



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Voorstel voor richtlijn voor het transport van ruw biogas

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal ondernemen*

GT-150240
26 januari 2016



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Voorstel voor richtlijn voor het transport van ruw biogas





Voorstel voor richtlijn voor het transport van ruw biogas

© 2015 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze, hetzij
elektronisch, mechanisch,
door fotokopieën, opnamen,
of enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de uitgever,
alsmede van de
opdrachtgever.

Kiwa Technology B.V.
Wilmersdorf 50
Postbus 137
7300 AC Apeldoorn

Tel. 055 539 33 93
Fax 055 539 34 94
www.kiwatechnology.nl

Colofon

Titel	Voorstel voor Richtlijn voor het transport van ruw biogas
Projectnummer	150800862
Projectmanager	H.A. Ophoff
Opdrachtgever	Netbeheer Nederland
Kwaliteitsborger(s)	P.P. van Norden
Auteur(s)	J. de Bruin, E.A. Polman, C.J.A. Pulles, H.A. Ophoff

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Netbeheer Nederland en RVO. Het is beschikbaar voor RVO, Netbeheer Nederland, de bij Netbeheer Nederland aangesloten netbeheerders en de aan deze netbeheerders verbonden bedrijven.

Summary

In the nearby future an increase in the number of pipelines transporting raw biogas from digestion of dung or sewage sludge is expected. Guidelines to ensure safe transport of raw biogas are therefore an important issue. Additionally these guidelines should not impede unnecessarily the future projects for transportation of biogas. Transporting biogas results in five additional hazards compared to the transport of natural gas. Measures are identified to mitigate these five dangers. The measures are bundled and proposed as guideline for the transport of biogas that can be used by licensors, pipeline owners and operators.

The five identified hazards of transporting biogas compared to natural gas are:

- The negative effects of biogas components on the material integrity of the pipelines.
- The toxic effects of specific biogas components.
- The possible presence of harmful micro-organisms.
- The different odour of biogas.
- The possible higher density of biogas.

Is it proposed to apply the current Dutch standards for gas supply systems (NEN 7244) and the safety work instructions for natural gas (VIAG) as minimum requirements for the construction and operation of biogas pipelines. In addition to those standards the following measures are proposed to mitigate the five specific dangers.

Negative effects on the material integrity:

- Moisture in the pipeline in combination with biogas can lead to degradation of the pipeline and its components. Therefore it is proposed to transport only dry biogas with a dew point of $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ or lower at the maximum operating pressure in the pipeline. Besides, a maximum concentration of 800 ppm aromatic hydrocarbons and no condensed higher hydrocarbons are allowed.

Toxic effects:

- Hydrogen sulphide (H_2S) is a toxic component of biogas that can be present in high concentrations. Based on the lower explosion limit of biogas in air a maximum concentration of H_2S has been proposed. The maximum concentration of H_2S is set at 160 ppm.

The possible presence of micro-organisms:

- The safety aspects of micro-organisms in biogas is unknown. However the drying of biogas is a good barrier to reduce the number of micro-organisms in the gas. Therefore it is proposed to transport biogas with a dew point of $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ at the maximum operating pressure in the pipeline.

Different Odour:

- Biogas can contain components that mask the smell of the odorant used in natural gas. Therefore it is proposed the pipeline owner shall inform the nearby residents in the presence of the biogas pipeline.

Higher density:

- Depending on the composition of the biogas it can be a heavier gas compared to natural gas. Therefore it is proposed a biogas pipeline is not laid within a certain minimum distance from buildings to mitigate the risk of biogas entering the building. In addition it is proposed that technicians in the trench are being alarmed in case of accumulation of heavier biogas at the bottom of the trench.

Samenvatting

Transport van ruw biogas, zal naar verwachting, de komende jaren steeds vaker voorkomen. Er is daarom behoefte aan richtlijnen voor het transport van ruw biogas, die de veiligheid bevorderen. Uiteraard dienen deze richtlijnen ruimte te bieden aan toekomstige biogasinitiatieven. Op basis van specifieke gevaren van biogas ten opzichte van aardgas zijn maatregelen voorgesteld. De maatregelen zijn gebundeld tot een voorstel voor een richtlijn voor het transport van biogas die gebruikt moet gaan worden als handvat voor vergunningverleners, leidingbeheerders en leidingeigenaren.

De vijf specifieke gevaren bij het transport van biogas ten opzichte van aardgas zijn:

- De negatieve effecten van biogascomponenten op de integriteit van de leidingmaterialen,
- De toxiciteit van componenten in het biogas,
- De aanwezigheid van schadelijke micro-organismen,
- De andere geur van biogas,
- De grotere dichtheid van biogas.

Aanbevolen wordt voor de aanleg en het beheer van biogasleidingen minimaal de maatregelen zoals voorgeschreven voor aardgasleidingen toe te passen. Deze maatregelen voor aardgasleidingen zijn gegeven in de normenserie NEN 7244 en de VIAG.

Daarnaast worden op basis van de vijf specifieke gevaren van biogas de volgende maatregelen voorgesteld die hieronder op hoofdlijnen beschreven staan:

Negatieve effecten op de materiaalintegriteit:

- Vooral vocht in het biogas leidt tot aantasting van leidingen en componenten in het net. Daarom wordt aanbevolen droog biogas te transporteren met een dauwpunt van -3°C of lager bij de maximale druk (Maximum Operating Pressure) in de biogasleiding en daarnaast een maximale concentratie van 800 ppm aan aromatische koolwaterstoffen en geen gecondenseerde hogere koolwaterstoffen toe te staan.

Toxiciteit:

- Waterstofsulfide is een toxische gascomponent die in hoge concentraties in biogas voor kan komen. De concentratie biogas in lucht die op basis van het explosiegevaar wordt toegestaan is gebruikt om de maximaal toelaatbare concentratie H_2S in het biogas te bepalen. Deze maximaal toegestane concentratie waterstofsulfide (H_2S) in het biogas bedraagt 160 ppm.

Aanwezigheid van micro-organismen:

- Het precieze gevaar van micro-organismen in biogas op de veiligheid is onbekend. Wel is bekend dat gedroogd gas veel minder micro-organismen bevat. Daarom wordt aanbevolen biogas te transporteren met een dauwpunt van -3°C of lager bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding.

Andere geur:

- Toevoegen van odoranten aan biogas is zinloos vanwege de geurmaskerende componenten in het biogas. Daarom wordt aanbevolen dat de leidingeigenaar omwonenden zal inlichten over de afwijkende geur.

Grotere dichtheid:

- Afhankelijk van de exacte samenstelling heeft biogas een grotere dichtheid dan aardgas en is dus zwaarder. Daarom wordt aanbevolen bij biogasleidingen een minimum afstand tot aan bebouwing te hanteren zodat de kans op het binnendringen van biogas wordt verkleind. Bovendien moeten monteurs in de sleuf worden gewaarschuwd bij ophoping van gas.

Begrippenlijst

Afkorting	Volledige naam	Omschrijving
AKW	Aromatische koolwaterstoffen	Voornamelijk benzeen, toluen en xyleen. Verbindingen die toxisch zijn en kunststof materialen kunnen aantasten en als verontreiniging in bepaalde bronnen voor biogas aanwezig kunnen zijn
BTX	Benzeen, Toluene, Xyleen	-
LEL	Lower Explosion Limit	De laagste concentratie van een brandbare damp in lucht waarbij verbranding kan plaatsvinden.
MAC waarde	Maximaal Aanvaardbare Concentratie van een stof.	De MAC waarde wordt in combinatie met de TGG gebruikt als maat voor de toxiciteit van stoffen.
NBNL	Netbeheer Nederland	Branchevereniging van Nederlandse netbeheerders.
MR	Ministeriële Regeling Gaskwaliteit	Het document waarin de kwaliteit van het in Nederland gedistribueerde aardgas beschreven staat.
POM	Polyoxymethyleen	Een kunststof die o.a. wordt toegepast in de componenten van aardgasnetten.
MOP	Maximum Operating Pressure	De maximale gebruiksdruk.
PVC	Polyvinylchloride	Een kunststof die o.a. wordt toegepast als leidingmateriaal in aardgasnetten.
(HD)PE	(High Density) Polyetheen	Een kunststof die o.a. wordt toegepast als leidingmateriaal in aardgasnetten.
RNB	Regionale Netbeheerder	(In de toekomst wordt deze term aangepast in Distributie Systeem Beheerder)
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie	-
SDR	Standard Dimension Ratio	De verhouding tussen wanddikte en diameter van een leiding.
TGG	Tijdgewogen Gemiddelde (meestal 8 uur)	Het gemiddelde van concentraties gedurende een bepaalde tijd.
THT	Tetrahydrothiofeen	Geurstof die aan aardgas wordt toegevoegd om het ruikbaar te maken.
UEL	Upper Explosion Limit	De hoogste concentratie van een brandbare damp in lucht waarbij verbranding kan plaatsvinden.
VIAG	Veiligheidsinstructie Aardgas	De set van veiligheidsinstructies die opgevolgd moeten worden wanneer er wordt gewerkt aan of vlakbij aardgasnetten.
WION	Wet Informatie-uitwisseling Ondergrondse Netten	Wet met als doel de graafschades te verminderen door voorafgaand aan graafwerkzaamheden gebiedsinformatie op te vragen.

