and Other Volatile Hydrocarbons, in Timmis, K. N., ed., *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*: Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 113-126.
- Fukuda, H., Fujii, T., and Ogawa, T., 1984, Microbial Production of C₂-Hydrocarbons, Ethane, Ethylene and Acetylene: *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 48, no. 5, p. 1363-1365, 10.1080/00021369.1984.10866323.
- Graven, H., Allison, C. E., Etheridge, D. M., Hammer, S., Keeling, R. F., Levin, I., Meijer, H. A. J., Rubino, M., Tans, P. P., Trudinger, C. M., Vaughn, B. H., and White, J. W. C., 2017, Compiled records of carbon isotopes in atmospheric CO₂ for historical simulations in CMIP6: *Geosci. Model Dev.*, v. 10, no. 12, p. 4405-4417, 10.5194/gmd-10-4405-2017.
- Griffioen, J., Vermooten, S., and Janssen, G., 2013, Geochemical and palaeohydrological controls on the composition of shallow groundwater in the Netherlands: *Applied Geochemistry*, v. 39, p. 129-149, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.10.005>.
- Hinrichs, K.-U., Hayes John, M., Bach, W., Spivack Arthur, J., Hmelo Laura, R., Holm Nils, G., Johnson Carl, G., and Sylva Sean, P., 2006, Biological formation of ethane and propane in the deep marine subsurface: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 103, no. 40, p. 14684-14689, 10.1073/pnas.0606535103.
- Jacques, C., Gkritzalis, T., Tison, J.-L., Hartley, T., van der Veen, C., Röckmann, T., Middelburg, J. J., Catruijsse, A., Egger, M., Dehairs, F., and Sapart, C. J., 2021, Carbon and Hydrogen Isotope Signatures of Dissolved Methane in the Scheldt Estuary: *Estuaries and Coasts*, v. 44, no. 1, p. 137-146, 10.1007/s12237-020-00768-3.
- Kager, P., Klijn, F., van Maanen, P., Schurmans, M., Stoop, J., Thomassen, D., and Phillipens, M., 1982, Brongas een vergeten gasbron? Rapport van een milieukundig onderzoek naar de economische aspecten en de gevolgen voor het milieu van het gebruik van brongas in Noord-Holland: Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, 56 p.
- Ladygina, N., Dedyukhina, E. G., and Vainshtein, M. B., 2006, A review on microbial synthesis of hydrocarbons: *Process Biochemistry*, v. 41, no. 5, p. 1001-1014, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.12.007>.
- Milkov, A. V., and Etiope, G., 2018, Revised genetic diagrams for natural gases based on a global dataset of >20,000 samples: *Organic Geochemistry*, v. 125, p. 109-120, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2018.09.002>.

- Moerman, K., 2004, Over de toepassing van brongas in Midden-Delfland: *Midden-Delfkrant*, v. 28 (1), p. 15-18, <https://www.middendelflandsite.nl/natuur-en-cultuurhistorie/brongas>.
- NAM, 2021, Former IJsselmonde well sites Geochemical investigation_September Update_4: PDF presentation September 2021.
- Obdam, A., and Cleveringa, P., 2001, Gas in de ondiepe ondergrond: *Stromingen*, v. 7, no. 2, p. 1-12.
- Schoell, M., 1983, Genetic Characterization of Natural Gases: *AAPG Bulletin*, v. 67, no. 12, p. 2225-2238.
- Schout, G., Griffioen, J., Hassanizadeh, S. M., Cardon de Lichtbuer, G., and Hartog, N., 2019, Occurrence and fate of methane leakage from cut and buried abandoned gas wells in the Netherlands: *Science of The Total Environment*, v. 659, p. 773-782, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.339>.
- Schout, G., Hartog, N., Hassanizadeh, S. M., and Griffioen, J., 2018, Impact of an historic underground gas well blowout on the current methane chemistry in a shallow groundwater system: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, no. 2, p. 296, 10.1073/pnas.1711472115.
- Stuyfzand, P. J., Lüers, F., and Reijnen, G. K., 1994, Geohydrochemische aspecten van methaan in grondwater in Nederland: *H2O*, v. 27, no. 17, p. 500-510.
- TNO, 2021a, Gassamenstelling database: Accessed on 15-12-2021 from http://www.nlog.nl/sites/default/files/thematische_data/nlog_gascompos.xlsx.
- TNO, 2021b, Leidraad meten en detecteren van potentiële lekkage van methaan uit afgesloten olie- en gasputten op het vasteland, TNO 2021 R10703, 106 p.
- TNO, 2021c, Verslag emissiemetingen aan geabandonneerde putten in juni 2021, 41 p.
- TNO, 2022, Laagpakket van De Wijk, *Stratigrafische Nomenclator van Nederland*, TNO – Geologische Dienst Nederland. : Geraadpleegd op 02-06-2022 op <http://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator/laagpakket-van-de-wijk>.
- Whiticar, M. J., 1999, Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane: *Chemical Geology*, v. 161, no. 1, p. 291-314, [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00092-3).

7 Ondertekening

Utrecht, juni 20, 2022

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J.A.J. Zegwaard', written over a horizontal line.

J.A.J. Zegwaard
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

8 Appendix A – Meetplan

Voorstel metingen door TNO in Rotterdam najaar 2021

Metingen op verschillende locaties in Rotterdam:

- Dwarsdijk Oost
- Dwarsdijk West
- Noorderhelling Oost
- Noorderhelling West

Voorgestelde data: woensdag 3 november, woensdag 1 december (4 weken tussenperiode)

Technische specificaties

Meetapparatuur:

- Aerodyne QCL, meet concentraties van CH₄, C₂H₆, CO₂
- Picarro Gasscouter G4301 (backpack) voor snel scannen van omgeving op verhoogde methaan- en ethaanconcentraties.

Meetmethode: boxmetingen op de (onverharde) bodem. Box is 70x70x15 cm, inhoud 73.5 liter.

Samples:

- 2 samples uit ieder van de 12 peilbuizen voor isotopenanalyse (meten direct na openen van peilbuizen)
- 2 samples uit verticale buis Noorderhelling West (hoge concentraties in één van de verticale buizen).
- 2 samples uit de buitenlucht voor bepaling achtergrond:
 - 1 op Noorderhelling Oost op minimaal 5 meter van een opening in het asfalt
 - 1 tussen de beide Dwarsdijk locaties
- Samples nemen uit de meetbox wanneer een stijgende methaanconcentratie wordt waargenomen die hoger is dan 100 ppb/s, of wanneer ook een stijgende ethaanconcentratie wordt waargenomen.

Opslag samples:

- 40 sample bags van 2 liter beschikbaar (<https://www.sigmaaldrich.com/NL/en/product/supelco/30227-u>)
- 10 sample flasks van 2 liter beschikbaar voor het opslaan van een aantal duplo samples

Analyse samples:

- Analyse van samples van alle sample-locaties laten uitvoeren door Isolab:
 - Gascompositie (om te vergelijken met resultaten van eerdere samples geanalyseerd bij Isolab)
 - Delta13C van CH₄
 - Delta2H van CH₄
 - Delta13C van CO₂
- Een aantal duplo samples (ca. 10-15) laten analyseren door IMAU op isotopensignatuur
 - Gascompositie (optioneel, wellicht geen heel relevante vergelijking tussen labs)
 - Delta13C van CH₄
 - Delta2H van CH₄
 - Delta13C van CO₂ (indien mogelijk)

Vorbereiding/prepareren locaties

Voorstel Dwarsdijk Oost en West:

- Verwijderen 1.5 meter zand (tot de doelhoogte voor het maaiveld), kort voor de metingen
- Geen fixerende toplaag aanbrengen
- Geen nieuwe peilbuizen aanbrengen

Voorstel zagen/verwijderen asfalt Noorderhelling Oost:

- Liefst kort voor de metingen (1-2 dagen)
- Grotere opening (ca. 30 x 8 meter) rondom de geabandonneerde putlocaties
- Asfalt niet verwijderen binnen 1 meter van de 6 aanwezige peilbuizen (exacte locatie van 3 recent aangebrachte peilbuizen voor ons nog onbekend)
- Meerdere openingen van 2x2 meter in een grid rondom de putlocaties (zie afbeelding), met tussenafstand van ca. 5 meter
- Na verwijderen asfalt en tussen de 2 meetcampagnes afdekken met luchtdoorlatende afdekking die eenvoudig handmatig te verwijderen is
- Geen nieuwe peilbuizen aanbrengen

Bovenstaande is een voorstel met als uitgangspunt dat het asfalt is verwijderd bij en direct rondom de putlocaties en er verschillende plekken op enige afstand van de putlocaties ook vrij zijn (van tenminste 2x2 meter!) voor boxmetingen. Als andere vormen, sleuven e.d. eenvoudiger aan te brengen zijn, zou dat in overleg ook kunnen.



Figuur 36: Voorstel voor verwijderen asfalt. Let op, dit is een schets, hier kan van worden afgeweken als het praktischer/goedkoper is, zolang bovenstaande principes intact blijven. Locatie van 3 nieuwe peilbuizen nog niet op kaart getoond

Aanpak per locatie

Noorderhelling West

Indien mogelijk 2 samples nemen uit verticale buis waarin verhogingen van methaanconcentratie zijn geconstateerd

Noorderhelling Oost

- Locatie scannen aan maaiveld met de Picarro backpack
- Boxmetingen (ca. 20-25 metingen met een hogere dichtheid nabij de putten):

- Boxmetingen direct op de bodem, boven iedere putlocatie, op enkele meters afstand van de putlocaties, en op grotere afstand van de putten (zie Figuur 1)
- Boxmetingen boven alle 6 peilbuizen
- Samples (ca. 20)
 - Samples nemen indien een stijgende methaanconcentratie wordt waargenomen die hoger is dan 100 ppb/s, of wanneer ook een stijgende ethaanconcentratie wordt waargenomen. Indien dit niet gebeurt, wordt een top 5 van locaties/boxmetingen bemonsterd.
 - Samples (duplo) nemen uit de 6 aanwezige peilbuizen (direct na openen)
 - Achtergrondsample nemen uit buitenlucht (op 1.5 meter hoogte) bovenwinds van het onderzoeksgebied, waarschijnlijk aan de rand van de locatie.

Dwarsdijk West

- Locatie scannen aan maaiveld met de Picarro backpack
- Boxmetingen (doel is op Dwarsdijk West ca. 15-20 boxmetingen uit te voeren met een hogere dichtheid nabij de putten):
 - Boxmetingen uitvoeren boven 3 peilbuizen (aangebracht in juli 2021)
 - Boxmetingen direct boven iedere putlocatie
 - Boxmetingen in een grid om putlocaties heen, eerst direct ten oosten en westen van iedere put, boven de heipalen (aangegeven in rood in Figuur 4), dan met tussenafstand van ca. 3-10 meter naar bevinding bij schouw van het oppervlak.
- Samples (max. 8-9):
 - Sample nemen uit 3 aanwezige peilbuizen (zie blauwe stippen in figuren hieronder)
 - Sample nemen indien een stijgende methaanconcentratie wordt waargenomen die hoger is dan 100 ppb/sec, of wanneer ook een stijgende ethaanconcentratie wordt waargenomen. Indien dit niet gebeurt, wordt een top 3 van locaties/boxmetingen bemonsterd.
 - Achtergrondsample nemen aan bovenwindse kant van onderzoeksgebied uit buitenlucht tussen de Dwarsdijk Oost en West locaties.

Dwarsdijk Oost

- Gelijk aan Dwarsdijk West

Grondwaterputten

- Boxmetingen headspace boven ca. 4 grondwaterputten in de omgeving (zie Figuur 5). Selectie op basis van bereikbaarheid, diepte en nabijheid tot de putlocaties.



Figuur 37: Putten en peilbuizen, Dwardijk Oost (email NAM, referentie 6 oktober 2021).

Figuur 38: Putten en peilbuizen, Dwardijk West (email NAM, referentie 6 oktober 2021).



Figuur 39: Putten en heipalen locaties Dwardijk (email NAM, referentie 6 oktober 2021)



Figuur 40: Grondwaterputten. Kaart en put locaties via www.dinoloket.nl

9 Appendix B – Beschrijving meetcampagne

9.1 Dwarsdijk Oost – 3 november 2021

Tijd: 9:00 – 13:00

Weersomstandigheden: Droog, zonnig.

Aantal boxmetingen: 46

Aantal gasmonsters: 11

Overige bijzonderheden: kort voor de metingen is de aanwezige zandlaag ca. 1.5 meter verlaagd. Op de locatie zijn drainagelinten aanwezig die vanaf het oppervlak ca. 20 meter de bodem in gaan. Deze zouden mogelijk een preferent lekpad kunnen vormen voor eventueel methaangas dat zich in de bodem bevindt.

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

1. Met de Picarro GasScouter is aan de oppervlakte gemeten binnen een straal van ca. 20 meter van de putlocaties, zowel op als aan de randen van de zandverhoging boven de putlocaties. Tevens is met de Picarro in de drie peilbuizen gemeten die aan de voet van de zandverhoging aanwezig zijn.
2. Boxmetingen met de QCL zijn uitgevoerd op de bodem boven de putlocaties en rondom de putlocaties, referentiemeting, meting op 3 aanwezige peilbuizen.
3. Op deze locatie zijn 8 gasmonsters verzameld uit de 3 aanwezige peilbuizen. De helft van de monsters is verzameld in een 2L monsterzak, de andere helft in een vacuüm sample flask. Dit om de twee monsternamen methoden met elkaar te kunnen vergelijken. Er is uit iedere peilbuis 1 gasmonster direct genomen (met de aanzuigslang 1-2 cm in de peilbuis). De overige gasmonsters zijn uit de meetbox genomen, nadat deze enige tijd over de peilbuis was geplaatst.

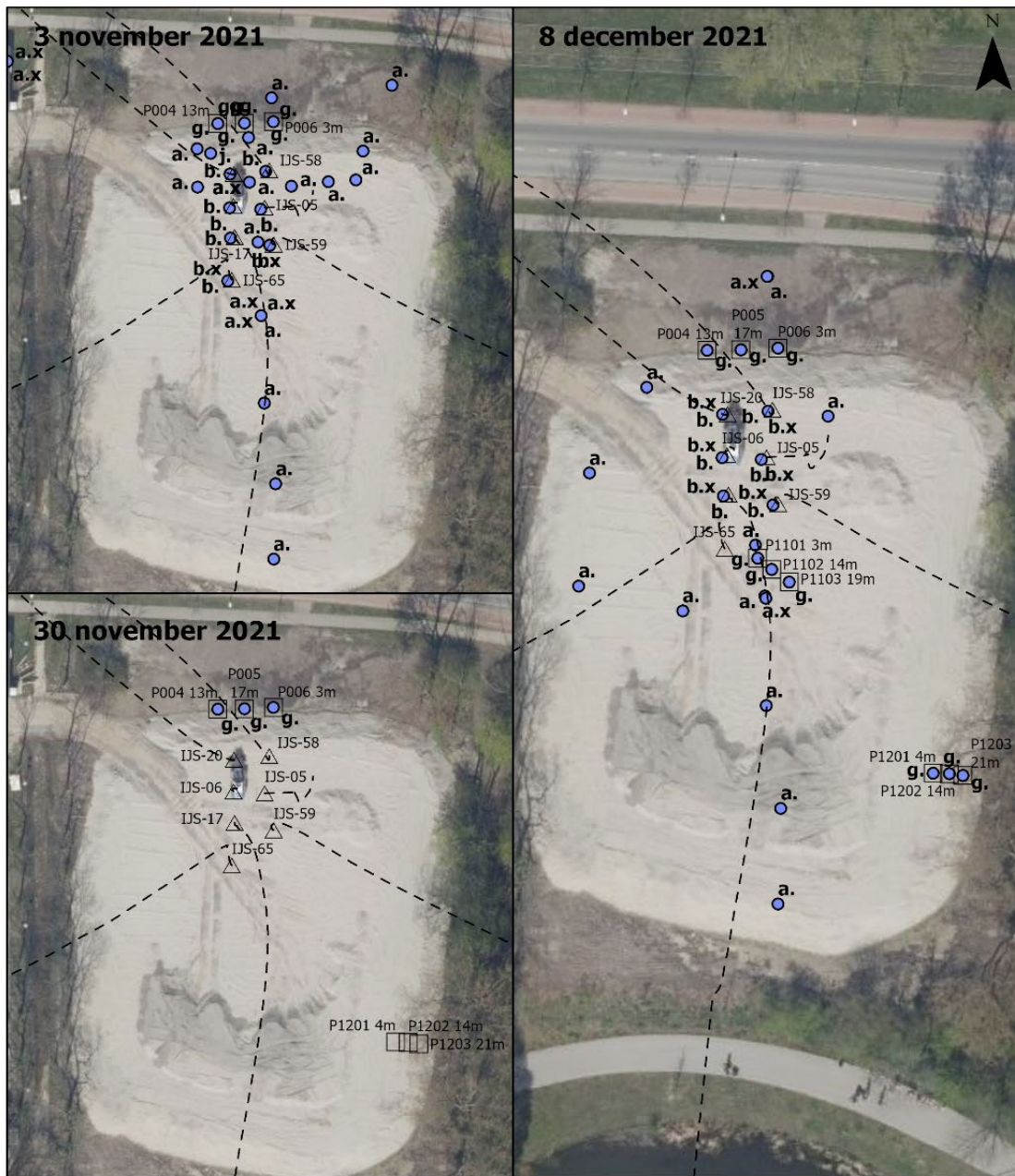
Verder zijn er 2 gasmonsters verzameld uit de meetbox nadat deze enige tijd boven een gat boven IJS-59 en IJS-65 is geplaatst, 1 gasmonster uit de meetbox boven een drainage lint en 1 boven meetpunt 10.