Term	Definitie
Biogas	Gas uit duurzame bronnen dat niet is opgewerkt tot aardgaskwaliteit.
Biomethaan/ groengas	Biogas opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit.
Bowtie	De grafische representatie van de kwalitatieve risicoanalyse "Bowtie-methodiek" waarmee een beeld wordt verkregen van de aanwezige risico's en de bijbehorende maatregelen.

Dauwpunt	De temperatuur waarbij bij gelijkblijvende en heersende dampdruk condensatie optreedt.
Heersende druk	De gasdruk in de leiding.
Pig	Engelse benaming voor een prop of spons in de leiding waarmee deze aan de binnenzijde wordt gereinigd.

Inhoud

	Summary	1
	Samenvatting	2
	Begrippenlijst	3
	Inhoud	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doel	7
1.3	Randvoorwaarden	7
1.4	Scope van de richtlijn	8
1.5	Aanpak van het onderzoek	8
1.6	Opzet van het rapport	9
2	Eigenschappen en gevaren van biogas	10
2.1	Praktijkervaringen met biogasleidingen in Nederland	10
2.1.1	Biogasspecificaties	10
2.1.2	Ontwerp en Aanleg	11
2.1.3	Beheer	11
2.1.4	Overige opmerkingen	11
2.2	Bekende gevolgen van biogas op leidingmaterialen	11
2.2.1	Gevaren als gevolg van componenten in biogas	15
2.3	Toxiciteit van biogas	16
2.3.1	Gevaren als gevolg van toxische componenten in biogas	19
2.4	De aanwezigheid van micro-organismen	19
2.4.1	Gevaren als gevolg van micro-organismen in biogas	21
2.5	De geur van biogas	21
2.5.1	Gevaren als gevolg van de geur van biogas	22
2.6	Biogas en de verspreiding in bodem en lucht	22
2.6.1	Gevaren als gevolg van de grotere dichtheid van biogassen	23
3	Aanvullende maatregelen	25
3.1	Generieke Bowtie voor aardgastransport	25
3.2	Inwendige corrosie/aantasting	26
3.3	Toxiciteit	27
3.4	Aanwezigheid van micro-organismen	29
3.5	Ruikbaarheid	32
3.6	Dichtheid en verspreiding	35
3.7	Overige maatregelen die algemeen van toepassing zijn voor biogasleidingen	37
3.8	Keuze voor maatregelen	38

4	Conclusies en aanbevelingen	40
4.1	Conclusies	40
4.2	Aanbevelingen	41
5	Voorstel voor de richtlijn	42
5.1	Voorstel op te nemen maatregelen in richtlijn	42
5.1.1	Richtlijnen voor de specificaties van biogas in biogasleidingen	42
5.1.2	Richtlijnen voor de aanleg van biogasleidingen	42
5.1.3	Beheer	43
6	Referenties	45
I.1	Bijlage 1 – generieke Bowtie Netbeheer Nederland (d.d.2015-08-20)	47
I.2	Bijlage 2 – Additionele maatregelen uit de voorgestelde richtlijn voor transport van biogas (d.d.2016-1-26)	48

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Er is een toenemende belangstelling voor transport van biogas. Dit komt enerzijds door schaalvoordelen voor biogastoepassingen en anderzijds door de hoge kosten van het opwaarderen van biogas tot aardgaskwaliteit. Gasleidingen voor het transport van biogas (hierna genoemd biogasleidingen) komen als gevolg daarvan meer in de belangstelling te staan. Omdat de biogasleidingen niet onder de Gaswet vallen bestaan er vrijheidsgraden op het gebied van gaskwaliteit, ontwerp, aanleg en beheer en is er geen toezicht op de veiligheid door het SodM. Echter de netbeheerders voelen zich, vanuit hun verantwoordelijkheid voor veilig en betrouwbaar transport en distributie van aardgas, wel (mede)verantwoordelijk voor een verantwoord ontwerp, aanleg en beheer van biogastransport. Daarom denken de netbeheerders mee over richtlijnen voor het transport van biogas. Vanuit de betrokken ministeries zijn de netbeheerders hiertoe ook concreet verzocht.

In maart 2012 is door de netbeheerders een conceptspecificatie voor het transport van biogas opgesteld. Netbeheer Nederland heeft Kiwa Technology opdracht gegeven met gebruik van alle bestaande informatie een voorstel voor een richtlijn voor het transport van biogas op te stellen.

1.2 Doel

Het doel van dit project is te komen tot een voorstel voor een breed gedragen uniforme richtlijn voor het veilig transporteren van biogas dat niet is opgewerkt tot aardgaskwaliteit en afkomstig is uit biomassa(rest)stromen).

Dit rapport moet als, onderdeel van het komen tot een uniforme richtlijn, antwoorden geven op de volgende inhoudelijke vragen:

- (i) Moet het biogas, net zoals aardgas, ruikbaar worden gemaakt ten behoeve van de alarmfunctie?
- (ii) Wat zijn bij vrije uitstroom en lekkages de gevolgen van de giftigheid van biogascomponenten zoals:
 - Zwavelwaterstof,
 - Ammoniak,
 - CO₂,
 - Overige niet gecontroleerde stoffen,
 - Veiligheidsrisico van bacteriën, sporen en virussen in het biogas.

Daarnaast geldt dat veiligheid de hoogste prioriteit blijft hebben, echter de maatregelen moeten zo min mogelijk een (financiële of technische) drempel opwerpen voor potentiële biogas initiatieven.

1.3 Randvoorwaarden

Belangrijke randvoorwaarden zoals gesteld in de conceptspecificaties voor transport van ruw biogas (versie 15 maart 2012) zijn in dit onderzoek overgenomen en aangevuld, en hieronder samengevat. De voorgestelde maatregelen:

- gelden voor gas dat afkomstig is uit vergisting van biomassa(rest)stromen en dat niet (volledig) opgewaardeerd is tot aardgaskwaliteit.
- zijn aanvullend op de normen voor de distributie van aardgas (NEN 7244) en bestaande veiligheidsinstructies voor werken met aardgas (VIAG), met als doel een veiligheidsniveau te realiseren dat gelijkwaardig is aan dat van aardgas.
- zijn minimaal van toepassing vanaf het punt waar het biogas wordt ingevoerd in de biogasleiding tot aan het punt waar het biogas de biogasleiding verlaat.

- hebben betrekking op het transport van biogas. Distributie van biogas naar woningen of gebouwen valt buiten de scope. Biogasleidingen worden verondersteld altijd hogedruk leidingen (≥ 200 mbar) te zijn.
- zijn van toepassing op de aanleg en beheer van de leidingen. Richtlijnen voor amoveren, dan wel saneren zijn niet opgenomen, maar op termijn wel van belang.

1.4 Scope van de richtlijn

De richtlijn is een handreiking voor vergunningverleners die in de praktijk aanvragen voor biogasleidingen moeten beoordelen, als ook voor biogasleidingeigenaren en biogasleidingbeheerders.

De richtlijn heeft betrekking op het transport van biogas door middel van een biogasleiding. Aansluiten van kleinverbruikers valt buiten de scope van deze richtlijn. In geval van aansluiten van kleinverbruikers is een extra risico-inventarisatie met bijbehorende maatregelen noodzakelijk.

De producent en verbruiker van het biogas vallen buiten de systeemgrens van het transport. Vanwege de impact die de biogaskwaliteit op het transport kan hebben wordt de kwaliteit van het biogas ook in het voorstel voor de richtlijn benoemd. Deze richtlijn is daarmee van toepassing op het ontwerp, de aanleg en het beheer van nieuwe biogasleidingen en de kwaliteit van biogas.

Biogas ontstaat bij de anaerobe vergisting van dierlijke en/of plantaardige massa. De richtlijn heeft betrekking op biogas van hoofdzakelijk mono-mestvergisters (agrarisch), vergisters van organische massa, en vergisters bij RWZI's (rioolwaterzuiveringsinstallaties). Nieuwe initiatieven voor biogasproductie van vuilstortplaatsen worden in de toekomst niet meer voorzien.

Syngas dat ontstaat bij de vergassing van biomassa wordt voor deze richtlijnen uitgesloten. Syngas bestaat voornamelijk uit waterstof (H_2) en koolmonoxide (CO). In dit gas kunnen ook BTX'en voorkomen. Het transport van syngas brengt andere risico's met zich mee zodat ook andere richtlijnen nodig zijn. Dit geldt eveneens voor gas uit torrefactie.

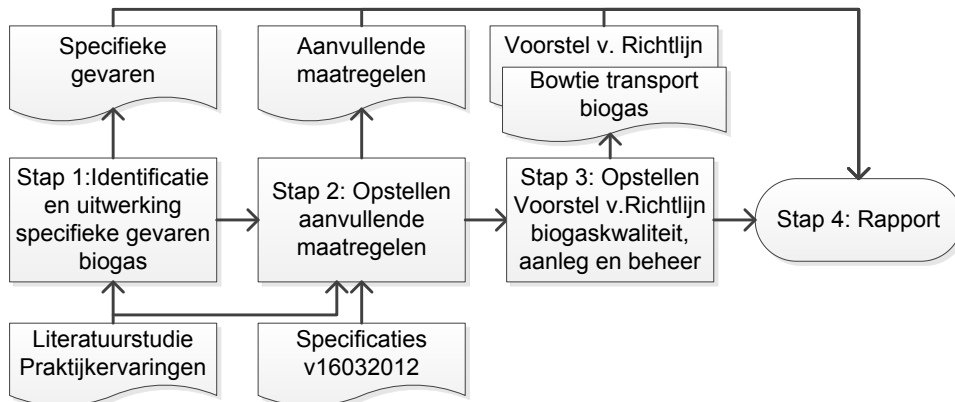
1.5 Aanpak van het onderzoek

Om tot richtlijnen voor het transport van ruw biogas te komen worden vier stappen gezet.

1. Het bepalen van de specifieke gevaren van het transport van biogas ten opzichte van het transport van aardgas.
2. Het opstellen van aanvullende maatregelen.
3. Opstellen van een voorstel voor de richtlijn.
4. Opstellen van een rapport met daarin de maatregelen en de onderbouwing hier van.

De vier stappen met de bijbehorende aanpak zijn hieronder schematisch weergegeven.

Voor het opstellen van de gevaren en maatregelen is gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. Daarnaast is informatie ingewonnen bij beheerders van bestaande en nog aan te leggen biogasleidingen.



Figuur 1: Opzet van het onderzoek om te komen tot een voorstel voor richtlijnen voor transport van biogas.

In dit rapport staan de specifieke gevaren van biogas ten opzichte van aardgas, de maatregelen die daar tegen genomen kunnen worden en een voorstel voor een richtlijn met betrekking tot biogaskwaliteit, aanleg van biogasleidingen en het beheer van biogasleidingen.

1.6 Opzet van het rapport

In hoofdstuk twee worden de gevaren van biogas ten opzichte van aardgas beschreven. De onderbouwing van deze gevaren en de kennis is verzameld uit diverse literatuurbronnen. Daarnaast bevat hoofdstuk twee een beknopt overzicht van de huidige praktijk van het ontwerp en het beheer van biogasleidingen. De aanvullende maatregelen voor de specifieke gevaren voor het transport van biogas zijn in hoofdstuk drie beschreven. Hoofdstuk vier geeft een overzicht van de conclusies en aanbevelingen die uit deze studie volgen. Ten slotte staat in hoofdstuk vijf het voorstel voor de in de richtlijn op te nemen maatregelen.

2 Eigenschappen en gevaren van biogas

Bij het opstellen van richtlijnen voor het transport van biogas vormen de wettelijke vereisten voor het transport van aardgas het uitgangspunt. De verschillen tussen biogas en aardgas zijn het startpunt voor het definiëren van aanvullende maatregelen waaruit de richtlijnen worden afgeleid.

De eigenschappen van biogas en de verschillen met aardgas, waaruit gevaren kunnen voortkomen, zijn onderverdeeld in de categorieën:

- gevolgen van biogas op leidingmaterialen,
- toxiciteit van biogas,
- de aanwezigheid van micro-organismen,
- de geur van biogas en,
- de verspreiding van biogas.

Biogas kan uit diverse bronnen gewonnen worden en een grote variatie in samenstelling hebben. In de scope van dit rapport zijn deze bronnen teruggebracht tot mono-mestvergisting, vergisting van organisch materiaal en biogas van RWZI's.

Op dit moment worden in Nederland al enkele biogasleidingen geëxploiteerd. De praktijkervaring met het ontwerp en beheer zijn hieronder samengevat.

2.1 Praktijkervaringen met biogasleidingen in Nederland

Bij vijf partijen¹ is geïnformeerd naar de praktijkervaringen met biogasleidingen. Dit betreft zowel projectplannen als gerealiseerde projecten variërend van één tot twintig jaar oud. Niet alle leiding zijn nog operationeel. Met de partijen is gesproken over de biogaskwaliteit, het ontwerp, de aanleg en/of het beheer van biogasleidingen. In de meeste gevallen is de onderneming die de biogasleiding aanlegt, ontwerpt en/of beheert een zelfstandige onderneming voortgekomen uit een regionale gasnetbeheerder.

2.1.1 Biogasspecificaties

In de praktijk hanteren de verschillende projecten een verschillend dauwpunt. Deze liggen uiteen tussen 6 °C en – 3 °C bij heersende druk tot -3 °C bij 8 bar. Aan deze laatste eis is door de biogasproducent in dat praktijkgeval soms lastig te voldoen maar het veroorzaakt geen vocht in de leiding. Bij een waterdauwpunt van 6 °C bij heersende druk is wel sprake van vocht in de leiding waardoor deze leiding maandelijks gedroogd moeten worden.

Over het algemeen worden minimaal de biogas-specificaties gesteld zoals vermeld in de conceptspecificaties van NBNL van 15 maart 2012 [XXXVIII].

In de praktijk blijkt dat de biogasspecificaties zoals afgesproken tussen producent en afnemer van het biogas ook minimaal voldoen aan de specificaties die voor het beheer zijn gesteld.

Bij een enkel toekomstig project zijn tussen producent en afnemer afspraken gemaakt om alle zwavelcomponenten voorafgaand aan het transport te verwijderen. In dit geval wordt het gas waarschijnlijk geurloos, en daarom mogelijk geodoriseerd. Echter bij de meeste projecten worden niet alle zwavelcomponenten en andere geurende componenten verwijderd. In die gevallen wordt het biogas niet geodoriseerd omdat het van zichzelf al een geur heeft.

Met betrekking tot de gaskwaliteit heeft de beheerder van de biogasleiding meestal inzicht in de specificaties die de producent meet.

¹ Er is gesproken met medewerkers van Fudura, Alliander DGO, Rendo, Cogas en Groot Zevent Vergisting.

2.1.2 Ontwerp en Aanleg

De lengte van de biogasleidingen varieert tussen de 3 en 17 km. De maximale druk in de verschillende leidingen varieert tussen de 500 mbar en 4 bar. Eén en ander is afhankelijk van de afspraken tussen de producent en de afnemer.