Tot slot is er een achtergrondmonster genomen uit de buitenlucht.



Figuur 41: Boven: boxmetingen Dwarsdijk Oost. Onder: in de meetwagen

Meetpunten Dwarsdijk-Oost



Legenda

- | | | | |
|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| △ Ontwikkeldoring | ● Meetpunten: | f. GW monitoring | _x Met geboord gat |
| - - - Boortraject | a. Bodem | g. Peilbuis | |
| □ Peilbuis | b. Bodem put | h. Sondering gat | |
| □ Sondering | c. Bodemonster | i. Ventilatiekanaal | |
| | d. Buis | j. Verticale drain | |
| | e. Buitenlucht | | |

0 0,02 0,04 Kilometers



TNO innovation
for life

Figuur 42: Locaties meetpunten Dwarsdijk Oost

9.2 Noorderhelling Oost – 3 november 2021

Tijd: 13:15 - 16:30

Weersomstandigheden: Droog, zonnig, einde van de middag lichte regen.

Aantal boxmetingen: 35

Aantal gasmonsters: 23

Overige bijzonderheden: kort (1 dag) voor de metingen is op verzoek van TNO op enkele plaatsen het asfalt verwijderd, zodat de bodem onder het asfalt bloot ligt. Er is gekozen voor het vrijmaken van de 5 putlocaties, en tevens enkele referentieplekken van ca. 2 x 2 meter rondom de putten. De oranje vlakken in Figuur 43 geven aan waar het asfalt is verwijderd. Ook zijn 3 nieuwe peilbuizen geplaatst ten oosten van IJS-23.



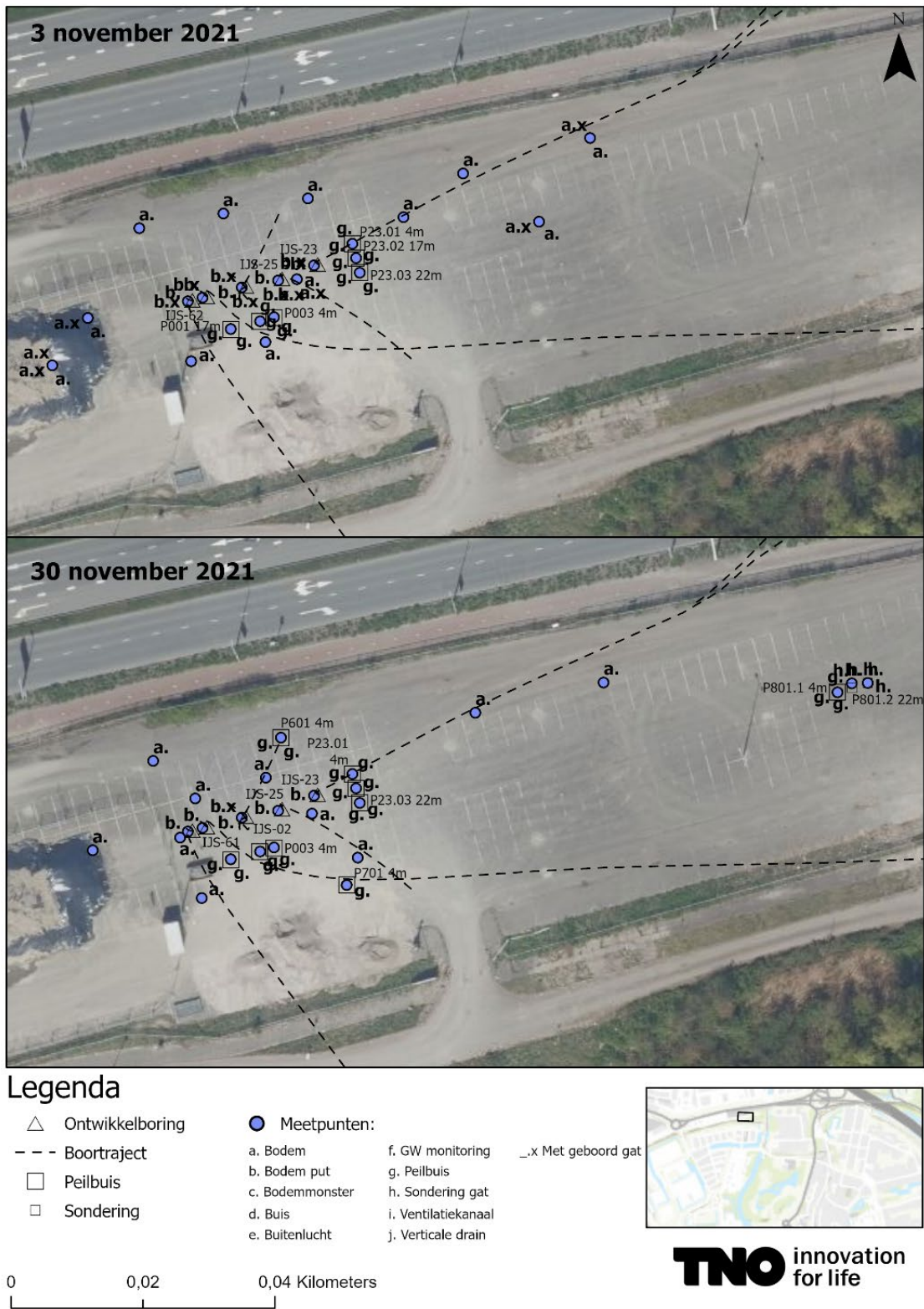
Figuur 43: Voorstel verwijderen asfalt laag op Noorderhelling Oost

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

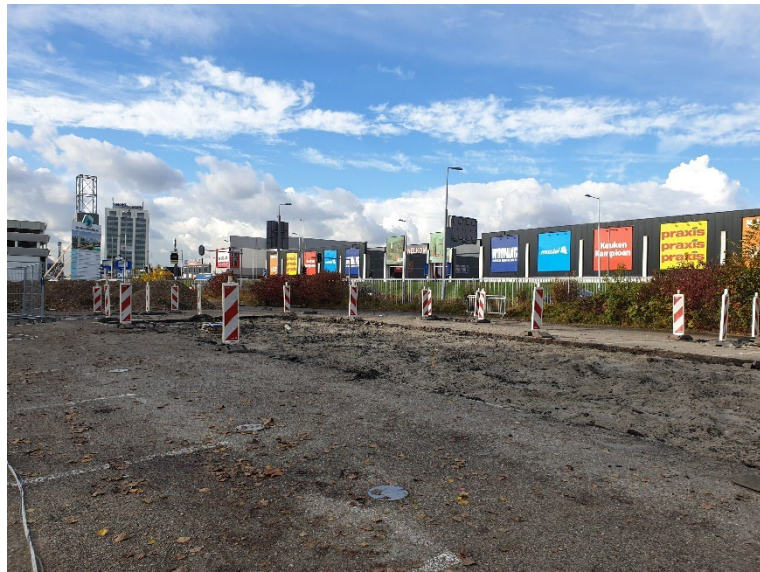
1. Met de Picarro GasScouter is aan de bodem gemeten rondom de putten waar het asfalt is verwijderd, en op de vrijgemaakte plekken rondom de putlocaties.
2. Boxmetingen QCL boven de putlocaties, op vrijgemaakte plekken rondom de putlocaties, referentiemeting?.
3. Op deze locatie zijn 12 gasmonsters verzameld uit de 6 aanwezige peilbuizen (iedere peilbuis een duplo meting). De monsters zijn verzameld in een 2L monsterzak.

a

Meetpunten Noorderhelling-Oost



Figuur 44: Locaties meetpunten Noorderhelling Oost



Figuur 45: Asfalt verwijderd. Drie peilbuizen op de voorgrond



Figuur 46: Boorgat zetten voor boxmeting

9.3 Noorderhelling Oost – 30 november 2021

Tijd: 9:00 – 11:45

Weersomstandigheden: Regen

Aantal boxmetingen: 21

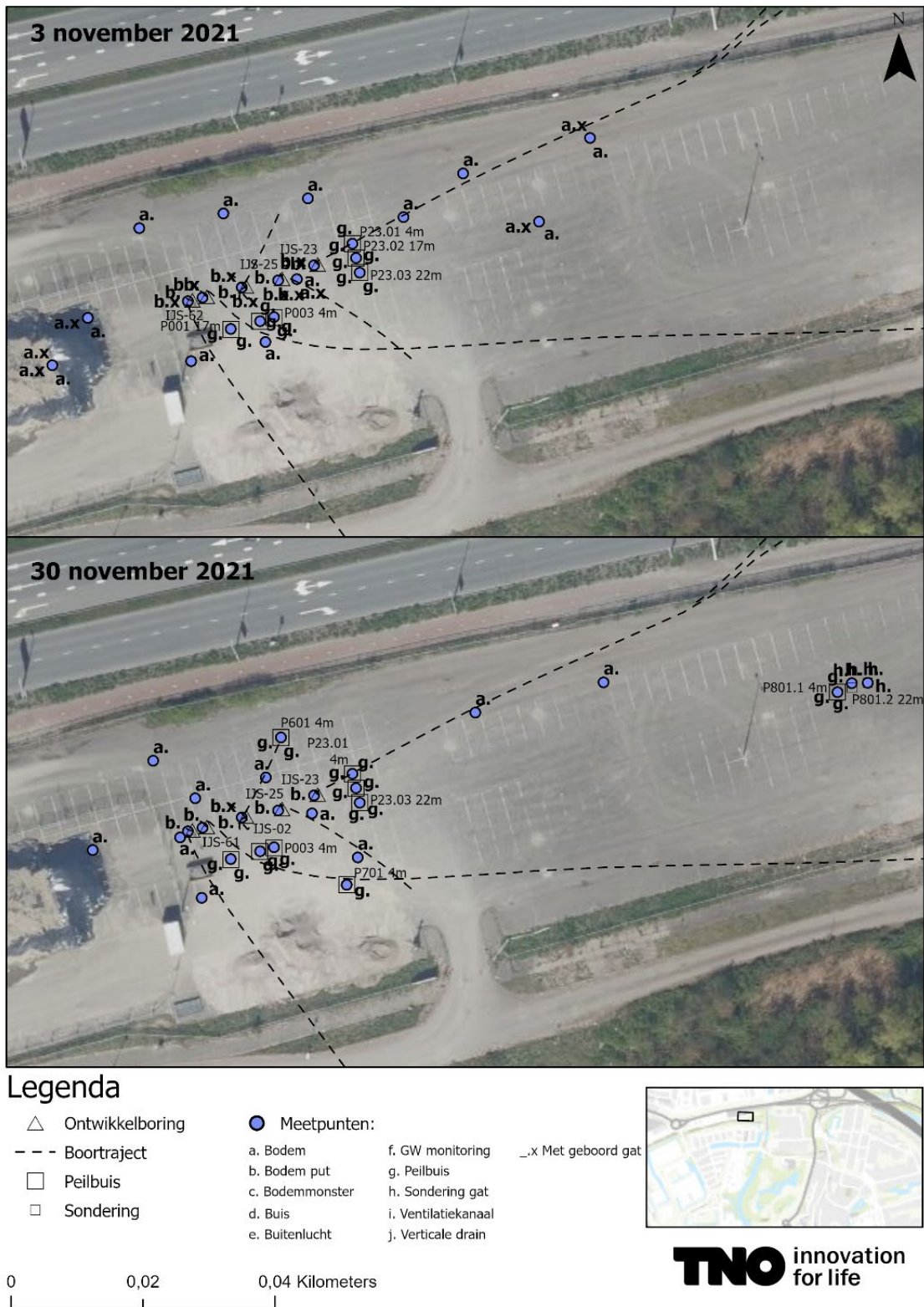
Aantal gasmonsters: 20

Overige bijzonderheden: Er zijn 2 nieuwe peilbuizen (P601 & P701) geplaatst enkele meters ten noorden en ten zuiden van de putlocaties. Tevens zijn er twee sonderingen (P801.2 & P801.3) en één peilbuis (P801.1) geplaatst richting de oostrand van de asfaltplaat. Boxmetingen direct op de bodem kunnen worden beïnvloed door de hogere vochtigheid van de bodem.

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

1. Boxmetingen met de QCL:
 - a. Op de bodem boven ieder van de vijf putlocaties. Bij IJS-02 wordt tevens een gat geboord van ca. 50 cm. diep waarboven de boxmeting wordt herhaald.
 - b. Daarnaast vier boxmetingen op andere plekken in het grote vrijgemaakte stuk bodem
 - c. Zeven boxmetingen op vrijgemaakte plekken rondom de putlocaties.
 - d. Eén boxmeting boven peilbuis P23.01
 - e. Tot slot wordt boven de de nieuwe peilbuizen P701, P801.1 en nieuwe sonderingen P801.2 en P801.3 ook een boxmeting uitgevoerd.
2. Op deze locatie zijn 19 gasmonsters (deels in duplo) verzameld uit de aanwezige peilbuizen en sonderingsgaten. De monsters zijn verzameld in een 2L monsterzak. Tot slot is er een achtergrondmonster genomen uit de buitenlucht.

Meetpunten Noorderhelling-Oost



Figuur 47: Locaties meetpunten Noorderhelling Oost



Figuur 48: Herhaalmetingen Noorderhelling Oost onder matige weersomstandigheden



Figuur 49: Sample nemen uit peilbuis

9.4 Noorderhelling West – 30 november 2021

Tijd: 12:00 – 13:00

Weersomstandigheden: Regenachtig

Aantal boxmetingen: 9

Aantal gasmonsters: 8

Overige bijzonderheden: Door de uitvoering van bouwwerkzaamheden is het terrein maar beperkt toegankelijk. Met behulp van een hoogwerker is het gelukt om de methaan- en ethaanconcentratie te meten in de lucht die uit het ventilatiekanaal van het nieuwe gebouw komt. Tevens worden twee monsterzakken gevuld met deze lucht. Er zijn drie nieuwe peilbuizen (P4.01, P4.02 en P4.03) geplaatst door het fietspad ten westen van de putlocaties.

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

1. Boxmetingen met de QCL:
 - a. Boven ieder van de drie peilbuizen is een boxmeting uitgevoerd, eerst met het deksel er nog op, daarna met het deksel/dopje verwijderd.
 - b. Ca. 18 meter ten noorden van IJS-19 wordt een boxmeting op de bodem naast het nieuwe gebouw uitgevoerd.
 - c. Met de slang van de QCL wordt de methaan- en ethaanconcentratie in de lucht uit het ventilatiekanaal van het nieuwe gebouw bepaald.
2. Op deze locatie zijn 6 gasmonsters verzameld in duplo vanuit ieder van de drie peilbuizen. Verder zijn twee monsterzakken gevuld met de lucht die uit het ventilatiekanaal van het nieuwe gebouw komt.