Het materiaal van de leidingen is in alle gevallen van de kunststof HDPE. In de meeste gevallen is dit PE100 SDR11.

In enkele gevallen wordt op de leiding vermeld 'biogas' en is de leiding anders gemarkeerd dan een gasleiding. Bijvoorbeeld door oranje of groene strepen op een zwarte buis.

In enkele gevallen zijn in- en uittredepunten (zogenaamde 'opkomers') voor pigs en/of sifons ingebouwd om vocht op te kunnen vangen en de leiding te kunnen reinigen of drogen. Deze maatregelen worden in de praktijk niet altijd gebruikt en gelden als voorzorgsmaatregel. Eén en ander is in dat geval afgesproken met de leidingeigenaar op grond van een aanbeveling van de toekomstig biogasleidingbeheerder.

De meeste leidingen bevatten meer afsluiters dan vereist volgens de NEN 7244. In de meeste gevallen is er een calamiteitenafsluiter aan het begin en einde van de leiding op openbare grond. In enkele gevallen kan de biogasleidingbeheerder op afstand de invoedingsafsluiter bij de producent bedienen.

De leiding wordt vaak dieper gelegd dan minimaal gevraagd wordt in regelgeving. Er wordt gebruik gemaakt van een waarschuwingsslint boven de leiding op ongeveer 30 cm onder het maaiveld. In een enkel geval ligt er ook een kunststofband boven de leiding. Beide maatregelen moeten schade door onzorgvuldig graven verminderen. Eén en ander is ook afhankelijk van het bedrijfsbeleid van regionale netbeheerders additioneel aan de voorschriften in de NEN 7244.

Bij twee projecten wordt (deels) gewerkt met bovengrondse markering van bijvoorbeeld richtingsveranderingen, sifons of afsluiters). In één geval is langs de biogasleiding ook een glasvezelkabel gelegd. In een enkel geval is specifiek met netbeheerders van andere infrastructuren afgestemd dat er een biogasleiding wordt gelegd.

De tracés van de biogasleidingen lopen zowel binnen als buiten de bebouwde kom.

2.1.3 Beheer

Naast de standaardregistratie van leidingen binnen de WION wordt in een aantal gevallen de biogasleiding additioneel bij het Kadaster aangemeld als 'Eis Voorzorgsmaatregel'. Voorafgaand aan graafwerkzaamheden kunnen in dat geval door de netbeheerder extra maatregelen aan de graver worden opgelegd. Afhankelijk van de biogasspecificaties wordt het lekzoeken uitgevoerd met aangepaste apparatuur en een aangepast lekzoekinterval (maximaal één keer per jaar). Afhankelijk van de biogasspecificaties zijn er ook aangepaste werkinstructies. In alle gevallen wordt de bestaande calamiteitenorganisatie van de RNB gebruikt. Als onderdeel van het calamiteitenplan wordt in enkele gevallen gesproken over het inlichten van gemeente en hulpdiensten over de afwijkende situatie. Eén biogasleidingbeheerder houdt ook een jaarlijkse oefening.

2.1.4 Overige opmerkingen

Biogasleidingen kunnen bij het Kadaster alleen worden aangemerkt als aardgasleiding. Dit kan verwarring veroorzaken. Daarnaast zijn over de kleur en markering van de biogasleiding geen landelijke afspraken gemaakt.

2.2 Bekende gevolgen van biogas op leidingmaterialen

De invloed van (ruw) biogas op materialen is afhankelijk van de samenstelling van het gas. In tabel 1 is een beknopte vergelijking gemaakt tussen de samenstelling van Groningen aardgas en dat van (ruw) biogas afkomstig uit een vergisting van 100% organische biomassa of mono-mestvergisting, vergisting op een RWZI of stortgas.

Tabel 1: Samenstelling aardgas in vergelijking met (ruw) biogas afkomstig uit vergisterinstallaties of stortgas.

Chemische stof	Groningen – gas [xxxix]	(ruw) Biogas uit vergisting [ii] [xl][xli]	Eenheid
Waterstofsulfide (H_2S)	0,1	max. 4 000	mg/m ³ (n)
Odorant (THT)	18	-	mg/m ³ (n)
Chloor houdende verbindingen	max. 0,1	max. 600	mg/m ³ (n)
Fluor houdende verbindingen	max. 0,1	max. 600	mg/m ³ (n)
Ammoniak (NH_3)	max. 0,1	max. 100	ppm
Waterstof chloride (HCl)	max. 1,0	Sporen (ppb)	ppm
Waterstof cyanide (HCN)	max. 1,0	Sporen (ppb)	ppm
Koolstof monoxide (CO)	max. 100	geen	ppm
Koolstofdioxide (CO_2)	max. 0,9	max. 55	mol%
Aromatische koolwaterstoffen	max. 800	max. 2000	ppm
Zuurstof (O_2)	max. 0,01	max. 1000	ppm
Waterstof (H_2)	max. 0,1	max. 0,02	mol%
Siliconen houdende stoffen	geen	max. 500	mg/m ³ (n)

De maximale concentraties van sommige chemische stoffen in (ruw) biogas is anders dan Groningen aardgas. De invloed van deze verschillen zijn in het EDGaR programma [iii] onderzocht op de meeste voorkomende en kritische materialen die in het Nederlandse gasnet voor kunnen komen. Deze materialen zijn Polyvinylchloride (PVC), Polyetheen (PE), rubber (NBR en SBR), Polyoxymethyleen (POM), staal (St), koper (Cu) en aluminium (Al).

Uit het EDGaR programma komt naar voren dat het transporteren van (ruw) biogas drie gevaren kent.

Het eerste gevaar heeft te maken met de veiligheid van de mens die aan het biogasdistributienet werkt. Met name de chemische stoffen **H₂S**, **HCN** en **CO** zijn giftig, waardoor de mens gevaar kan lopen bij blootstelling, zelfs bij kortstondige blootstelling. Dit geldt met name voor waterstofsulfide (H_2S) dat in biogas uit (mono mest)vergisting veel voor kan komen. Volgens de literatuur heeft de hoogste gemeten concentratie van H_2S in ruw biogas een waarde van 4300 mg/m³ (=3085 ppm). Dit niveau aan H_2S is te giftig om in de Nederlandse gasdistributienet toe te staan. De Nederlandse gasdistributiebedrijven hebben besloten dat een concentratie van 100 maal de MAC waarde van H_2S in transportnetten voor aardgas aanvaardbaar is. De MAC waarde (8 uur) van H_2S is 1,6 ppm. Daarom is besloten vanwege veiligheidsredenen de effecten van 160 ppm H_2S op het gasdistributiemateriaal te onderzoeken en dus niet bij de maximaal voorkomende H_2S concentraties in (ruw) biogas [ii]. Voor meer informatie over de toxiciteit zie paragraaf 2.3.

De andere twee gevaren van het transport van (ruw) biogas hebben te maken met de integriteit van het gasdistributienet. In tabel 2 worden de invloeden van de verschillende gassen op de materialen weergegeven. In veel gevallen is er geen gevaar voor de integriteit van de gebruikte materialen in het gasdistributienet. Dit is aangegeven met de groene en lichtgroene vlakken. De gevaren voor de materiaalintegriteit zijn de aanwezigheid van water en de aanwezigheid van hoge concentraties aan aromatische koolwaterstoffen en waterstof in biogas.

Tabel 2: De gevolgen van verschillende gascomponenten op materialen die in het gasdistributienet voorkomen [IV][V].