Meetpunten Noorderhelling-West



Legenda

- | | | |
|---------------------|----------------|---------------------|
| △ Ontwikkeld boring | ● Meetpunten: | |
| - - - Boortraject | a. Bodem | f. GW monitoring |
| □ Peilbuis | b. Bodem put | g. Peilbuis |
| □ Sondering | c. Bodemonster | h. Sondering gat |
| | d. Buis | i. Ventilatiekanaal |
| | e. Buitenlucht | j. Verticale drain |
| | | ..x Met geboord gat |

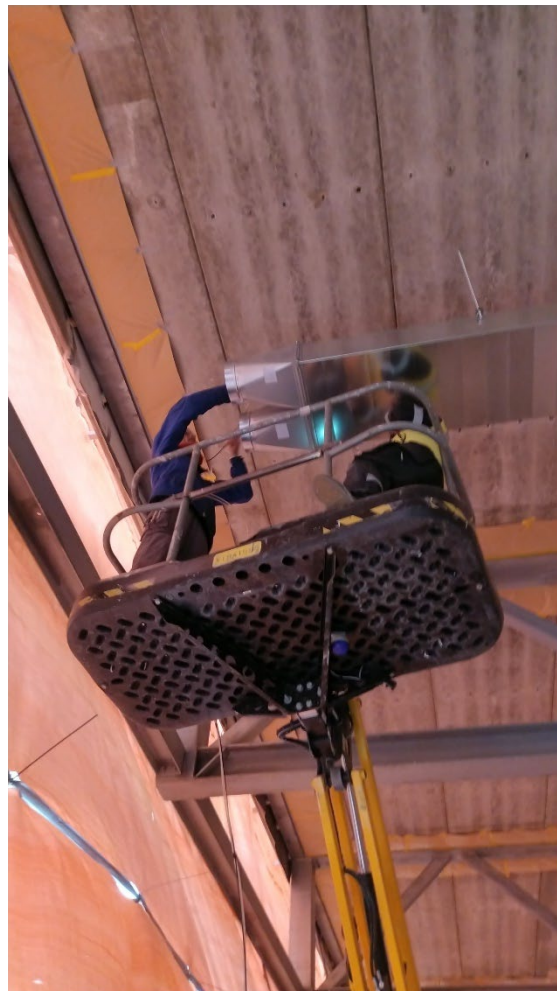


TNO innovation for life

Figuur 50: Locaties meetpunten Noorderhelling West



Figuur 51: Boxmetingen boven peilbuizen in fietspad, zowel met als zonder dop erop



Figuur 52: Aanzuigslang van QCL wordt bij de uitlaat van het ventilatiekanaal gehouden. Daarna worden twee monsterzakken gevuld.

9.5 Referentielocaties – 30 november 2021

Tijd: 13:15 – 15:15

Weersomstandigheden: Regenachtig

Aantal boxmetingen:

Aantal gasmonsters: 2

Er wordt gezocht naar de 3 grondwaterputten aan de Stadionlaan in Rotterdam. Deze worden in eerste instantie niet gevonden. Vervolgens worden grondwaterputten GMW37H124589 (Maliebaan) en GMW37H124354 (Sportsingel) gelokaliseerd.

De eerste grondwaterput heeft een buis die boven het gras uitsteekt en waarvan de dop kan worden verwijderd. De buis wordt bemeten met de aanzuigslang van de QCL, waarna er 2 gasmonsters worden genomen uit de buis.

De tweede grondwaterput ligt in de stoep en is te openen middels een putdekseltje. Er wordt een boxmeting uitgevoerd boven de grondwaterput. Omdat hier geen verhoging in de methaan- of ethaanconcentratie wordt gemeten, wordt hier geen gasmonster genomen.

Vervolgens wordt gezocht naar grondwaterput GMW37H124587/B37H0403 (Van Wijngaardenlaan / Burgemeester Hazenberglaan; deze grondwaterput heeft twee aanduidingen in Dinoloket/BRO). De put is echter niet zichtbaar aan de oppervlakte aangezien het plantsoentje recentelijk herontwikkeld is (Figuur 56). Op de bodem boven de originele putlocatie wordt een boxmeting uitgevoerd boven een gat van ca. 1 meter diepte.



Figuur 53: Meting bij grondwaterput GMW37H124589 (Maliebaan)

Meetpunten Grondwatermonitoring



Figuur 54: Locaties referentielocaties



Figuur 55: Meting bij grondwaterput GMW37H124354 (Sportsingel)



Figuur 56: Meting in de buurt van coördinaten grondwaterput GMW37H124587/B37H0403 (Van Wijngaardenlaan / Burgemeester Hazenberglaan; deze grondwaterput heeft twee aanduidingen in Dinoloket/BRO).

9.6 Aanvullende samples Dwarsdijk – 30 november 2021

Tijd: 15:20 – 16:00

Weersomstandigheden: Regenachtig

Aantal boxmetingen: -

Aantal gasmonsters: 10

Overige bijzonderheden: Op Dwarsdijk West zijn 1 dag eerder drie nieuwe peilbuizen geplaatst (P1001 – P1003).

Omdat op 30 november nog niet duidelijk was of de volgende geplande meetdag op 8 december door kon gaan, is er deze middag nog een aantal gasmonsters verzameld uit de 3 peilbuizen (P004 – P006) op locatie Dwarsdijk Oost, en de 6 peilbuizen op en rondom Dwarsdijk West (P001A – P003A, P1001 – P1003). Tevens is aan de rand van Dwarsdijk West een luchtmonster uit de buitenlucht genomen.



Figuur 57: Drie nieuwe peilbuizen Dwarsdijk West

9.7 Dwarsdijk West – 8 december 2021

Tijd: 8:50 – 12:00

Weersomstandigheden: Droog

Aantal boxmetingen: 33

Aantal gasmonsters: 12

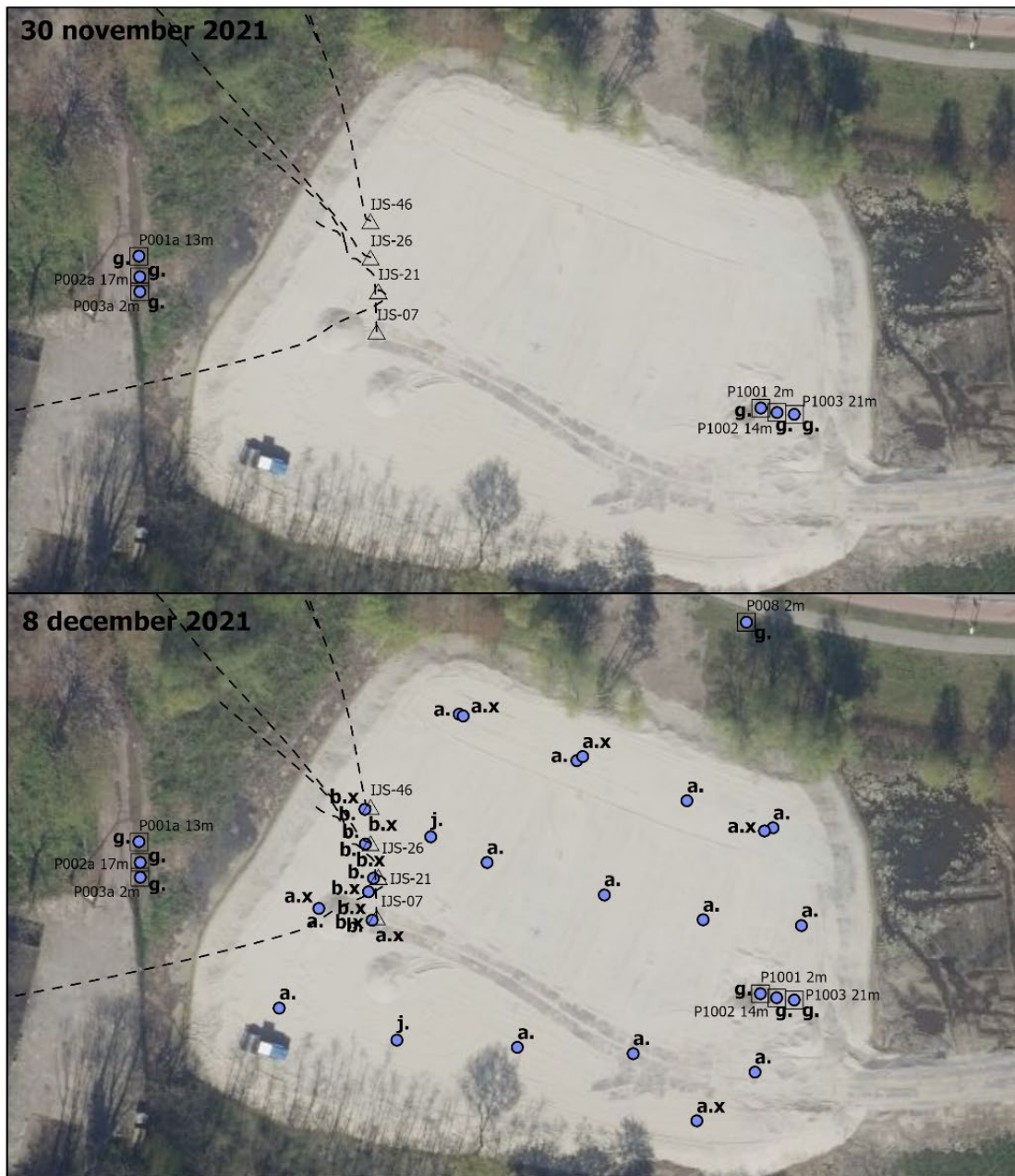
Overige bijzonderheden: Ongeveer een maand eerder is de aanwezige zandlaag ca. 1.5 meter verlaagd. Op de locatie zijn drainagelinten aanwezig die vanaf het oppervlak ca. 20 meter de bodem in gaan. Deze zouden mogelijk een preferent lekpad kunnen vormen voor eventueel methaangas dat zich in de bodem bevindt.

Een week eerder zijn 3 extra peilbuizen geplaatst op de locatie, en er is ook een peilbuis aanwezig enkele meters ten noorden van de locatie. Tijdens de metingen op 8 december komt de gemeente Rotterdam met apparatuur om nog een set peilbuizen te plaatsen (P901, P902 en P903).

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

1. Met de Picarro GasScouter is aan de oppervlakte gemeten, zowel op als aan de randen van de zandverhoging boven de putlocaties. Tevens is met de Picarro in de peilbuizen gemeten die op en naast het terrein aanwezig zijn.
2. Er is een groot aantal boxmetingen uitgevoerd met de QCL:
 - a. Elf boxmetingen op de bodem boven ieder van de vier putten op de locatie, eerst zonder, daarna inclusief boorgat.
 - b. Eén meting boven peilbuis P008
 - c. Vijftien boxmetingen direct op de bodem op de zandverhoging, op enige afstand van de putlocaties.
 - d. Zes boxmetingen op de bodem boven een boorgat van ca. 1 meter diepte.
3. Op deze locatie zijn gasmonsters verzameld:
 - a. Zes gasmonsters vanuit ieder van de aanwezige peilbuizen (P001A – P003A, P1001 – P1003).
 - b. Twee gasmonsters uit de meetbox die boven IJS-46 is geplaatst, inclusief boorgat. Tussen de twee monsternames zat ca. 10 minuten.
 - c. Eén gasmonster uit de meetbox die boven een boorgat is geplaatst, ca. 10 m. ten noordoosten van IJS-46.
 - d. Eén gasmonster uit de meetbox die boven een boorgat is geplaatst, in de zuidoosthoek van de zandverhoging.
 - e. Eén gasmonster uit een nieuwe peilbuis P008 die ten noorden van de locatie, vlak bij de weg is geplaatst.
 - f. Eén monster met buitenlucht

Meetpunten Dwarsdijk-West



Legenda

- | | | | |
|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| △ Ontwikkeldoring | ● Meetpunten: | f. GW monitoring | _x Met geboord gat |
| - - - Boortraject | a. Bodem | g. Peilbuis | |
| □ Peilbuis | b. Bodem put | h. Sondering gat | |
| □ Sondering | c. Bodemonster | i. Ventilatiekanaal | |
| | d. Buis | j. Verticale drain | |
| | e. Buitenlucht | | |



TNO innovation for life

Figuur 58: Locaties meetpunten Dwarsdijk West



Figuur 59: Nieuwe peilbuis P008



Figuur 60: Boxmeting op de bodem

9.8 Dwarsdijk Oost – 8 december 2021

Tijd: 12:30 – 15:00

Weersomstandigheden: Droog

Aantal boxmetingen: 35

Aantal gasmonsters: 14

Overige bijzonderheden: Sinds de metingen op 3 november zijn er twee sets van drie peilbuizen geplaatst in de zandverhoging. Drie peilbuizen in het midden van het terrein (P1101, P1102 en P1103) en drie richting de zuidoosthoek van de zandverhoging (P1201, P1202 en P1203).

Op deze locatie zijn de volgende metingen uitgevoerd:

1. Met de Picarro GasScouter is aan de oppervlakte gemeten, zowel op als aan de randen van de zandverhoging boven de putlocaties. Tevens is met de Picarro in de peilbuizen gemeten die op het terrein aanwezig zijn.
2. Er is een groot aantal boxmetingen uitgevoerd met de QCL:
 - a. Twaalf boxmetingen op de bodem boven zes van de putten op de locatie, eerst zonder, daarna inclusief boorgat.
 - b. Vijf boxmetingen naast de zandverhoging, op enige afstand van de putlocaties.
 - c. Vijf boxmetingen op de bodem rondom de putlocaties, waarvan één met boorgat, op dezelfde coördinaten als waar op 3 november boxmetingen zijn uitgevoerd.
 - d. Vijf boxmetingen op de bodem rondom de putlocaties, waarvan één bij de parkeerplaats voor de sportschool.
3. Op deze locatie zijn gasmonsters verzameld:
 - a. Negen gasmonsters vanuit ieder van de aanwezige peilbuizen.
 - b. Vijf gasmonsters uit de meetbox na metingen boven een boorgat boven de putten IJS-06, IJS-17, IJS-20, IJS-58 en IJS-59.



Figuur 61: Boxmeting boven IJS-59



Figuur 62: Nieuwe peilbuizen



Figuur 63: Referentiemetingen aan voet van de zandverhoging, ten noorden van de putten

9.9 Referentielocaties in Park de Twee Heuvels – 8 december 2021

Tijd: 15:00 – 16:00

Weersomstandigheden: Droog

Aantal boxmetingen: geen (3 bodemmonsters)

Aantal gasmonsters: 1

Bij de metingen in het park de Twee Heuvels (ten zuiden van de Dwarsdijk locaties) zijn met behulp van de grondboor op verschillende plaatsen boorkernen uit de bodem genomen, welke in een afgesloten plastic zak zijn gestopt met zo min mogelijk buitenlucht. In de meetbus is de boorkern in de plastic zak verpulverd waarna de concentraties methaan en ethaan in de zak zijn bepaald met de QCL. De verwachting is dat hiermee een goede inschatting kan worden gemaakt van de concentraties in de kleine luchtpockets in de bodem.

Op de locatie zelf is met de Picarro Gasscouter de concentratie in het boorgat bepaald. Bij één boorgat met verhoogde methaanconcentratie is vervolgens een gasmonster genomen voor verdere analyse.



Figuur 64: Live meetresultaten Picarro GasScouter bij metingen in het park

Meetpunten Park De Twee Heuvels



Legenda

- | | | |
|-------------------|-----------------|---------------------|
| △ Ontwikkeldoring | ● Meetpunten: | |
| - - - Boortraject | a. Bodem | f. GW monitoring |
| □ Peilbuis | b. Bodem put | g. Peilbuis |
| □ Sondering | c. Bodemmonster | h. Sondering gat |
| | d. Buis | i. Ventilatiekanaal |
| | e. Buitenlucht | j. Verticale drain |
| | | _x Met geboord gat |



TNO innovation for life

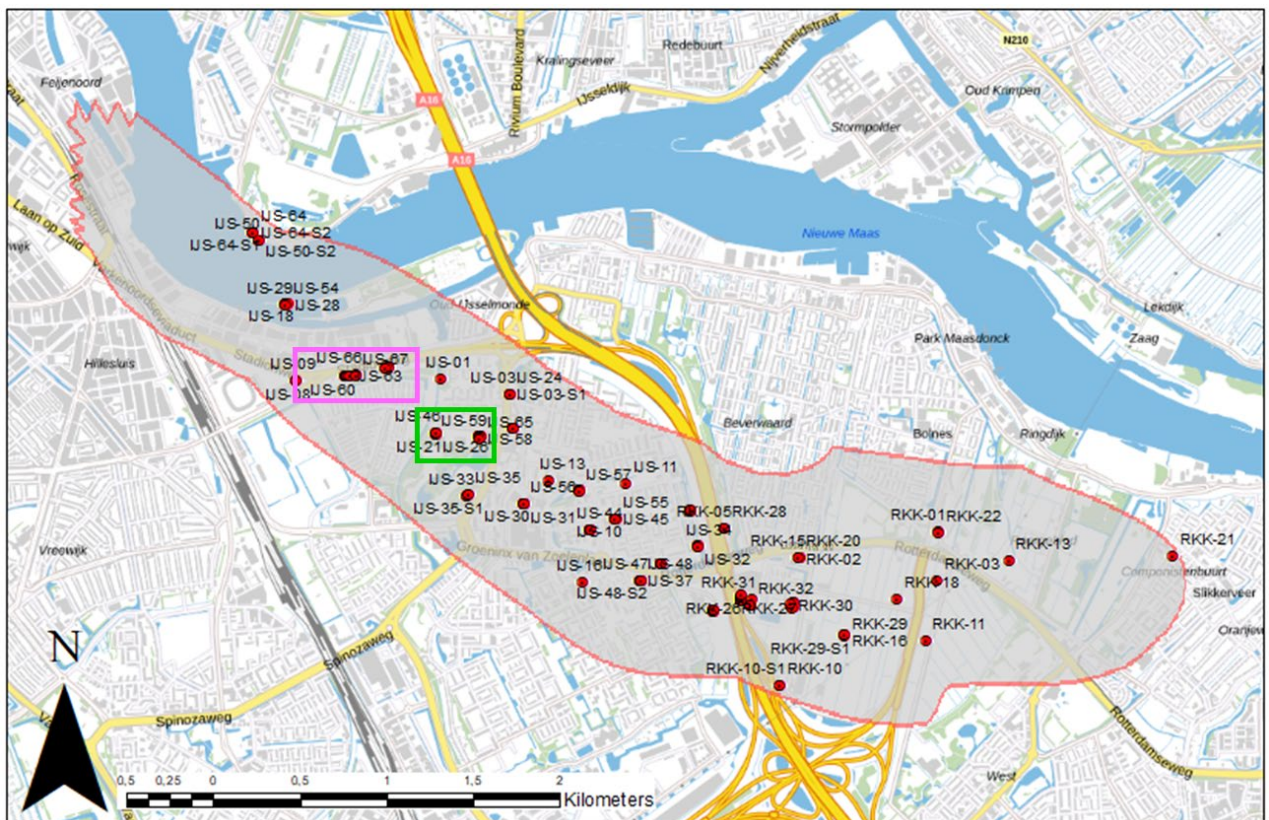
Figuur 65: Locaties meetpunten Park De Twee Heuvels

10 Appendix C – IJsselmonde olie/gasveld en oorsprong brongas

10.1 IJsselmonde olie- en gasveld

10.1.1 Overzicht van veldstructuur en reservoirs

Het IJsselmonde veld is een door de NAM geëxploiteerd, en inmiddels verlaten olie- en gasveld gelegen onder zuid Rotterdam (Figuur 66). Het veld werd in 1956 ontdekt en heeft voornamelijk olie, maar ook gas geproduceerd. Voor de productie zijn ongeveer 65 putten (exclusief sidetracks) geboord, welke worden aangeduid met IJS-***. In het zuidoosten van het veld zijn nabij Ridderkerk nog een aantal putten geboord (aangeduid met RKK-**). Sinds de jaren 1980 zijn de putten in het IJsselmonde veld geabandonneerd.



Figuur 66: Overzichtskartaart van het IJsselmonde olie/gas veld. Put- en veldgegevens zijn afkomstig van www.nlog.nl. Roze vierkant geeft de locaties Noorderhelling Oost en West; groene vierkant de locaties Dwarsdijk Oost en West.

Uit het IJsselmonde veld werd uit vijf reservoirs olie en gas geproduceerd, in stratigrafische volgorde:

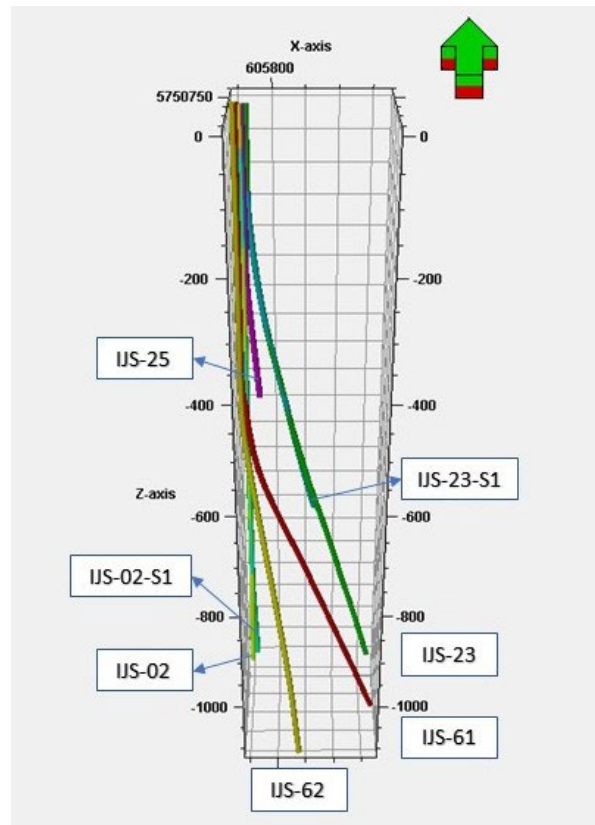
1. Basale Dongen Zand Laagpakket (in de NLOG gasdatabase als Basaal Dongen Tuffiet Laagpakket aangeduid);
2. Holland Groenzand Laagpakket;
3. Laagpakket van De Lier;
4. IJsselmonde Zandsteen Laagpakket;
5. Laagpakket van Alblasserdam.

Gedigitaliseerde structuurkaarten met dieptecontouren waarop de top van de verschillende reservoirs wordt aangetroffen, zijn weergegeven in Figuur 69 tot Figuur 72 (structuurkaart van NAM, via www.nlog.nl). Onder de Dwarsdijk locaties worden alle reservoirs aangetroffen. Voor de Noorderhelling locaties geldt dat de NH-W locatie net buiten de reservoir structuur van het Basaal Dongen Zand reservoir valt; alle overige reservoirs worden onder de Dwarsdijk locaties aangetroffen.

Via NLOG is geen eenvoudig overzicht te raadplegen met informatie omtrent de producerende formaties (type koolwaterstof, dieptes). Deze informatie is echter wel te achterhalen uit verscheidene documenten zoals bijvoorbeeld petrofysische evaluaties, lithologie rapporten/logs of andere well logs. Een overzicht van de aangeboorde reservoirs in de IJS putten staan weergegeven in Tabel 29 en Tabel 30 (locaties Noorderhelling) en Tabel 31 en Tabel 32 (locaties Dwarsdijk). Figuur 67 toont een zijaanzicht van de putten op locatie Noorderhelling Oost.

Gasreservoirs in het IJsselmonde veld zijn het Basaal Dongen Zand Laagpakket en het Holland Groenzand Laagpakket. Gasproductie uit deze twee reservoirs vond onder andere plaats om te gebruiken voor injectie in andere putten. Voorbeelden van putten waar gas geïnjecteerd werd om productie te verhogen uit de oliereservoirs (bijv. Laagpakket van IJsselmonde, zgn. *gaslift*) zijn op IJS-65, IJS-26 of IJS-05). Er is geen gedetailleerde analyses gedaan over de gaslift geschiedenis van de IJS putten, derhalve kan TNO geen uitspraak doen over welk gas (bijv. uit Basaal Dongen of andere reservoirs) in welke putten is gebruikt.

Het Laagpakket van De Lier bevat voornamelijk gas, maar bijvoorbeeld in put IJS-59 is ook een dunne oliehoudende laag aangetroffen. Het IJsselmonde Zandsteen Laagpakket was het voornaamste producerende doel in het IJsselmonde veld en bevat een dikke olie kolom met bovenin een gasbel (*gascap*). In enkele putten is ook olie (met *gascap*) aangetroffen in het Laagpakket van Alblisserdam. IJS-23-S1 is, voor zover bekend uit de NLOG informatie, de enige put op de locaties Dwarsdijk en Noorderhelling waar olie/gas is aangetroffen de Krijt (Chalk) eenheden (Formatie van Ommelanden).



Figuur 67: Zijaanzicht putten Noorderhelling Oost

10.1.2 Basaal Dongen reservoir

Het Basaal Dongen reservoir ligt op de locaties Noorderhelling en Dwarsdijk op ongeveer 550m diepte. Uit het feit dat het een reservoir vormt waaruit gas geproduceerd werd, kan worden afgeleid dat het bedekt wordt door een (redelijk) goede afsluitende laag (*seal*). De desbetreffende seal is echter niet goed te achterhalen, aangezien op de oorspronkelijke well logs en NLOG van de Noordzee Supergroep of Onder Noordzee Groep wordt gesproken. Aannemelijk is dat de seal gevormd wordt door bijvoorbeeld het Laagpakket van Ieper (Ieperse klei). Of deze seal bestand is tegen lekkage is niet bekend, waardoor het mogelijk zou zijn dat er op geologische tijdschaal gas door de seal van het Basaal Dongen Zand Laagpakket lekt, wat vervolgens naar het oppervlak migreert. Om te kunnen aantonen/uitsluiten dat gas uit het Basaal Dongen Zand Laagpakket een bron zou kunnen zijn is echter gedetailleerde informatie (gascompositie en isotopen metingen) nodig, en dit ontbreekt op het moment.

NAM (2021) concludeerde op basis van regionale kennis over de petroleum systemen dat gas in het Basaal Dongen Zand reservoir een diepe, thermogene oorsprong heeft, waarschijnlijk *spill over* uit het dieper gelegen Holland Groenzand reservoir. Uit de gascompositie samenstelling van het Basaal Dongen Zand reservoir blijkt echter dat het voornamelijk uit methaan gas bestaat, en maar zeer weinig ethaan en propaan bevat (Tabel 33 in Appendix C –). De $C1/(C2+C3)$ verhouding, vaak gebruikt om een thermogene vs. biogene gas oorsprong aan te tonen (Bernard et al, 1977), voor een Basaal Dongen Zand gasmonster uit IJS-01 duidt op een biogene oorsprong van het gas ($C1/(C2+C3) = 1.930$, Tabel 33). Dit is echter gebaseerd op slechts een gasmonster uit het Basaal Dongen Zand reservoir,

waardoor het een niet heel betrouwbare interpretatie geeft over de herkomst van het gas. Migratie van gas door de ondergrond zou een andere verklaring kunnen zijn voor de geobserveerde $C1/(C2+C3)$ verhouding. Als gevolg van migratie nemen ethaan en propaan (C2 en C3) af in vergelijking met methaan omdat C2 en C3 achterblijven in minder doorlatende of geconsolideerde lagen. Bij verticale migratie naar het aardoppervlak neemt de $C1/(C2+C3)$ ratio dan verhoudingsgewijs toe.

Isotopen analyse van zgn. '*shallow gas*' reservoirs uit de noordelijke offshore laten zien dat er gasreservoirs aanwezig zijn die een biogene oorsprong hebben (De Bruin et al, 2017). In de F blokken wordt dit biogene gas aangetroffen in eenheden van de Boven Noordzee Groep op 400 – 800m diepte (De Bruin et al, 2017). Isotopen analyse van gasmonsters afkomstig uit de Midden en Onder Noordzee groepen, alsmede Chalk reservoirs (900 – 1400m diepte) duiden echter weer op een thermogene oorsprong in de noordelijke offshore (De Bruin et al, 2017). Hoewel de Noordelijke offshore ver weg is van het IJsselmonde veld, en de petroleum systemen anders ontwikkeld zijn, is het wel duidelijk dat gasreservoirs van een biogene oorsprong aanwezig zijn in de Nederlandse ondergrond. Of het Basaal Dongen Zand hier ook toe behoort is met de huidige, beperkte data, lastig vast te stellen. Aantonen of uitsluiten dat gas uit het Basaal Dongen Zand reservoir lekt (hetzij via de ondergrond, of langs/door de oude IJS putten) is dan ook niet mogelijk met de huidige beschikbare reservoir data.

10.1.3 IJsselmonde gassamenstelling en isotopendata

Om de eventuele aanwezigheid van thermogeen gas op de locaties Dwarsdijk en Noorderhelling te kunnen aantonen of uitsluiten, is gedetailleerde informatie nodig omtrent de gassamenstelling en isotopencompositie van de gasvoerende reservoirs. Beschikbare isotopen- en gassamenstelling is grotendeels afkomstig uit de NLOG gascompositie database.

In Tabel 33 is deze informatie samengevat voor alle putten waarin reservoirs voorkomen die ook in het IJsselmonde veld worden aangetroffen. Voor deze reservoirs zijn voornamelijk data aanwezig over de gassamenstelling. Voor slechts één reservoir (Holland Groenzand Laagpakket) zijn twee isotopenmetingen beschikbaar ($\delta^{13}\text{C}$ en δD , uit put PRN-01-S1) in de gassamenstelling database op NLOG (TNO, 2021).

Aanvullende isotopen informatie is afkomstig uit de NAM presentatie dd. september 21 (NAM, 2021 en Figuur 68), waarin twee koolstofisotopen ($\delta^{13}\text{C}$) metingen aan methaan-gasmonsters uit putten IJS-55 en IJS-44C (IJS-44-S3) worden gerapporteerd. Uit vergelijking van de NAM dieptes en de well-top dieptes op NLOG lijkt het erop dat voor beide putten de gasmetingen uit het IJsselmonde Zandsteen Laagpakket afkomstig zijn.

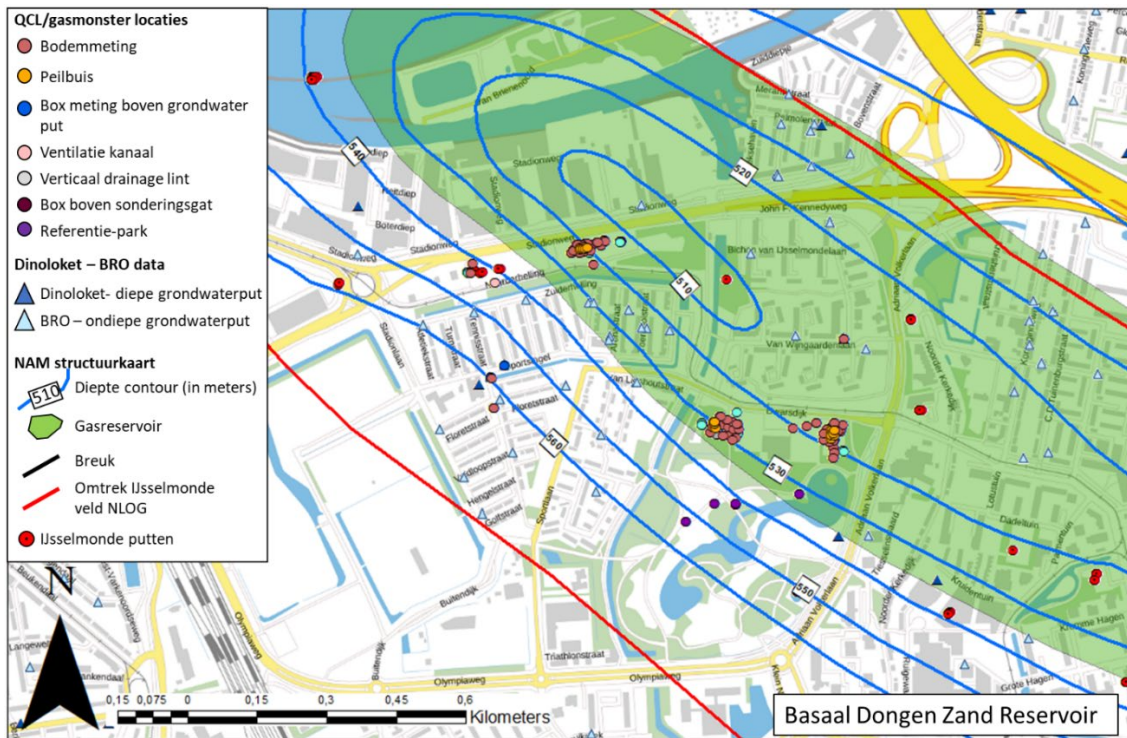
Two "historic" isotopic measurements performed on IJsselmonde.