	H ₂ S	Mercaptanen	Odorant	Ammoniak	Chloor houdende verbindingen	Fluor houdende verbindingen	HCl	H ₂ N	CO	CO ₂	Aromatische koolwaterstoffen	O ₂	H ₂	Siliconen houdende verbindingen	
PVC	niet (tot 160 ppm)	niet waarschijnlijk		niet			niet waarschijnlijk		onbekend	niet	niet, behalve als vloeistof	niet	niet (tot 20 mol%)	niet	
PE	niet (tot 160 ppm)	niet waarschijnlijk		niet			niet waarschijnlijk		onbekend	niet	niet, behalve als vloeistof	niet	niet (tot 20 mol%)	niet	
NBR	niet (tot 160 ppm)	niet waarschijnlijk		niet			niet waarschijnlijk		niet		niet, behalve als vloeistof		niet		
SBR	niet (tot 160 ppm)	niet waarschijnlijk		niet			niet waarschijnlijk		niet		niet, behalve als vloeistof		niet		
POM	niet (tot 160 ppm)	niet waarschijnlijk		niet			water		onbekend	niet	niet waarschijnlijk			niet	
St	water en CO ₂ water, CO ₂ en O ₂	niet waarschijnlijk						met H ₂ S en water: waarschijnlijk		onbekend	water en H ₂ S water, (H ₂ S) en O ₂	niet waarschijnlijk	water, (H ₂ S) en CO ₂		niet
Cu	water en CO ₂ water, CO ₂ en O ₂	niet waarschijnlijk		niet (met water tot 50 ppm)			niet waarschijnlijk		onbekend	water en O ₂ water, H ₂ S en O ₂	niet waarschijnlijk	water en CO ₂ water, H ₂ S en CO ₂	niet (tot 20 mol%)	niet	
Al	water en CO ₂ water en O ₂	niet waarschijnlijk		niet			niet waarschijnlijk		onbekend	niet	niet waarschijnlijk	niet water en H ₂ S	niet (tot 20 mol%)	niet	

	=	Het effect is onbekend, maar is naar alle waarschijnlijkheid niet aanwezig.
	=	Deze component heeft bij de maximale aanwezig concentratie geen effect
	=	Het effect is onbekend.
	=	Schadelijke effecten worden verwacht onder sommige omstandigheden.

Koolwaterstoffen

Voorbeelden van hogere koolwaterstoffen die in biogas voor kunnen komen zijn limonenen of terpenen die ontstaan bij de vergisting van biomassa zoals sinaasappelschillen of coniferen.

Indien hogere koolwaterstoffen in vloeibare vorm in het biogas voorkomen kan de integriteit van bepaalde materialen in het netwerk worden aangetast. Dit is met name te zien bij PVC, PE en de rubber (NBR en SBR). Door blootstelling aan hogere koolwaterstoffen gaan dergelijke kunststoffen verweken, waardoor ze eerder falen. Doordat de concentratie aan hogere koolwaterstoffen in potentie in biogassen hoger kan zijn dan in aardgas is dit een gevaar waarmee rekening moet worden gehouden. Voor hogere koolwaterstoffen is de limiet in de Ministeriële Regeling Gaskwaliteit (MR) [I] voor groengas gesteld op kleiner dan 5 mol% propaanequivalent. Tevens geldt de eis dat er niet meer dan 80 milligram gascondensaat per m³ bij -3 °C en heersende druk mag vormen.

Daarnaast kunnen als verontreiniging aromatische koolwaterstoffen voorkomen. Dit betreft met name stortgas en biogas van RWZI's. Voorbeelden van aromatische koolwaterstoffen zijn: benzeen, toluen en xyleen. Uit het EDGaR onderzoek volgt dat de limiet tot aantasting van de materiaalintegriteit voor aromatische koolwaterstoffen ligt op 800 ppm.

Waterstof

Waterstof zal bij mono-mestvergisting, maar ook bij biogas uit anaerobe vergisting van organisch materiaal, RWZI's en stortgas, niet in grote hoeveelheden voorkomen. De gestelde grens van 20 mol% waterstof zoals weergegeven in tabel 2 is afgeleid uit een praktijkonderzoek uitgevoerd door Kiwa Technology in opdracht van Stedin [VII] waarbij de effecten van bijmenging van waterstof in aardgas op de integriteit van de distributiematerialen PVC, PE, koper en aluminium is getest tot 20 mol%. In het onderzoek is geconstateerd dat negatieve effecten van 20 mol% waterstof op de integriteit van de gasdistributiemateriaal verwaarloosbaar zijn.

Tot 30 mol% toevoeging aan aardgas heeft een marginaal effect op de risico's van een gasexplosie. De onderste explosiegrens blijft min of meer gelijk [XXXIV].

Het is bekend dat H₂ veel sneller door de buiswand permeëert dan CH₄ maar dit vormt in dit geval geen aanvullend gevaar.

Vocht

De combinatie van vocht en bepaalde componenten in biogas kan tot gevolg hebben dat bepaalde materialen in het netwerk gaan corroderen of degraderen. Dit is met name te zien bij de metalen (staal, koper en aluminium) en POM (zie rode vlakken in de tabel). Water in combinatie met biogas zorgt ervoor dat de metalen sneller gaan corroderen dan water in combinatie met aardgas. Dit komt met name door de hogere concentraties aan H₂S, CO₂ en O₂ in biogas. Indien vocht niet aanwezig is in biogas zijn deze gevolgen niet te verwachten.

PE is ongevoelig voor vocht, tenzij dit vloeibare hogere koolwaterstoffen betreft.

Vanuit het oogpunt van materiaalintegriteit hoeft vocht in biogasleidingen van PE geen probleem te zijn en de technische levensduur negatief te beïnvloeden als de juiste beheersmaatregelen worden genomen. Bij normaal beheer wordt vocht gesignaleerd als eerste maatregel waarna andere maatregelen volgen. Dit geldt niet voor leidingen van staal.

De biogasleidingen liggen minstens 80 cm diep. De grondtemperatuur in Nederland op deze diepte komt bij een gemiddelde winter niet lager dan ongeveer +3 °C op een diepte van 90 cm. Theoretisch gezien kan een voorgeschreven dauwpunt van +3 °C bij de maximale druk in de leiding dus voldoende zijn voor een droog net gedurende het grootste deel van het jaar. In strenge winters kan mogelijk vocht ontstaan wat bij een temperatuurverhoging weer zal verdampen.

Het toepassen van sifons en piggingstations kunnen eventueel maatregelen zijn om het vocht op dat moment te verwijderen en de leiding weer schoon te maken. In Denemarken is het getransporteerde biogas vochtig. In de biogasnetwerken worden ongeveer om de kilometer sifons toegepast. Het vocht uit de sifons wordt met regelmaat afgezogen en per truck teruggebracht naar de productieplek en toegevoegd aan het productieproces. De afkoeling van het gas en de condensatie is het grootst in de eerste paar kilometer van de leiding na het invoedingspunt. [XXII] In de Duitse norm voor biogasleidingen wordt ook aangegeven rekening te houden met vocht, vochtverzameling en het schoonmaken van de leiding. [XXIII]

Vocht in de leiding kan wel grote gevolgen hebben voor de afnemer van het biogas. Dit geldt zeker voor biogasleidingen op hogere drukken.

Om de kans op vocht door condensatie te verkleinen moet een dauwpunt lager dan +3 °C bij de maximale druk in de leiding worden gehanteerd. Geadviseerd wordt een dauwpunt van -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding aan te houden in lijn met de conceptspecificaties voor transport van biogas opgesteld in 2012 [XXXVIII].

Zuurstof

In de regel wordt al het zuurstof in de vergister verbruikt. Als de vergisting onvolledig is geweest, als extra zuurstof wordt toegevoegd om zwavel te verwijderen of als naderhand zuurstof wordt aangezogen kan er zuurstof in het biogas aanwezig zijn.

Zuurstof zorgt in combinatie met water en/of H₂S en CO₂ voor versnelde corrosie. Een zeer hoog gehalte aan zuurstof in het biogas zou daarnaast tot een explosief mengsel kunnen leiden.

In de MR gaskwaliteit wordt een eis gesteld van 0,5% zuurstof voor regionale en transportnetwerken. De PrEN 16726 (concept Europese norm) Gas Infrastructure - Quality of gas – Group H, stelt een eis aan de maximale hoeveelheid zuurstof van 1%. In beide gevallen moet het gas droog zijn.

Bij aanwezigheid van vocht kan zuurstof corrosie veroorzaken.

Ammoniak

Ammoniak heeft geen negatieve effecten op de materiaalkwaliteit in geval van droog gas.

In de aanwezigheid van vocht mag maximaal 50 ppm (36 mg/m³) NH₃ voorkomen [IV][V][VI].