Well Name	Depth	C1
IJsselmonde-55	967 meters	-44
IJsselmonde-44C	1024-1034 m.	-38

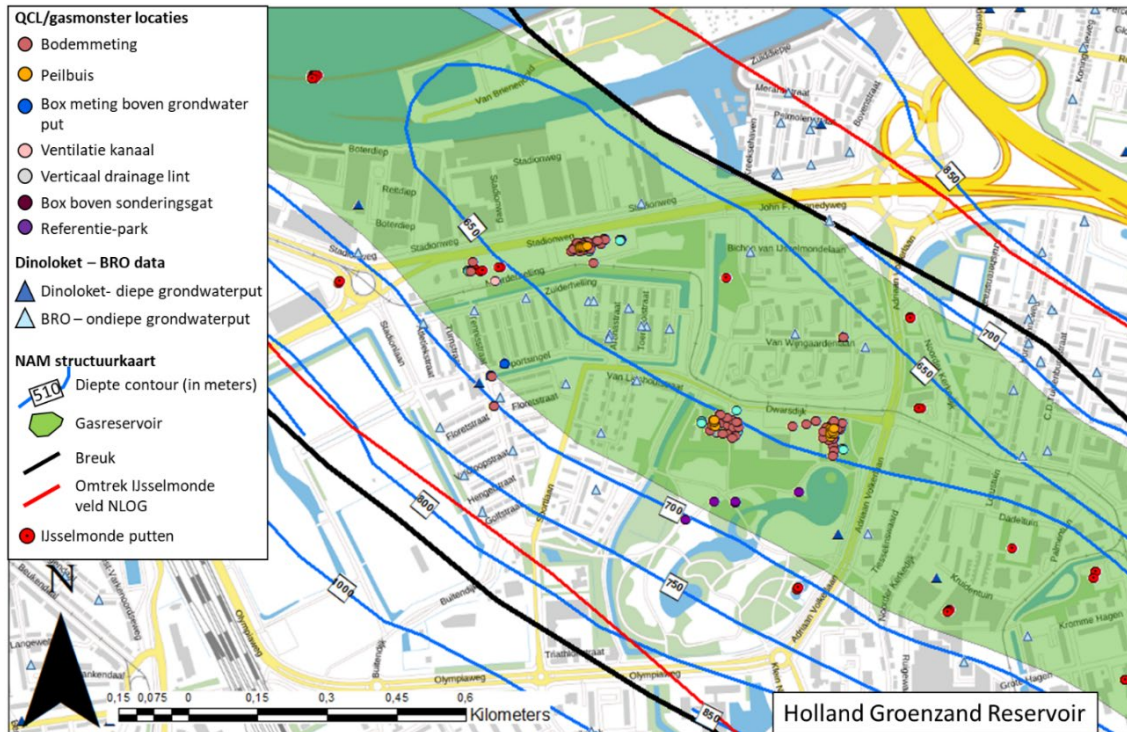
Figuur 68: $\delta^{13}\text{C}$ isotopen data voor twee IJsselmonde putten (NAM, 2021). Dieptes afkomstig van NLOG duiden erop dat beide gasmonsters afkomstig zijn uit het IJsselmonde Zandsteen Laagpakket. Het bereik van -44 tot -38‰ wordt aangehouden als kenmerkend voor gas reservoirs uit het IJsselmonde veld.

De NLOG gasdatabase is niet compleet en *up-to-date*. Uit additioneel onderzoek in oude, gedigitaliseerde NAM documenten over het IJsselmonde veld is nog aanvullende informatie gevonden omtrent de gassamenstelling van putten in het IJsselmonde veld (Tabel 34). In deze oude NAM documenten zijn echter geen aanvullende isotopendata gevonden.

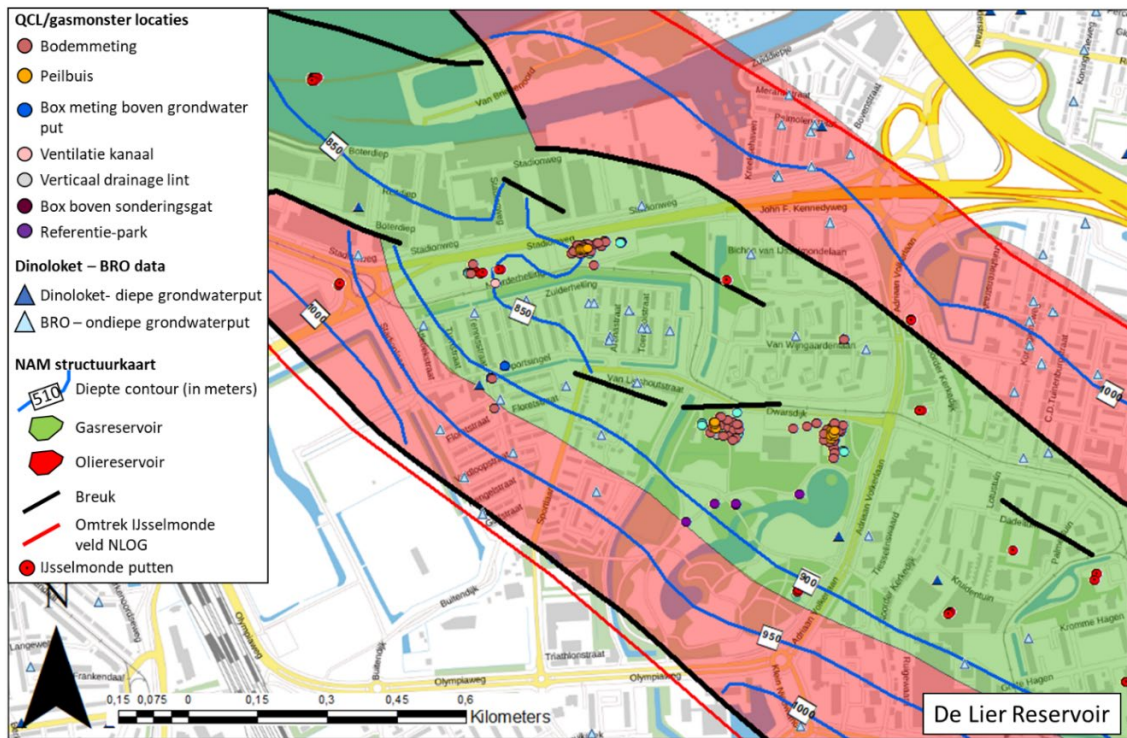
Bij gebrek aan informatie over de isotopensamenstelling in het IJsselmonde veld, wordt het door de NAM gerapporteerde bereik in methaangas koolstofisotopen van -44 tot -38‰ aangehouden als kenmerkend voor gasreservoirs in het IJsselmonde veld. Het gebrek aan gedetailleerde isotopendata per reservoir maakt het echter moeilijk om onderlinge reservoirverschillen in isotopesignatuur te karakteriseren. Hierdoor is een exacte bronbepaling op basis van isotopendata alleen niet mogelijk. Ook in het geval van menging van gas van biogene oorsprong en gas van thermogene oorsprong (uit het reservoir of put), is de mengverhouding lastig te bepalen bij gebrek aan isotopendata uit de gasreservoirs.



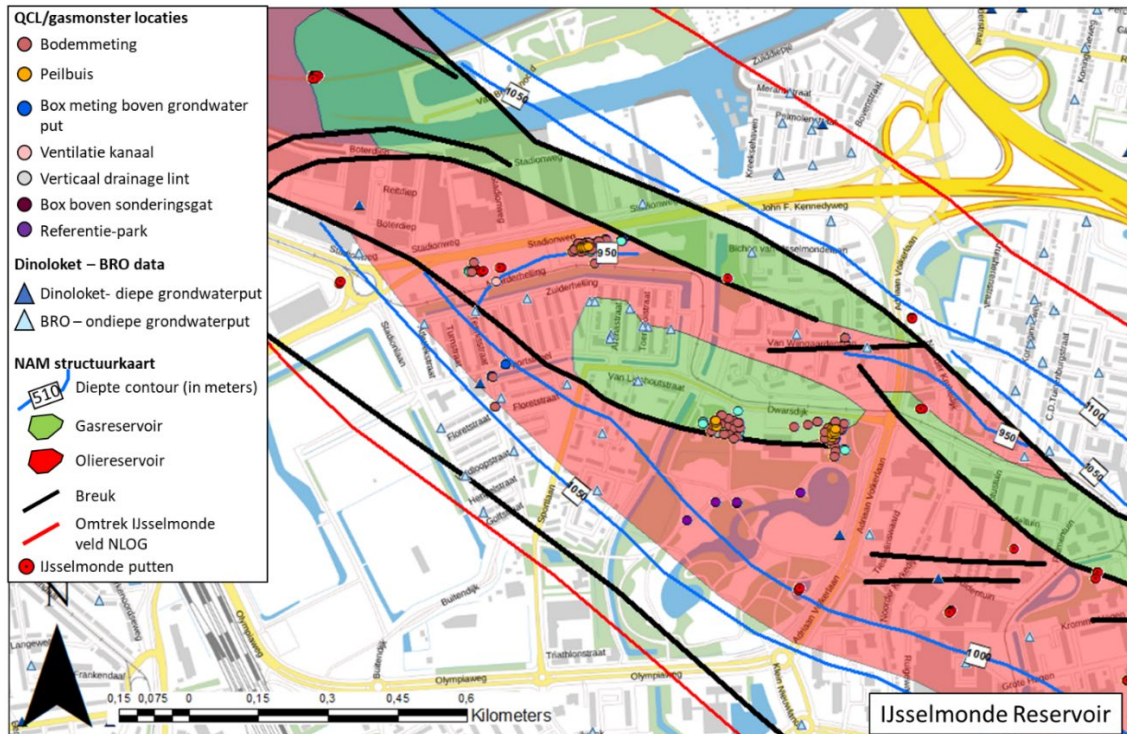
Figuur 69: Gedigitaliseerde structuurkaart van de Basaal Dongen Zand reservoir, weergegeven over de topografie kaart. Contouren gedigitaliseerd op basis van de 2005 NAM structuurkaart van www.nlog.nl (diepte in meters onder NAP).



Figuur 70: Gedigitaliseerde structuurkaart van de Top Holland Groenzand reservoir, weergegeven over de topografie kaart. Contouren gedigitaliseerd op basis van de 2005 NAM structuurkaart van www.nlog.nl (diepte in meters onder NAP).



Figuur 71: Gedigitaliseerde structuurkaart van de Top De Lier reservoir, weergegeven over de topografie kaart. Contouren gedigitaliseerd op basis van de 2005 NAM structuurkaart van www.nlog.nl (diepte in meters onder NAP).



Figuur 72: Gedigitaliseerde structuurkaart van de Top IJsselmonde reservoir, weergegeven over de topografie kaart. Contouren gedigitaliseerd op basis van de 2005 NAM structuurkaart van www.nlog.nl (diepte in meters onder NAP).

Tabel 29: Overzicht van de aangeboorde reservoirs in de IJS putten op de locatie Noorderhelling West

Put	Jaar boring	Stratigrafische eenheid*	Formatie naam*	Top diepte (m) [#] - MD	Netto kolom dikte koolwaterstof (m) [§]	olie/gas
Noorderhelling West						
IJS-04	1957	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	959	onb.	olie
IJS-04-S1	1980	KNNSL (KNNCL)	Laagpakket van De Lier	862	onb.	
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	967	onb.	olie/gas
IJS-19	1959	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	1137	onb.	olie/gas
IJS-22	1960	droog				
IJS-22-S1	1966	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	973	onb.	olie/gas
IJS-22-S2	1985	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	970	95	olie/gas
IJS-60	1981	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	560	0	water
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	677	35.8	olie
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	981	26	gas
IJS-63	1983	KNNSY	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	975	63	olie
IJS-66	1981	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	905	61	gas
IJS-67	1987	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	1012	~47	olie
		SLDNA (DF)	Laagpakket van Alblasserdam (Delfland Subgroep)	1133	81	olie

* Huidige formatie/laagpakket namen staan bovenaan (TNO-GSN, 2021). Tussen haakjes () staan de oude, inmiddels niet meer gebruikte formatie/laagpakket namen (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1994).

[#] Diepte in MD (*measured depth*); diepte gemeten langs het boorgat (www.nlog.nl).

[§] Data afkomstig uit de petrofysische evaluatie rapporten op NLOG (waar aanwezig), anders geschat uit de weekly drilling reports, lithology reports of andere logs; onb=onbekend.

Tabel 30: Overzicht van de aangeboorde reservoirs in de IJS putten op de locatie Noorderhelling Oost

Put	Jaar boring	Stratigrafische eenheid*	Formatie naam*	Top diepte (m) [#] - MD	Netto kolom dikte koolwaterstof (m) [§]	olie/gas
Noorderhelling Oost						
IJS-02	1956	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	~680	onb.	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	~1020	onb.	olie
IJS-02-S1	1977	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	957	0,8	gas
				961	44,2	olie
IJS-23	1960	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	~643	onb.	gas
IJS-23-S1	1984	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	517	5,3	gas
		CKGR	Formatie van Ommelanden	549	195	olie/gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	637	40,1	olie/gas
IJS-25	1960	geabandoneerd op 463 m				
		NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	524	5,5	gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	641	41,5	gas
IJS-61	1981	KNNSL (KNNCL)	Laagpakket van De Lier	860	20,8	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	951	17,8	gas
				970	110,0	olie
IJS-62	1981	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	26	5,0	gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	645	46,3	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	969	82,6	gas

* Huidige formatie/laagpakket namen staan bovenaan (TNO-GSN, 2021). Tussen haakjes () staan de oude, inmiddels niet meer gebruikte formatie/laagpakket namen (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1994).

[#] Diepte in MD (*measured depth*); diepte gemeten langs het boorgat (www.nlog.nl).

[§] Data afkomstig uit de petrofysische evaluatie rapporten op NLOG (waar aanwezig), anders geschat uit de weekly drilling reports, lithology reports of andere logs; onb=onbekend.

Tabel 31: Overzicht van de aangeboorde reservoirs in de IJS putten op de locatie Dwarsdijk West

Put	Jaar boring	Stratigrafische eenheid*	Formatie naam*	Top diepte (m) [#] - MD	Netto kolom dikte koolwaterstof (m) [§]	olie/gas
Dwarsdijk West						
IJS-07	1957				no eval. logs	
IJS-07-S1	1977	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	923	7,8	gas
					58,1	olie
IJS-21	1960				no eval. logs	
IJS-26	1960	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket		onb.	olie
IJS-46	1962	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	660	gas aangetroffen	
		KNNSL (KNNCL)	Laagpakket van De Lier	864	gas aangetroffen	
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	985	onb.	olie/gas
IJS-46-S1	1981	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	929	~9	gas
					~95	olie

* Huidige formatie/laagpakket namen staan bovenaan (TNO-GSN, 2021). Tussen haakjes () staan de oude, inmiddels niet meer gebruikte formatie/laagpakket namen (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1994).

[#] Diepte in MD (*measured depth*); diepte gemeten langs het boorgat (www.nlog.nl).

[§] Data afkomstig uit de petrofysische evaluatie rapporten op NLOG (waar aanwezig), anders geschat uit de weekly drilling reports, lithology reports of andere logs; onb=onbekend.

Tabel 32: Overzicht van de aangeboorde reservoirs in de IJS putten op de locatie Dwarsdijk Oost

Put	Jaar boring	Stratigrafische eenheid*	Formatie naam*	Top diepte (m) [#] - MD	Netto kolom dikte koolwaterstof (m) ⁵	olie/gas
Dwarsdijk Oost						
IJS-05	1956	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	~680	onb.	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	~1020	onb.	olie
IJS-06	1977	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	957	0,8	gas
				961	44,2	olie
IJS-17	1960	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	~643	onb.	gas
IJS-20	1959	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	988	onb.	olie/gas
IJS-20-S1	1978	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	990	1,7	gas
				992	74	olie
IJS-20-S2	1982	KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	967	onb.	olie/gas
IJS-58	1981	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	524	5,5	gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	641	41,5	gas
		KNNSL (KNNCL)	Laagpakket van De Lier	860	20,8	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	951	17,8	gas
				970	110,0	olie
IJS-59	1981	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	526	4,5	gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	660	50,5	gas
		KNNSL (KNNCL)	Laagpakket van De Lier	913	11,9	gas
				951	1,9	olie
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	1008	77	olie
IJS-65	1981	NLDOOO (NLFFD)	Laagpakket van Oosteind (Basale Dongen Zand Laagpakket)	26	5,0	gas
		KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	645	46,3	gas
		KNNSY (KNNCY)	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	969	82,6	gas

* Huidige formatie/laagpakket namen staan bovenaan (TNO-GSN, 2021). Tussen haakjes () staan de oude, inmiddels niet meer gebruikte formatie/laagpakket namen (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1994).

[#] Diepte in MD (*measured depth*); diepte gemeten langs het boorgat (www.nlog.nl).

⁵ Data afkomstig uit de petrofysische evaluatie rapporten op NLOG (waar aanwezig), anders geschat uit de weekly drilling reports, lithology reports of andere logs; onb=onbekend.

Tabel 33: Gascompositie en isotopen data van gasmonsters uit putten voor gasreservoirs die ook in het IJsselmonde veld worden aangetroffen. Data afkomstig uit de NLOG gascompositie database (www.nlog.nl).

Put	Strat.code (RGD/NAM 1980)	Naam (RGD/NAM 1980 - in NLOG gas database)	Huidige Strat.code	Huidige naam	C1	C2	C3	C4	C5	C6	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ S	C1/(C2+C3)	δD (‰) methaan	δ ¹³ C (‰) methaan	δ ¹³ C (‰) CO ₂
	NLFFT	Basale Dongen Tuffiet Laagpakket	NLDOWY	Laagpakket van De Wijk	96.5	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	3.3	n.a.	0.1	0.0	1930	n.a.	n.a.	n.a.
	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	96.1	1.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.0	n.a.	1.2	0.0	57	n.a.	n.a.	n.a.
IJS-01	KNACL	De Lier Zand Schalie Laagpakket	KNNSL	Laagpakket van De Lier	95.7	0.83	0.44	0.00	0.00	0.00	1.8	n.a.	1.2	0.0	75	n.a.	n.a.	n.a.
	KNNCY	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	KNNSY	IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	93.0	1.80	0.10	0.10	0.00	0.00	0.8	n.a.	4.2	0.0	49	n.a.	n.a.	n.a.
WAV-09	NLFFT	Basale Dongen Tuffiet Laagpakket	NLDOWY	Laagpakket van De Wijk	89.1	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	10.8	n.a.	0.0	0.0	594	n.a.	n.a.	n.a.
WYK-01	NLFFT	Basale Dongen Tuffiet Laagpakket	NLDOWY	Laagpakket van De Wijk	88.6	0.19	0.02	0.01	0.00	0.00	11.2	n.a.	0.0	0.0	422	n.a.	n.a.	n.a.
LJR-01-S3	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	89.3	6.20	1.90	0.83	0.30	0.18	1.2	n.a.	0.1	0.0	11	n.a.	n.a.	n.a.
	KNACL	De Lier Zand Schalie Laagpakket	KNNSL	Laagpakket van De Lier	86.5	6.90	3.10	1.50	0.70	0.00	1.0	n.a.	0.3	0.0	9	n.a.	n.a.	n.a.
PRN-01-S1	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	91.6	4.06	1.19	0.54	0.24	0.12	1.6	n.a.	0.4	0.0	17	-166	-35.5	n.a.
	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	91.6	4.06	1.19	0.54	0.24	0.12	1.6	n.a.	0.4	0.0	17	-165	-35.6	n.a.
SGZ-01-S1	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	82.8	10.11	3.11	n.a.	n.a.	n.a.	0.7	n.a.	0.7	0.0	6	n.a.	n.a.	n.a.
	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	KNGLG	Holland Groenzand Laagpakket	73.9	16.79	5.94	n.a.	n.a.	n.a.	0.6	n.a.	0.5	0.0	3	n.a.	n.a.	n.a.
OLE-01	KNACL	De Lier Zand Schalie Laagpakket	KNNSL	Laagpakket van De Lier	93.0	3.31	1.15	0.67	0.32	0.42	1.1	n.a.	0.1	0.0	21	n.a.	n.a.	n.a.
RWK-01	KNACL	De Lier Zand Schalie Laagpakket	KNNSL	Laagpakket van De Lier	93.6	3.33	1.16	0.52	0.43	0.00	0.9	n.a.	0.1	0.0	21	n.a.	n.a.	n.a.
IJS-43	SLDNA	Laagpakket van Alblasserdam	SLDNA	Laagpakket van Alblasserdam	92.9	1.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2.8	n.a.	1.7	0	52	n.a.	n.a.	n.a.
IJS-55	SLDNA	Laagpakket van Alblasserdam	SLDNA	Laagpakket van Alblasserdam	86.6	3.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3.9	n.a.	3.3	0	25	n.a.	n.a.	n.a.

Data uit de NLOG gascompositie database (http://www.nlog.nl/sites/default/files/thematische_data/nlog_gascompos.xlsx)

n.a. = geen data aanwezig in gas database.

Tabel 34: Gascompositie van metingen uit gasmonsters genomen uit IJS putten. Data is afkomstig uit oude NAM documenten die zijn overgedragen aan TNO-AGE. Data is (nog) niet verwerkt in de NLOG gascompositie database.

Put	Jaartal document analyse	Diepte (m)	Strat.code (RGD/NAM 1980)	Naam (RGD/NAM 1980 - in NLOG gas database)	Huidige Strat.code	Huidige naam	C1	C2	C3	C4	C5	C6	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ S	Cl/(C2-C3)	80 (%) methaan	δ ¹³ C (%) methaan	δ ¹³ C (%) CO ₂	Opmerking
IJS-??	1957	onb.			formatie onbekend		97.8	1.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.08	onb.	0.2	onb.		onb.	onb.	onb.	Putnaam onbekend, gegeven de ouderdom van document wellicht IJS-01
IJS-??	1958	onb.			formatie onbekend		99.6	0.9	0.04	0.05	0.03	<0.01	3.1	onb.	2	onb.		onb.	onb.	onb.	Putnaam onbekend, gegeven de ouderdom van document wellicht IJS-01
IJS-01	1956	836-872m		geen formatie in document; diepte komt overeen met Basaal Laagpakket van De Lier (NLOG diepte)		Laagpakket van De Lier	97.4	1.11	0.06	0.04	0.06	0.06	0	onb.	1.2	onb.		onb.	onb.	onb.	
IJS-01	1959	onb.				Laagpakket van De Lier	97.6	1.73	0.07	0.11	0.04	0.03	0.45	onb.	0.02	onb.		onb.	onb.	onb.	
IJS-01	1958						97.3	1.2	0.07	0.05	onb.	onb.	onb.	onb.	0	onb.		onb.	onb.	onb.	Gas uit conductor; waarschijnlijk uit De Lier Laagpakket volgens oude documenten
		836-872m				Laagpakket van De Lier	96.5	2	0.2	0.1	onb.	onb.	onb.	onb.	0.9	onb.		onb.	onb.	onb.	Gasmonsters uit casing
						Laagpakket van De Lier	97.4	1.1	0.06	0.04	onb.	onb.	onb.	onb.	1.2	onb.		onb.	onb.	onb.	Gasmonsters uit formatie
IJS-03	1958	~526 m		geen formatie in document; diepte komt overeen met Basaal Dorigen Zand Laagpakket (NLOG diepte)		Laagpakket van Oosteind	94.5	onb.	onb.	onb.	onb.	onb.	onb.	onb.	onb.	onb.	0.1	onb.	onb.	onb.	Gasmonster uit conductor
IJS-03	1986			KINCL		Laagpakket van De Lier	96.2	0.9	0.5	0	0	1.2	onb.	1.2	0			onb.	onb.	onb.	
IJS-03	1965	890-979				Laagpakket van De Lier	96.2	0.9	onb.	onb.	onb.	onb.	1.2	onb.	1.2	n.d.		onb.	onb.	onb.	Gasmonsters uit casing gemeten aan oppervlak
IJS-04	1958			KINCCY		IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	95.1						0.7					onb.	onb.	onb.	Gasmonsters uit casing gemeten aan oppervlak
IJS-04	1958			KINCCY		IJsselmonde Zandsteen Laagpakket	95.5						0.6					onb.	onb.	onb.	Gasmonsters uit casing gemeten aan oppervlak

Gascompositie data uit oude NAM documenten (in bezit TNO-AGE)
 onb. = onbekend; niet duidelijk uit documenten of het niet geanalyseerd is, of dat gemeten gas samenstelling 0/afwezig is.

10.2 Put integriteit van de IJsselmonde putten

Gedurende de productie geschiedenis van het IJsselmonde veld hebben verschillende putten problemen gehad met gas in of langs de put ten tijde van het ingebruik zijn van de put, danwel tijdens de abandonneer fase van de putten. Enkele van deze putten zijn her-geabandonneerd vanwege geobserveerde lekkage.

Van een aantal putten op de locaties Noorderhelling en Dwarsdijk is werd de geobserveerde lekkage veroorzaakt door put integriteit (*well integrity issues*), bijvoorbeeld lekkage langs de *casing*, corrosie of slecht cement. Het onderstaand overzicht is waarschijnlijk niet compleet, maar geeft inzicht in de mogelijke zaken die hebben gespeeld.

10.2.1 IJS-05

IJS-05 is geboord in 1957. Tussen 1957 en 1983 hebben verscheidene hersteloperaties (*workovers*) plaatsgevonden om corrosie in de put (tubing) en lekkage langs de *casing* te verhelpen. Ten tijde van het abandonneren van de put in 1996 werd gasdrukopbouw geobserveerd, waarna herstelwerkzaamheden werden uitgevoerd om een potentieel lekpad van gas in de Laagpakket van de Lier naar de ondiepere reservoirs (Holland Groenzand en Basaal Dongen laagpakketten) te verhelpen.

10.2.2 IJS-23

Put IJS-23 is in 1960 geboord en heeft als einddiepte Holland Groenzand reservoir. Gasproductie vond plaats tot ongeveer 1973 en werd onder andere gebruikt om olieproductie uit andere IJS putten te verbeteren (*gas lift*). Rond 1973 werd de put afgesloten waarna er in de jaren 80 middels een zgn. *side-track* een nieuwe put werd geboord (IJS-23-S1) wat als einddiepte het Basaal Dongen Zand reservoir had. Na afsluiting van de put werden er sinds de jaren 1990 gasbellen geobserveerd rondom de put. Initieel werd communicatie met put IJS-61 vermoed, waarna aan beide putten herstelwerkzaamheden (*workovers*) werden uitgevoerd. Als onderdeel van de her-abandoneer procedure zijn voor IJS-23 gedurende een paar jaar verscheidene *workovers* uitgevoerd om de aanwezigheid gasbellen te stoppen.

10.2.3 IJS-65

Put IJS-65 is in 1987 geboord met als doel gas productie uit het Holland Groenzand reservoir. Na het abandonneren van de put in 1997 werd in 1998 in de *well head* gasdrukopbouw aangetroffen, alsmede gasbellen met olieresidu. Vermoed werd dat de Basaal Dongen Zand en/of Holland Groenzand reservoirs de bronnen waren van het lekkende gas. Herstelwerkzaamheden zijn in 1998 uitgevoerd, waarna er geen gasbellen en drukopbouw meer werden aangetroffen.

10.2.4 IJS-61

Put IJS-61 is in 1981 geboord met als doel olieproductie uit het IJsselmonde Zand Laagpakket. Na het abandonneren van de put in 1995 werd in 1996 drukopbouw gesignaleerd in de annulus. Een *workover* om dit te verhelpen vond plaats in 1996/1997.

10.2.5 IJS-25, IJS-02 en IJS-46

Na het abandonneren van IJS-25 en IJS-02 werden in de putkelders gasbubbel waargenomen (email SodM, referentie 15 maart 2022). In IJS-46 werden sporen van olie gevonden onder de afdekplaat die op de *stovepipe* gelast was, maar werd geen emissie aangetroffen. Voor al deze putten zijn geen aanvullende documenten beschikbaar via NLOG om na te gaan welke mitigerende maatregelen zijn genomen, maar *workovers* zullen wellicht hebben plaatsgevonden om het lekken tegen te gaan.

10.3 Brongas in West-Nederland en relatie met locatie Dwarsdijk en Noorderhelling

In West-Nederland komt in de ondiepe ondergrond (tot paar honderd meter diep) methaangas voor dat vaak wordt aangeduid als brongas of moerasgas. Met moerasgas wordt vaak het gas bedoeld wat ontstaat als gevolg van rottingsprocessen in ondiepe wateren en drassige (moeras) bodems, terwijl brongas wordt gebruikt voor het gas wat dieper in de bodem ontstaat. In beide gevallen zijn het microbiële processen die (organisch) materiaal consumeren en daarbij methaan produceren (methanogenese).

Het brongas wordt voornamelijk gevormd tijdens bacteriële afbraakprocessen van organisch rijke lagen (bijvoorbeeld veenlagen) in de ondiepe ondergrond, en wordt daarom ook wel biogeen gas genoemd. Echter, biogeen gas wordt ook aangetroffen in lagen die dieper liggen dan de onderste veenlagen (Basisveen). Gas wat in deze onderliggende lagen wordt aangetroffen, ontstaat door degradatie van sedimentair organisch materiaal in (Holocene) mariene sedimenten en met name in West-Nederland is dit een voorname bron van biogeen gas (Griffioen et al., 2013).

Brongas werd historisch gezien vaak gewonnen en verzameld in grote ketels op boerderijen en landerijen en gebruikt voor de verlichting en verwarming van huizen. Een van de oudste beschrijvingen voor het gebruik van brongas dateert uit 1875 in een weiland rondom Delft (Moerman, 2004). Schattingen over het totale aantal brongasketels rondom Delft lopen op tot zo'n 250 (Moerman, 2004). Ook op andere locaties in Nederland (bijvoorbeeld de Beemster, Friesland) is veelvuldig gebruikt gemaakt van brongaswinning (Bol, 1991; Cleveringa et al., 1995; Obdam en Cleveringa, 2001; Bartstra, 2003).

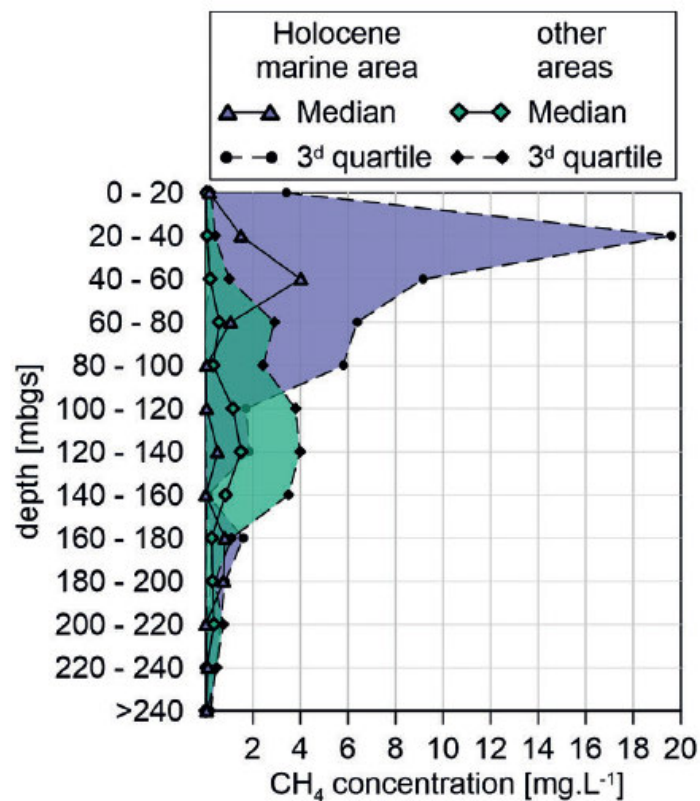
Het feit dat er rondom Delft alleen al zo'n 250 brongasketels waren, duidt erop dat er significante hoeveelheden methaangas in de ondiepe ondergrond aanwezig zijn. De regio rondom Delft is hierbij relevant aangezien het relatief dichtbij de locaties Dwarsdijk en Noorderhelling ligt, en er derhalve vanuit gegaan kan worden dat ook op deze twee locaties hoge concentraties van brongas in de ondiepe ondergrond aanwezig kunnen zijn.

Hoewel er vanuit historisch perspectief beschrijvingen zijn over het brongas, is het aantal wetenschappelijke publicaties die de gassamenstelling en/of isotopenverhoudingen van het brongas rapporteren beperkt. (Semi)wetenschappelijke artikelen over het brongas richten zich voornamelijk op het ontstaan en voorkomen van het brongas (Kager et al, 1982; Stuyfzand et al, 1994; Cleveringa et al, 1995; Cirkel et al, 2015). Uit deze publicaties blijkt dat het brongas tot op (enkele) honderd meter diepte aanwezig is, waarbij wordt opgemerkt dat het gas voor ongeveer 80% uit methaan bestaat en voor de rest uit stikstof en CO₂.