Specifieke componenten in biogas uit RWZIs en stortgas

Mogelijk dat in stortgas en gas uit RWZI's nog halogenen, aromatische koolwaterstoffen, terpenen en siloxanen (silicium houdende verbindingen) kunnen voorkomen. [XXXVI] [XXXVII]

Deze componenten hebben geen effecten op de materiaalintegriteit, tenzij zij als condensaat in de leiding voorkomen.

2.2.1 Gevaren als gevolg van componenten in biogas

Uit de EDGaR onderzoeken [IV][V][VI] komen de volgende aanbevelingen naar voren. Hierbij is een opsplitsing gemaakt naar twee situaties: vocht (of water) komt niet in de biogasleiding en vocht (of water) komt wel voor in de biogasleiding.

Indien geen vocht in de leiding voorkomt zijn geen effecten op de materiaalintegriteit te verwachten bij de volgende grenswaarden.

- Maximaal 800 ppm aromatische koolwaterstoffen
- Geen vloeibare koolwaterstoffen.
- Lage concentraties aan CO en HCN (zoals gesteld voor Groningen aardgas)
- Maximaal 160 ppm H₂S
- Maximaal 20 mol% H₂

Voor andere gascomponenten die in (ruw) biogassen zitten worden vanuit materiaalintegriteit geen grenswaarden gesteld.

Indien wel vocht in de leiding voorkomt zijn geen effecten te verwachten als de bovenstaande grenswaarden in combinatie met de onderstaande grenswaarden worden aangehouden.

- maximaal 34 ppm H₂S
- maximaal 10,3 mol% CO₂
- maximaal 0,01 mol% O₂
- maximaal 0,1 ppm HCl
- maximaal 50 ppm NH₃

Voor andere gascomponenten die in (ruw) biogassen aanwezig kunnen zijn worden vanuit materiaalintegriteit geen grenswaarden gesteld.

Uit tabel 2 blijkt dat met name het leidingmateriaal staal gevoelig is voor de combinatie van vocht en bepaalde gascomponenten. Maar dit geldt in bepaalde gevallen ook voor koper en aluminium. POM is gevoelig voor water in combinatie met HCl. Het is dus cruciaal dat het gas en het leidingsysteem droog zijn.

Bij toepassing van het materiaal PE maar ook voor de rubbers NBR en SBR wordt vanuit integriteitsoogpunt de limiet van 800 ppm aromatische koolwaterstoffen gesteld samen met de voorwaarde dat er geen vloeibare koolwaterstoffen aanwezig zijn. De limiet van 20 mol% H₂ geldt ook voor PE.

Uit een vergelijk tussen biogasnetwerken in Duitsland, Nederland, Frankrijk, Denemarken en Zweden blijkt dat PE het meest toegepaste leidingmateriaal is voor het transport en distributie van biogas [XXII]. Het wordt dan ook aanbevolen PE met gelaste verbindingen als leidingmateriaal toe te passen voor het transport van biogas. Volgens de NEN 7244-2:2014 is PE toelaatbaar tot een maximale bedrijfsdruk van 10 bar en ligt de bedrijfstemperatuur van PE tussen de -20 en +40 °C. De maximale toegepaste druk in de Nederlandse aardgasdistributienetten is 8 bar.

Bij kunststofleidingen is vermeld hoe de leiding te herkennen moet zijn als zijnde gasleiding (NEN 7244-2:2014). Gasleidingen dragen overigens geen opschrift over de inhoud en/of druk. Voor biogas is er op dit moment geen afspraak over de herkenbaarheid. In de praktijk is er op dit moment dan ook geen uniformiteit (zie paragraaf 2.1.2). Het wordt daarom aanbevolen dat een Nederlandse afspraak wordt gemaakt over de kleurstelling van biogasleidingen. Het opschrift 'biogas' kan, totdat er een Nederlandse afspraak is over markering van biogasleidingen, als extra waarschuwing een positief effect hebben

2.3 Toxiciteit van biogas

Binnen het EDGaR onderzoek 'C1 Safety' is een literatuurstudie uitgevoerd naar de toxiciteit van biogas uit de anaerobe vergisting van biomassa en afval.

Afhankelijk van de bron van het biogas zijn verschillende samenstellingen van biogas geïdentificeerd [VIII]. In de verschillende biogasbronnen en samenstellingen kunnen ook diverse toxische componenten in verschillende concentraties aanwezig zijn. Uit de literatuur blijkt dat (ruw) biogas uit stortplaatsen over het algemeen de hoogste concentraties toxische stoffen bevat (e.e.a. is afhankelijk van het afval dat in de loop van de tijd op de stortplaats terecht is gekomen).

De meest toxische componenten die zijn aangetroffen in biogassen uit vergisting of stortgas zijn:

- Waterstofsulfide,
- Fosfine,
- Waterstofchloride,
- Waterstofcyanide,
- Diverse halogeenkoolwaterstofverbindingen.

De toxiciteit van de aangetroffen componenten kan op verschillende manieren worden uitgedrukt maar is altijd afhankelijk van de combinatie van de concentratie toxische componenten in de lucht en de blootstellingsduur aan deze componenten. In de Veiligheidsinstructie aardgas (VIAG) [IX] wordt algemeen verplicht dat er drukloos gewerkt moet worden. Dit betekent dat "vrije gasuitstroom wordt voorkomen en dat er tijdens het werk (vrijwel) geen gas zal vrijkomen". In de VIAG wordt ook gesproken over de gevarezone. Dit is de ruimte/omgeving rond een gasvoerend systeem waar het gas-in-luchtmengsel $\geq 10\%$ van de onderste explosiegrens van het mengsel. Deze grens wordt 10% LEL genoemd en voorkomt het risico op ontsteking van het mengsel door de monteur.

In een drukloos systeem is de gasconcentratie kleiner dan 10% LEL, en mag er dus gewerkt worden. De grens van 10% LEL is daarmee ook een maat voor de maximale concentratie giftige componenten in het biogas waaraan een monteur tijdens werkzaamheden blootgesteld wordt.

Als een biogas-in-luchtmengsel tot een concentratie van 10% LEL niet toxisch is blijft daarmee ook het huidige veiligheidsregime voor distributie van aardgas geldig.

De grens van 10% LEL wordt bereikt bij een mengsel ongeveer 0,5% methaan in lucht. Dit komt overeen met een verdunningsfactor 200 van aardgas in lucht. In biogas zit, afhankelijk van de hoeveelheid kooldioxide, minder methaan. In een biogas dat bestaat uit 50% methaan en 50% kooldioxide wordt de 10% LEL bereikt bij een verdunningsfactor van 100.

Waterstofsulfide (H₂S)

H₂S heeft de karakteristieke geur van rotte eieren. Bij blootstelling van mensen aan H₂S wordt dit gas via de longen opgenomen en heeft het een negatief effect op het zenuw- en hartweefsel. De gemiddelde drempelwaarde voor de ruikbaarheid van dit gas is ongeveer 0,007 ppm. De tijdgewogen gemiddelde waarde (TGG) tot waarin 8 uur gewerkt mag worden bedraagt 1,6 ppm. Concentraties onder de 10 ppm zijn gedurende korte tijd (tot 15 minuten) ongevaarlijk voor gezonde mensen [XLII]. Vanaf 10 tot 20 ppm ontstaat oogirritatie. Het reukvermogen verdwijnt bij ongeveer 100 ppm waarna de geur van rotte eieren dus ook niet meer wordt waargenomen. Bij concentraties hoger dan 400 ppm ontstaan long- en ademhalingsproblemen. De dosis waarbij 50% van de populatie de dood vindt is vastgesteld op 800 ppm bij 5 minuten blootstelling [VIII].

In de literatuur staat beschreven dat in Nederland tot 400 ppm H₂S in biogas is aangetroffen. In buitenlandse literatuur worden biogasbronnen tot 4.000 ppm beschreven. Bij deze concentraties wordt de TGG 8 uur overschreden in een gaswolk die 100-voudig is verdund tot een waarde van 10% LEL.

Bij de EDGaR onderzoeken is afgesproken te werken met een maximale H₂S concentratie van 160 ppm (zie paragraaf 2.2). Een 100-voudige verdunding van dit gas levert een H₂S concentratie van 1,6 ppm op, oftewel de TGG 8 uur.

De overige genoemde toxische stoffen Fosfine, Waterstofchloride, Waterstofcyanide en diverse halogeenkoolwaterstofverbindingen komen in dermate lage concentraties voor dat er tot 10% LEL geen toxische effecten te verwachten zijn.

Naast deze toxische componenten komen ook nog de toxische gascomponenten kooldioxide en ammoniak voor in biogas.

Kooldioxide (CO₂)

CO₂ is een toxisch gas. De TGG 8 uur ligt op 0,5% (5.000 ppm) [XXIV].

De volgende effecten zijn te verwachten [XXV]:

Tabel 3: Toxische effecten van CO₂.

CO ₂	Effect
1%	Lichte versnelling van de ademhaling.
2%	Ademhaling versnelt tot 50% sneller dan in rust. Langdurige blootstelling kan leiden tot duizeligheid en vermoeidheid.
3%	Ademhaling kan tot twee maal sneller zijn. Gehoor kan afnemen en optreden van hoofdpijn.
4-5%	Ademhaling kan tot vier maal sneller zijn. Tekenen van vergiftiging worden duidelijk.
5-10%	Karakteristieke scherpe geur. Moeizame ademhaling, hoofdpijn, zicht- en gehooreffecten. Verminderd bewustzijn gevolgd door bewusteloosheid binnen enkele minuten.
50-100%	Bewusteloosheid treedt sneller op bij concentraties >10%. Langdurige blootstelling leidt uiteindelijk tot dood door verstikking.

Afhankelijk van de bron kan in biogas maximaal 55% CO₂ voorkomen. In een 100-voudige verdunde biogaswolk (10% LEL grens) wordt de maximaal aanvaardbare concentratie TGG 8 uur niet overschreden.

Ammoniak (NH₃)

Ammoniak heeft een TGG 8 uur van 20 ppm. Inhalatie heeft een effect op de luchtwegen wat uiteindelijk kan leiden tot vergiftiging. De TGG 15 min bedraagt 51 ppm. Afhankelijk van de biogasbron zijn concentraties tot 120 ppm in de literatuur beschreven [VIII]. Biogas dat 120 ppm (86,4 mg/m³) NH₃ bevat zal bij een 100-voudige verdunding (10% LEL grens) niet de maximale aanvaardbare concentratie TGG 8 uur overschrijden.

Verstikking door zuurstofverdringing

Ter vergelijking zijn de gevolgen van zuurstofverdringing door bijvoorbeeld methaan opgesomd. Door de verdringing ontstaat in het lichaam een zuurstoftekort en ophoping van CO₂ waardoor vitale organen uitvallen. Lucht bevat normaal gesproken 21% zuurstof. Als het zuurstof percentage daalt tot onder de 18% ontstaat een gevaarlijke situatie. In geval het percentage zuurstof daalt tot onder de 10% raakt men zonder waarschuwing bewusteloos, waarna hersenletsel optreedt en het slachtoffer overlijdt. Bij inademing van ongeveer twee teugen van een inert gas treedt al direct bewusteloosheid op.

Werken in de gevarezone en toevallige blootstelling aan biogas

In de tabel hieronder staat opgesomd wat kan gebeuren als een monteur tegen alle regels in werkt in de gevarezone. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de 10% LEL (onderste explosiegrens), UEL (bovenste explosiegrens) en 100% biogas.

In het onderstaande voorbeeld (zie tabel 4) wordt uitgegaan van een typisch geval met de volgende samenstelling van het biogas: 160 ppm H₂S, 50% CO₂, 50% CH₄, en 120 ppm NH₃.

Tabel 4: Effecten van werken in de veiligheidszone bij biogas.

Verdunning	Componenten in het biogas-lucht mengsel	Effecten
Factor 100	1,6 ppm H ₂ S 0,5% CO ₂ 1,2 ppm NH ₃ 20,79% O ₂ 10% LEL	-
Factor 10	16 ppm H ₂ S 5% CO ₂ 12 ppm NH ₃ 18,9% O ₂ 100% LEL	Verhoogde ademhaling door verminderde zuurstof en hogere concentratie CO ₂ Prikkende ogen en luchtwegen door H ₂ S Explosief mengsel!
Factor 3,33	48 ppm H ₂ S 15% CO ₂ 36 ppm NH ₃ 14,7% O ₂ UEL	Prikkende ogen en luchtwegen door H ₂ S, Verlaagde aandacht door gebrek aan zuurstof en vergiftiging door CO ₂ binnen enkele minuten. Explosief mengsel!
100% biogas	160 ppm H ₂ S 50% CO ₂ 120 ppm NH ₃ 0% O ₂	Verstikking na enkele ademteugen door gebrek aan zuurstof.

Uit de tabel volgt dat bij kortstondige blootstelling aan een wolk van biogas geen toxische effecten zijn te verwachten. Het grote gevaar voor de monteur is de zuurstofverdringing.

Zelfs bij blootstelling aan biogas in een explosief mengsel (100% LEL) worden de maximaal aanvaardbare concentraties bij een verblijftijd van acht uur niet overschreden. Het aanvullende gevaar van de toxische componenten H₂S en NH₃ bij de maximale concentraties van 160 ppm en 120 ppm is dus marginaal.

Ter vergelijking zijn in tabel 5 voor een aardgas-luchtmengsel per verdunningsfactor het zuurstofpercentage en de explosiegrens aangegeven.

Tabel 5: Effecten van werken in een veiligheidszone bij aardgas.

Verdunning	Componenten in het aardgas-lucht mengsel (100% methaan)	Effecten
Factor 200	20,90% O ₂ 10% LEL	Geen
Factor 100	20,79% O ₂ 20% LEL	Geen
Factor 20	19,95% O ₂ 100% LEL	Verhoogde ademhaling door verminderde zuurstof. Explosief mengsel!
Factor 10	18,9% O ₂	Verhoogde ademhaling door verminderde zuurstof. Explosief mengsel!
Factor 6,67	17,8% O ₂ UEL	Verhoogde ademhaling door verminderde zuurstof. Explosief mengsel!
100% aardgas	0% O ₂	Verstikking na enkele ademdeugen door gebrek aan zuurstof.

In geval van een lekkage vormt aardgas in lucht sneller een explosief mengsel dan biogas en is daardoor gevaarlijker. Een biogas-luchtmengsel kan weliswaar toxische gascomponenten bevatten maar zoals hierboven aangegeven zijn bij kortstondige blootstelling aan een biogas-luchtmengsel geen toxische effecten te verwachten. Dit geldt zowel voor de monteur als voor derden in de omgeving van een lekkage.

2.3.1 Gevaren als gevolg van toxische componenten in biogas

Biogas kan gascomponenten bevatten die toxisch zijn. Met name de aanwezigheid van waterstofsulfide brengt gevaren met zich mee en zorgt dus voor een groter gevaar van biogas op de veiligheid in vergelijking met aardgas. In mindere mate geldt dit ook voor ammoniak.

Het wordt daarom aanbevolen de maximale toegestane concentratie H₂S in het biogas te limiteren op 160 ppm, en de maximale toegestane concentratie NH₃ te limiteren op 120 ppm.

Met deze beide maximale concentraties in combinatie met het drukloos werken aan biogasleidingen zoals voorgeschreven in de VIAG is er tot 10% LEL, geen *acuut toxisch effect* te verwachten voor de personen die kortstondig aan een biogas-luchtmengsel worden blootgesteld. Ook voor derden zijn er bij toevallige blootstelling door bijvoorbeeld een lekkage geen toxische effecten te verwachten.

Onderhouds-, storings- en hulpdiensten moeten worden ingelicht over de aanwezigheid van H₂S en de gevaren hiervan zodat calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen kunnen worden aangepast.

Het kan nooit helemaal uitgesloten worden dat een monteur wordt blootgesteld aan hogere concentraties H₂S dan 1,6 ppm, bijvoorbeeld tijdens een calamiteit. In dat geval is naast het gebruik van een H₂S detector de beschikking over een vluchtmasker een tweede maatregel om de veiligheid te borgen.

2.4 De aanwezigheid van micro-organismen

De risico's van micro-organismen in biomethaan (biogas opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit) zijn beschreven in een GERG studie [XVII]. In deze studie zijn de risico's van schadelijke micro-organismen (bacteriën, schimmels, archaea, protozoa en virussen) vergeleken met de risico's van de aanwezigheid van micro-organismen in aardgas.