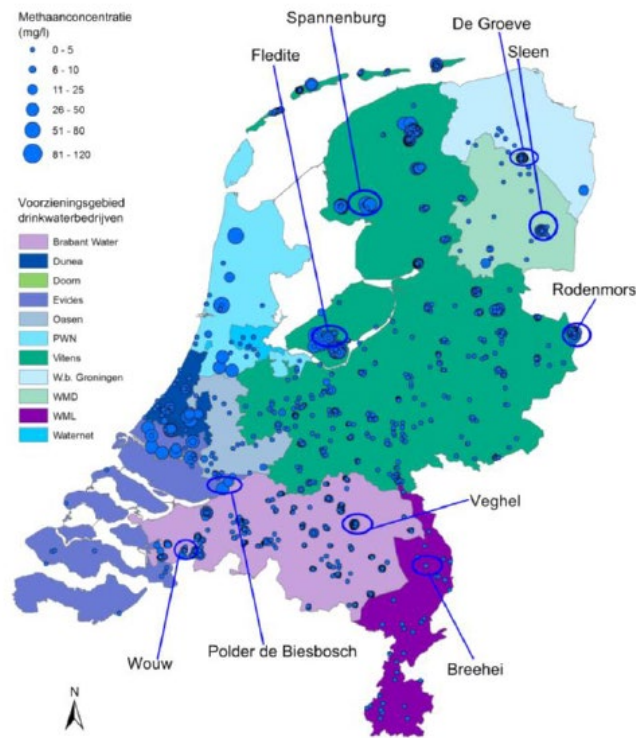
Schout (2020) heeft recent onderzoek gedaan naar de gas- en isotopen-samenstelling in watermonsters uit grondwatermonitoringputten in West-Nederland. Op dieptes van zo'n 10-20 m lost het methaangas op in het grondwater (Stuyfzand et al, 1994; Schout, 2020) dus bij het bemonsteren van grondwater wordt derhalve ook het eventueel aanwezige brongas verzameld. Hoewel het onderzoek van Schout (2020) zich niet specifiek op het voorkomen van brongas richt, maar op de aanwezigheid van (biogeen) methaangas in het grondwater in het algemeen, geven deze resultaten een goed beeld van de samenstelling van ondiep methaangas.

Gebaseerd op 369 grondwatermonitoring putten uit West-Nederland concludeerde Schout (2020), dat de methaanconcentratie in de ondiepe ondergrond toeneemt van het oppervalk tot zo'n 60 m diepte, waarna de gemiddelde concentraties weer afnemen. Op de diepte van 60m wordt gemiddeld (mediaan) ongeveer 4 mg/L methaan aangetroffen, met uitschieters tot 20 mg/L in de Holocene marine sedimenten in West-Nederland (Figuur 73). In andere afzettingen is het gemiddelde lager, tot ongeveer 2 mg/L methaan op dieptes tot 120-140m (met uitschieters tot 4mg/L). Mariene Holocene sedimenten zijn dus een belangrijke bron van methaangas in de ondiepe ondergrond.

Methaanconcentraties kunnen lokaal hoger zijn dan bovengenoemde concentraties. Cirkel et al. (2015) concludeerde op basis van analyses uit drinkwatervoerende lagen in de regio Rotterdam dat methaanconcentraties tot 50 mg/L aanwezig kunnen zijn (Figuur 74).

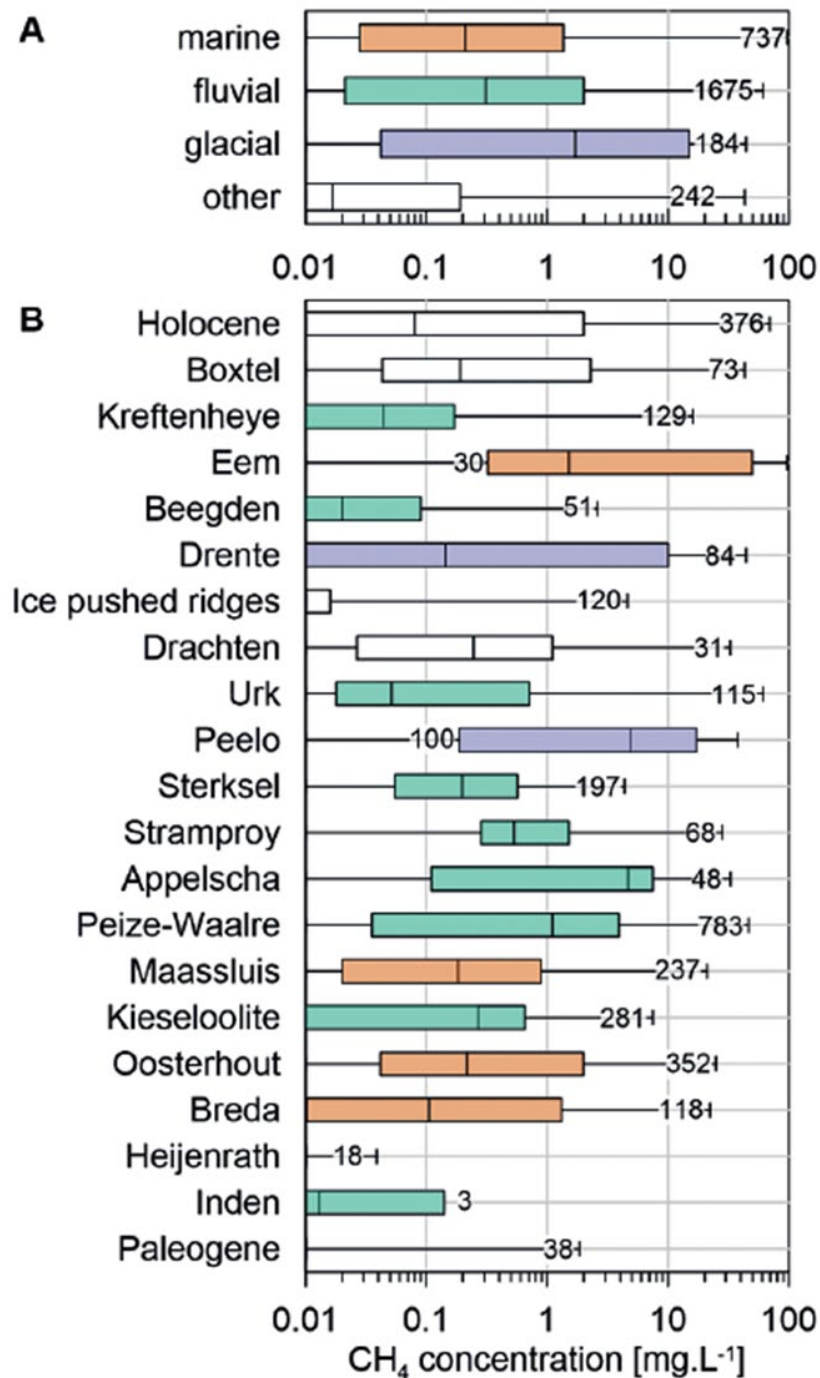


Figuur 73: Diepte profiel met gemiddelde methaan concentraties aangetroffen in grondwaterputten in West-Nederland in Holocene marine sedimenten (paars) en andere locaties (groen). Grafiek uit Schout (2020).



Figuur 74: Overzicht van methaanconcentratie metingen in Nederland (Cirkel et al., 2015). In de drinkwatervoerende lagen rondom Rotterdam (Evides wingebied) worden methaanconcentraties tot 50 mg/L gemeten.

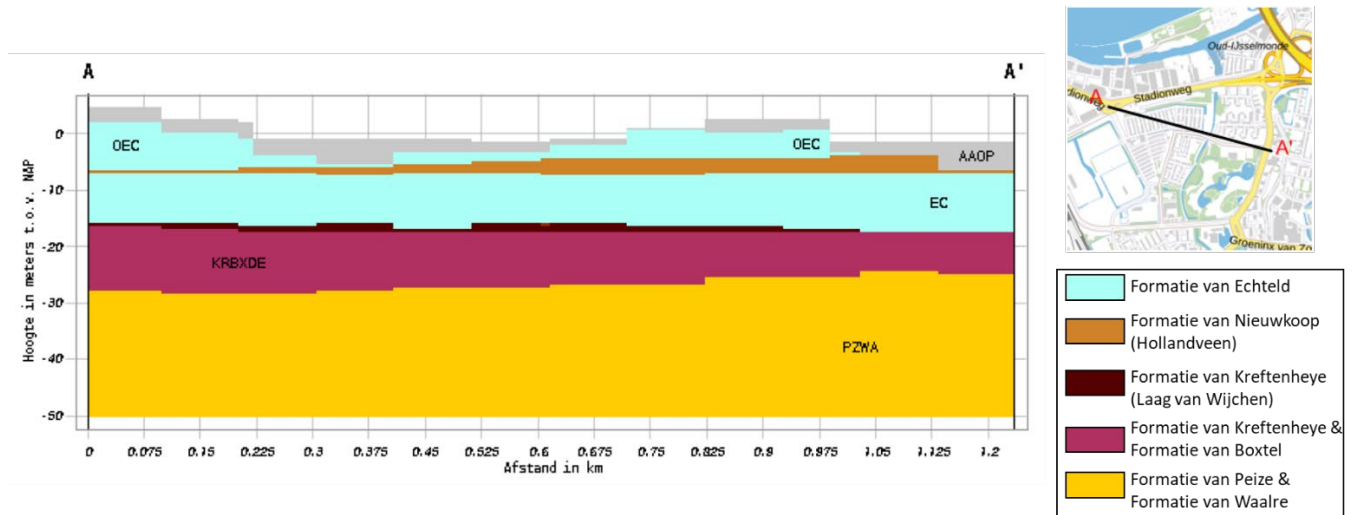
Methaanconcentraties variëren niet alleen per diepte, maar ook per afzettingsmilieu en dus per formatie in de Nederlandse ondergrond (Figuur 75, Schout, 2020). Uitgezet naar afzettingsmilieu wordt geconcludeerd dat glaciële afzettingen significant hogere methaanconcentraties hebben dan fluviatiele, mariene of andere afzettingen (Figuur 75A). Uitgesplitst naar de formatie in de ondiepe ondergrond concludeert Schout (202) dat de hoogste methaanconcentraties worden aangetroffen in de glaciële Formatie van Peelo en in de mariene Eem Formatie. Deze laatste formatie is ook de waarschijnlijke bron voor het brongas aangetroffen in de Laag van Harting (Cleveringa et al, 1995).



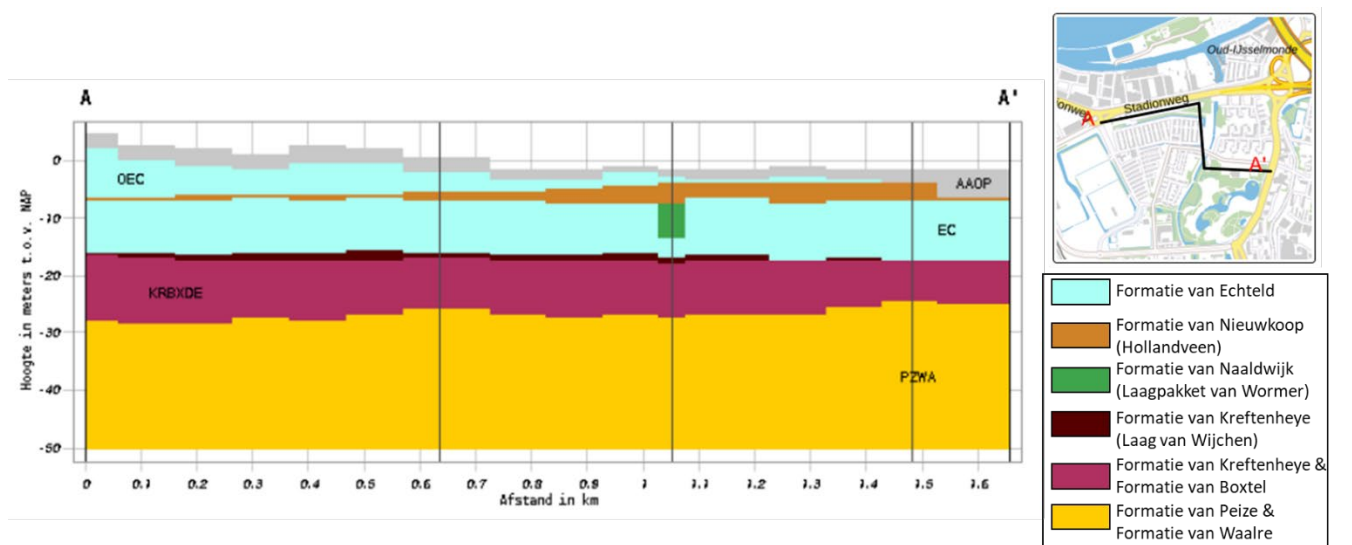
Figuur 75: Methaanconcentraties gemeten in grondwatermonsters uit grondwaterputten in de Nederlandse ondergrond. Geleerde boxen geven het globale afzettingmilieu weer: groen=fluviaal, oranje=marien, paars=glaciaal, wit=overig. Cijfers naast de boxen geven het aantal monsters weer wat gebruikt is per box. De box zelf geeft alle concentraties weer die > 25% en < 75% van de gemeten concentraties zijn. Dikke zwarte lijnen geven de minimale en maximale concentratie aan. A. Methaanconcentraties uitgesplitst naar afzettingmilieu. B. Methaanconcentraties uitgesplitst volgens de Kwartaire en Neogene afzettingen (formaties) in de ondiepe ondergrond. Figuur uit Schout (2020).

Op de locaties Dwarsdijk en Noorderhelling worden de formaties van Kreftenheye, Boxtel en Peize/Waalre in de ondergrond aangetroffen (Figuur 76 en Figuur 77).

Hoewel directe vergelijking van de methaanconcentraties in Schout (2020) en de concentraties gemeten met behulp van de QCL lastig is door verschil in gebruikte eenheden (mg/L, methaan opgelost in grondwater in Schout (2020) vs. ppm voor de QCL data) valt wel te concluderen dat de te verwachten methaanconcentraties in de formaties niet significant hoger zullen zijn dan dat wat daadwerkelijk is aangetroffen middels de QCL metingen.

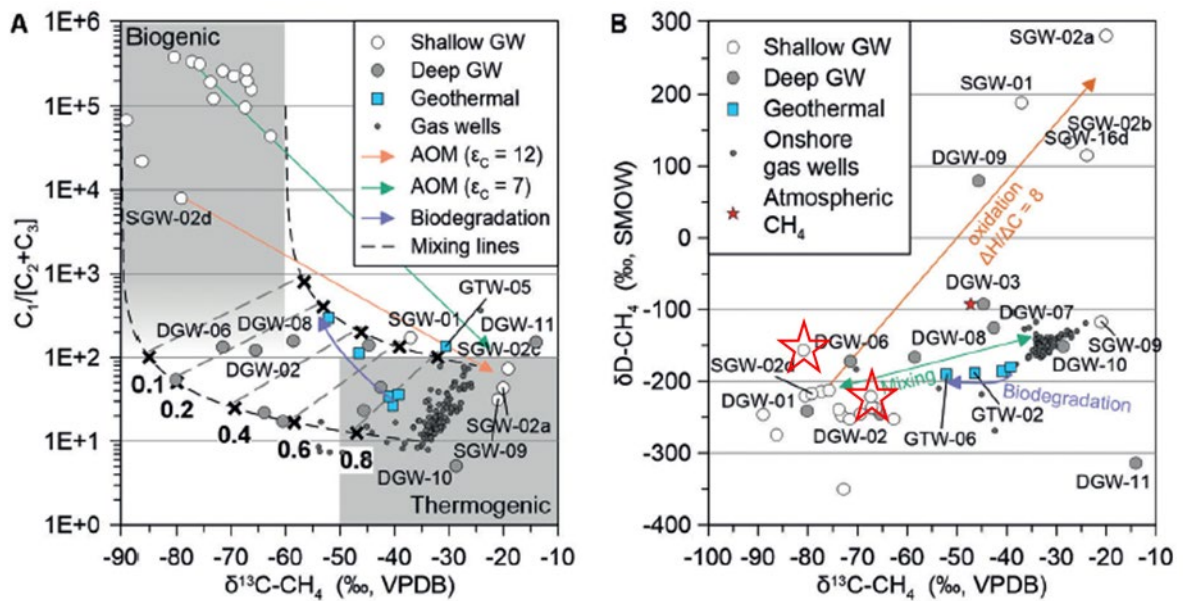


Figuur 76: Geologische doorsnede van de ondiepe ondergrond nabij locaties Dwarsdijk en Noorderhelling (BRO GeoTop v1.41 model).



Figuur 77: Idem als Figuur 76, maar dan voor een ander profiel nabij locaties Noorderhelling en Dwarsdijk.

Gas- en isotopensamenstelling van methaangas uit bemonsterde grondwaterputten zijn weergegeven in Figuur 78. De meeste grondwaterputten hebben methaan koolstofisotopen waarden die tussen -80 en -50‰ liggen, en bijbehorende waterstof isotopen tussen -300 en -100‰. Voor enkele ondiepe grondwaterputten zijn zeer hoge waterstof ratio's aangetroffen (+100‰ tot +200‰), welke door Schout (2020) geïnterpreteerd werden als zeer verregaande methaanoxidatie. Methaan-isotopenanalyse aan twee ondiepe grondwaterputten in de regio Rotterdam (SGW-17 en SGW-10 in Schout, 2020, aangeduid in de rode sterren in Figuur 78) duiden op een biogene oorsprong van het gas ($\delta^{13}\text{C}$ van -81 en -67‰ en δD van -157 en -236‰, genomen van dieptes van respectievelijk 64 en 142 m). Alle isotopendata uit de GWM putten zijn gebruikt en verder bediscussieerd bij de isotopeninterpretatie van de locaties Noorderhelling en Dwarsdijk (Hoofdstuk 3).



Figuur 78: Gassamenstelling en isotopen analyses aan watermonsters uit ondiepe (<250m, Shallow GW) en diepe (<500 m, Deep GW) grondwaterputten. A. Bernard plot met methaan koolstofisotopen versus methaan (C_1) / (ethaan (C_2) + propaan (C_3)). B. Methaan koolstof- en waterstof isotopen.

11 Appendix D – Mogelijke herkomst lage concentraties ethaan in de bodem

Afhankelijk van waar en hoe aardgas gevormd is, kunnen er naast methaan ook ethaan en hogere alkanen in het gas aanwezig zijn. Gronings aardgas heeft typisch een ethaangehalte van ca. 2.85%. Gas dat ondieper en bij lagere temperaturen is gevormd, heeft vaak een lager ethaangehalte. Het op NLOG beschikbare overzicht van gemeten gascomposities toont bijvoorbeeld een ethaangehalte van 1.8 – 3.5% voor het Laagpakket van Alblasterdam (SLDNA) en van 0.04% voor het ondiepe Basaal Dongen Tuffiet Laagpakket (NLFFT), die zich beide in het IJsselmonde gebied bevinden (zie Tabel 33).

Lange tijd is aangenomen dat ethaan en hogere alkanen niet op microbiële wijze gevormd kunnen worden, maar inmiddels is in meerdere studies aangetoond dat er verschillende bacteriën en schimmels zijn die wel degelijk ethaan kunnen produceren in de bodem (ethanogenese), zij het in kleinere hoeveelheden dan methaan (Fukada et al., 1984; Hinrichs et al., 2006; Ladygina et al., 2006).

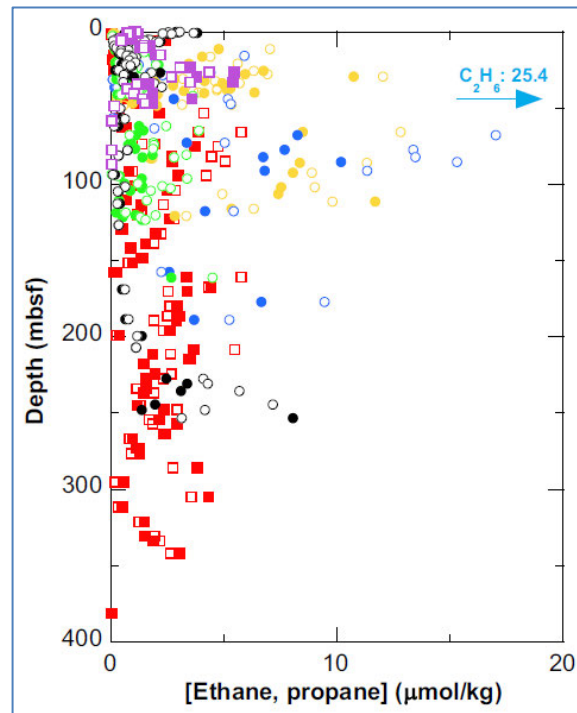
Fukada et al. (1984) concludeerde uit laboratoriumexperimenten dat microben onder aerobe omstandigheden uit afvalmateriaal ethaan kunnen produceren. Hinrichs et al. (2006) toonde aan de hand van boorkernen uit (diepzee) sedimenten voor de kust van Peru aan dat in-situ productie van kleine hoeveelheden ethaan en propaan mogelijk is (zie Figuur 79). Deze auteurs stelden voor dat ethanogenese plaats vindt door reductie van acetaat naar ethaan door verschillende microbiële gemeenschappen. Aangetroffen ethaan was echter wel geabsorbeerd op de sedimenten, in water opgelost ethaan werd niet aangetroffen. Kwantitatieve informatie over snelheden of mate van microbiële ethaanproductie is echter niet bekend.

Ethaan en hogere alkanen zijn in de bodem minder stabiel dan methaan (Formolo, 2010) waardoor gemeten ratio's nabij het oppervlak kunnen afwijken van de ratio op diepte van de vormingsbron.

Het meten van een substantiële ethaanflux is een goede indicator dat er sprake is van het vrijkomen van thermogeen aardgas. Echter, de meetapparatuur (QCL) waarmee dit onderzoek is uitgevoerd is dusdanig gevoelig dat ook zeer lage ethaanconcentraties kunnen worden gedetecteerd, met een lage ethaan/methaanratio tot gevolg. De interpretatie hiervan is lastig omdat een dergelijke ratio op verschillende manieren kan ontstaan:

- Thermogeen gas maar met een hele lage ethaanconcentratie;
- Thermogeen gas waarin ethaan in hogere mate is geoxideerd dan methaan;
- Een mix van thermogeen en biogeen gas;
- Biogeen gas inclusief microbiëel gevormd ethaan.

Uiteraard is ook een combinatie van bovenstaande opties mogelijk.



Figuur 79: Ethaan (dichte symbolen) en propaan (open symbolen) in sedimenten uit boorkernen voor de kust van Peru. Gekeurde symbolen geven de verschillende boorkernen weer en sedimenten bestaan uit (diepzee) kleien en zanden. Ethaan en propaan wordt in-situ geproduceerd door microbiële activiteit en is geabsorbeerd op het sediment substratum. Opgelost ethaan en propaan (in het water) werd niet gemeten (Hinrichs et al, 2006).

12 Appendix E – Overzicht gascompositie en isotopendata uit eerdere/andere meetcampagnes

Onderstaande tabellen geven een overzicht van alle eerdere en andere gasmonsters plus gemeten gascompositie en isotopendata.

Gasmonsters zijn tijdens verschillende bemonsteringsdagen verzameld door Panterra (in opdracht van de gemeente Rotterdam), NAM en TNO.

In de tabellen worden de meetresultaten weergegeven die door Isolab gemeten zijn aan de gasmonsters van Panterra en NAM. Voor al deze meet data worden de gascompositie concentraties in mol% weergegeven.

De TNO data (TNO, 2021c) zijn geanalyseerd door IMAU; de gerapporteerde methaanconcentraties zijn in ppm.

Tabel 35: Gascompositie en isotopendata gemeten door externe partijen en eerder door TNO gerapporteerd voor de Dwarsdijk Oost en West locaties.

Peilbuis	Bron	Opslag	Diepte peilbuis (m)	Datum (bemonstering of analyse)	Monster naam	Bemonsterd door	C1	C2	C3	C4	C5	C6+	N2	O2	CO2	Ar	H2	H2S	$\delta^{13}\text{C}$ (CH4)	$\delta^{13}\text{C}$ (CH4)	$\delta^{13}\text{C}$ (CO ₂)
Dwarsdijk Oost																					
		gasfles	oppervlakte	juni 2021	SN-2021-06-0569	NAM	0.01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.g.
	peilbuis zonder filter	gasfles	onbekend	juni 2021	SN-2021-06-0569	NAM	0.008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.g.
P004	peilbuis	gasfles	13.1	sept 2021	P004	Panterra/Gem. R'dam	0.0006	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78.0	20.9	0.12	0.95	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-5.9
P005	peilbuis	gasfles	17.1	sept 2021	P005	Panterra/Gem. R'dam	0.16	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78.0	20.8	0.18	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-32.7
P006	peilbuis	gasfles	2.5	sept 2021	P006	Panterra/Gem. R'dam	0.0045	0.0002	0.0002	0.0001	nd	0.0002	78.1	20.9	0.05	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-11.3
P005	peilbuis	gasfles	17.1	sept 2021	NAM_P005	NAM	0.0076	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78.0	20.9	0.12	0.94	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-10.5
P006	peilbuis	gasfles	2.5	sept 2021	NAM_P006	NAM	0.002	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78.0	21.0	0.05	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-10.1
Dwarsdijk West																					
L1	peilbuis	gaszak	onb.	juni 2021	L1	TNO	2.267 ppm	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
P001A	peilbuis	gasfles	13.0	sept 2021	P001	Panterra/Gem. R'dam	0.054	0.0003	0.0003	0.0002	n.a.	0.0003	78.1	20.7	0.31	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-19.9
P002A	peilbuis	gasfles	17.1	sept 2021	P002	Panterra/Gem. R'dam	0.0011	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0001	78.1	20.8	0.16	0.94	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-22.5
P003A	peilbuis	gasfles	2.0	sept 2021	P003	Panterra/Gem. R'dam	0.0034	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0004	78.1	20.9	0.085	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-17.7
P001A	peilbuis	gasfles	17.0	sept 2021	NAM_P001	NAM	0.0009	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	20.9	0.1	0.94	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-10.3

n.a. = niet aangetroffen; niet aanwezig of onder de detectie limiet

o.d. = onder detectie limiet

n.g. = niet gemeten

Tabel 36: Gascompositie en isotopendata gemeten door externe partijen en eerder door TNO gerapporteerd voor de Noorderhelling Oost en West locaties.

peilbuis	Bron	Opslag	Diepte peilbuis (m)	Datum (bemonstering of analyse)	Monster naam	Bemonsterd door	C1	C2	C3	C4	C5	C6+	N2	O2	CO2	Ar	H2	H2S	$\delta^{13}C$ (CH4)	$\delta^{13}C$ (CO ₂)	
Noorderhelling Oost																					
P001	peilbuis	gasfles	18.0	maart 2021	P001	Panterra/Gem. R dam	7.8	3E-04	nd	nd	nd	0.011	78	7.6	5.6	0.9	n.a.	n.a.	-43.6	-177	
P002	peilbuis	gasfles	22.1	maart 2021	P002	Panterra/Gem. R dam	6.6	5E-04	nd	nd	nd	0.028	76	13	3	0.9	n.a.	n.a.	-52.9	-204	
P003	peilbuis	gasfles	3.6	maart 2021	P003	Panterra/Gem. R dam	5.9	3E-04	nd	nd	nd	1E-04	79	9.6	4.5	0.9	n.a.	n.a.	-43.6	-142	
P001	peilbuis	gasfles	18.0	juli 2021	SN-2021-06-0568	NAM	0.06	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	21	0.2	0.9	n.a.	n.a.	-53.1	-213	
P002	peilbuis	gasfles	22.1	juli 2021	SN-2021-06-0567	NAM	2.4	1E-04	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	79	16	2.5	0.9	n.a.	n.a.	-54.8	-163	
P003	peilbuis	gasfles	3.6	juli 2021	SN-2021-06-0566	NAM	1.1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	20	0.88	0.9	n.a.	n.a.	-47.3	-225	
P001	peilbuis	gaszak	18.0	juni 2021	L3 B180	TNO	234.6 ppm	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	-56.1	-211	
P002	peilbuis	gaszak	22.1	juni 2021	L3 B220	TNO	186.4 ppm	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	-52.1	-153	
P003	peilbuis	gaszak	3.6	juni 2021	L3 B35	TNO	125.3 ppm	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	-68.1	-224	
Achtergrond	achtergrond - lucht	gaszak		juni 2021	L3 achtergrond	TNO	2.078 ppm	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	-49.2	-106	
P23.01	peilbuis	peilbuis	3.5	5-nov	P23.01	Panterra/Gem. R dam	5.6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	73	18	3.4	0.9	n.a.	n.a.	-53.7	-244	
P23.02	peilbuis	peilbuis	17.0	5-nov	P23.02	Panterra/Gem. R dam	4.9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	76	15	3.2	0.9	n.a.	n.a.	-54.5	-211	
P23.03	peilbuis	peilbuis	22.0	5-nov	P23.03	Panterra/Gem. R dam	0.033	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	21	0.16	0.9	n.a.	n.a.	-47.0	-180	
Noorderhelling West																					
	meetbox	gasfles	surface	okt 2021	SN-2020-10-0811	NAM	0.77	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	21	0.13	0.9	n.a.	n.a.	-71.9	o.d.	
	meetbox	gasfles	surface	nov 2021	2020-11-0429	NAM	1.4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	77	20	0.51	0.9	n.a.	n.a.	-69.2	-271	
	meetbox	gasfles	surface	nov 2021	2020-11-0430	NAM	1.4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	77	20	0.36	0.9	n.a.	n.a.	-71.0	-259	
	meetbox	gasfles	surface	nov 2021	2020-11-0431	NAM	0.15	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	21	0.11	0.9	n.a.	n.a.	-61.5	-209	
	meetbox	gasfles	surface	nov 2021	2020-11-0432	NAM	1.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	77	21	0.12	0.9	n.a.	n.a.	-76.5	-269	
P101	peilbuis	gasfles	surface	okt 2021	P101	Panterra-Isolab?	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	g.d.	-71.9	o.d.	
P4.01	peilbuis	cylinder	3.0	5-nov-21	P4.01	Panterra/Gem. R dam	0.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	78	21	0.05	0.9	n.a.	n.a.	-73	-254	
P4.02	peilbuis	cylinder	17.0	5-nov-21	P4.02	Panterra/Gem. R dam	3.9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	74	20	1.6	0.9	n.a.	n.a.	-44.4	-234	
P4.03	peilbuis	cylinder	21.0	5-nov-21	P4.03	Panterra/Gem. R dam	4.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	75	19	1.2	0.9	n.a.	n.a.	-49.1	-221	
	onluchtingskanaal	cylinder		5-nov-21	Ontluchting	Panterra/Gem. R dam	0.91	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	81	17	0.1	1	n.a.	n.a.	-40.9	-105	
	riool	cylinder		5-nov-21	007	Panterra/Gem. R dam	3.1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	75	17	3.9	0.9	n.a.	n.a.	-53.8	-251	

n.a. = niet aangetroffen; niet aanwezig of onder de detectie limiet
o.d. = onder detectie limiet
n.g. = niet gemeten
g.d. = geen data

Tabel 37: Gascompositie en isotopendata gemeten door externe partijen voor de referentielocaties (zie Figuur 2 voor locaties).

Peilbuis	Bron	Opslag	Diepte peilbuis (m)	Datum (bemonstering of analyse)	Monster naam	Bemonsterd door	C1	C2	C3	C4	C5	C6+	N2	O2	CO2	Ar	H2	H2S	$\delta^{13}\text{C}$ (CH4)	$\delta^{13}\text{C}$ (CH4)	$\delta^{13}\text{C}$ (CO ₂)
Referentie locaties																					
P401	peilbuis	cylinder	4.0	feb 2021	P401	Panterra/Gem. R'dam	0.0031	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.007	78	21	0.05	0.9	n.a.	n.a.	-47.7	o.d.	-9.3
P402	peilbuis	cylinder	19.0	feb 2021	P402	Panterra/Gem. R'dam	25.6	2E-04	n.a.	n.a.	n.a.	0.003	56	14	3.4	0.7	n.a.	n.a.	-56.5	-249	-8.4
P403	peilbuis	cylinder	23.0	feb 2021	P403	Panterra/Gem. R'dam	0.14	0.001	3E-04	1E-04	1E-04	0.003	78	21	0.1	0.9	n.a.	n.a.	-55.8	-221	-15
P1301	peilbuis	cylinder	3.0	feb 2021	P1301	Panterra/Gem. R'dam	0.0008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.002	78	21	0.4	0.9	n.a.	n.a.	o.d.	o.d.	-25
P1302	peilbuis	cylinder	16.5	feb 2021	P1302	Panterra/Gem. R'dam	0.19	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.003	77	21	0.97	0.9	n.a.	n.a.	-39.4	74	-12
P1303	peilbuis	cylinder	20.5	feb 2021	P1303	Panterra/Gem. R'dam	0.75	n.a.	n.a.	n.a.	0.082	0.084	77	20	1.3	0.9	n.a.	n.a.	-65.3	-239	-12

n.a. = niet aangetroffen; niet aanwezig of onder de detectie limiet

o.d. = onder detectie limiet