Hiervoor is de gehele keten van vergisting van biomassa tot en met eindverbruik beschouwd. In het geval van biomethaan zijn de gevaren ten opzichte van aardgas beperkt omdat er in de keten diverse maatregelen genomen zijn.

Voorbeelden van deze maatregelen zijn:

- Selectie van biomassa
- Voorbehandeling van biomassa
- Een gecontroleerd vergistingsproces
- Drogen van het productgas
- Filtratie
- Een droog gasnet

In het GERG rapport wordt gemeld dat er nog hiaten zijn in de kennis over micro-organismen in biomethaan. Dit gaat met name over kennis over de soort micro-organismen in biomethaan.

Op grond van de beschikbare kennis wordt geconcludeerd dat er geen reden is om aan te nemen dat er een sterk verhoogd risico in de gasketen is op gezondheidseffecten door de aanwezigheid van micro-organismen, ten opzichte van aardgas. Deze conclusie wordt onderbouwd door onderzoek in Nederland, Zweden, Duitsland en de Verenigde Staten [XVIII] [XIX] [XX] [XXI].

Biogas zal in de regel niet door kleinverbruikers worden afgenomen, maar eerder in productie-installaties als WKK's en industriële branders.

Onderzoek door het RIVM aan stortgas en biogas heeft aangetoond dat conform de richtlijnen voor microbiologische veiligheid van drinkwater maximaal 1 hazard per 0,4 m³ biogas (2,5 cel/m_N³) mag voorkomen. Een manier om het aantal micro-organismen in gas te verminderen is het toepassen van een HEPA-filter. [XXXV]

Onderzoek heeft aangetoond dat ook in groengas in enkele gevallen micro-organismen voorkomen. In groengas vóór het HEPA-filter zijn bacteriën (3,9*10³ cellen/m_N³) en Eukarya (1,0*10³ cellen/m_N³) aangetroffen. Eukarya worden in het bijzonder aangetoond in ruw biogas dat ontstaat bij vergisting van GFT en/of dierlijk materiaal. Afgezet tegen de grenswaarde is dit een overschrijding met een factor 2.000. Invoeding van groengas in aardgas kan dan ook naar maatstaven van de norm voor micro-organismen in drinkwater een risico voor de eindgebruiker met zich meebrengen. [XXXI]

Overigens is in dit onderzoek ook ontdekt dat de hoeveelheid aangetoonde micro-organismen in aardgas toeneemt van "put tot pit" tot een hoeveelheid van 1,3*10³ tot 28*10³ cellen per m_N³. Deze toename wijst erop dat bijvoorbeeld werkzaamheden aan een leiding ook tot de aanwezigheid van micro-organismen in aardgas kunnen leiden. Drogen van gas is een maatregel tegen de aanwezigheid van micro-organismen, daarnaast wordt in het rapport aanbevolen om in de Aansluitvoorwaarden ook een filter te eisen dat deeltjes in het groengas af kan vangen. In hetzelfde onderzoek wordt ook geconcludeerd dat over de microbiologische samenstelling van biogas nog te weinig bekend is. [XXXI]

In 2012 is opdracht van RENDO onderzoek gedaan naar micro-organismen in een door hen beheerde ruw biogasleiding. In het onderzoek is bepaald welke micro-organismen voorkomen in het ruw biogas vlak na de vergister, het condensaat van hetzelfde ruwe biogas en in de leiding waardoor het getransporteerd wordt. Het biogas in de leiding was overigens droog. Op alle drie de plekken zijn micro-organismen (bacteriën en schimmels) aangetoond. De meeste in het ruwe biogas en in het condensaat (respectievelijk 4,8*10³ en 4,0*10³ cellen/m_N³). Onderzoek naar de eigenschappen heeft aangetoond dat de bekende aanwezige micro-organismen niet gevaarlijk zijn. Bij een aantal onbekende bacteriën wordt het risico voor de gezondheid laag ingeschat. In het algemeen werd geconcludeerd dat er geen additionele gezondheidsrisico's bestonden voor de medewerkers. Volgens de onderzoekers zijn geen aanvullende voorzorgsmaatregelen nodig voor het werken aan dit soort leidingen naast de normale hygiënische procedures. Dit betreft het vermijden van direct contact, handschoenen dragen en handen wassen. [XXXII]

In de RENDO veiligheidsworkinstructie voor biogasleidingsystemen zijn o.a. maatregelen beschreven om oog- en huidcontact met biogas te vermijden evenals

inademing. Daarnaast moet aangetroffen vocht worden behandeld als zijnde giftig en bacteriologisch verontreinigd. [XXXIII]

2.4.1 Gevaren als gevolg van micro-organismen in biogas

De aanwezigheid van micro-organismen in biogas kan een extra gevaar zijn ten opzichte van distributie van aardgas, hoewel hierover nog niet veel bekend is. Het additionele gevaar van micro-organismen in aardgas is gebaseerd op het gevaar voor de eindverbruiker van het aardgas. Transport van biogas brengt in dat opzicht minder gevaar met zich mee omdat dit niet wordt gedistribueerd naar woningen als kookgas. Onderhouds-, storings- en hulpdiensten moeten worden ingelicht over de (mogelijke) aanwezigheid van vocht in de leiding met daarin micro-organismen zodat calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen kunnen worden aangepast. Ook voor derden kan door het vocht een aanvullend gevaar ontstaan bij een graafschade aan een biogasleiding. Indien vocht in de leiding zit moet gewerkt worden met beschermingsmiddelen zodat oog- en huidcontact worden voorkomen.

Een effectieve manier om micro-organismen in biogas te verminderen en daarmee de eventuele gevolgen van blootstelling aan biogas te verminderen, is het drogen van het biogas. Droog gas is daarnaast een belangrijke maatregel om de materiaalintegriteit te waarborgen. Zie hiervoor ook paragraaf 2.2.1. Als tweede optie is het mogelijk het gas te filteren met een HEPA-filter.

2.5 De geur van biogas

Aardgas wordt geodoriseerd omdat aardgas vrijwel reukloos is. Het odorant moet chemisch stabiel zijn en de geur kenmerkend en alarmerend. De gewenningsgraad van de geur moet zo gering mogelijk zijn en zo herkenbaar, dat deze direct in verband wordt gebracht met de aanwezigheid van aardgas. In Nederland wordt het odorant tetra-hydrothiofeneen (afgekort THT), toegevoegd. Het gehalte is zo ingesteld dat het gas al ruikbaar is voordat een explosief mengsel met lucht is ontstaan. In de NEN7244-1:2014 staat vermeld dat in Nederland een gasconcentratie van circa 1% gas in lucht (20% LEL) goed waarneembaar moet zijn. Daarnaast staat vermeld: "...indien gas van nature geen onaangename, kenmerkende, alarmerende geur heeft, moet er een odorant aan het gas worden toegevoegd waarmee een onaangename, voor aardgas kenmerkende, alarmerende geur permanent herkenbaar blijft". Ook kleine gaslekken kunnen dankzij het odorant geroken worden. Er is een bovengrens gesteld aan het odorant gehalte omdat anders zeer kleine gaslekken die normaal geen enkel gevaar vormen voor de veiligheid, al tot gaslucht meldingen kunnen leiden. Een tweede reden is dat het aanwezige zwavel in THT tot een belasting van het milieu leidt. Momenteel zijn de onder- en bovengrens voor het THT-gehalte vastgelegd in de MR gaskwaliteit en bedragen deze respectievelijk 10 en 30 mg/m³. Mogelijk wordt de bovengrens op 40 mg/m³ gesteld zoals is opgetekend in de concept MR gaskwaliteit (d.d. september 2015).

De odorisatie van aardgas is een maatregel om gaslekkage binnenshuis snel te kunnen detecteren. Toevoegen van odorant aan biogas is in veel gevallen niet effectief omdat de geur van het odorant wordt gemaskeerd door andere sterk ruikende verbindingen. De volgende geurmaskerende verbindingen kunnen in biogas voorkomen:

- Terpenen; dit zijn natuurstoffen die onder andere in bladeren, coniferen, kruiden, planten en citrusschillen voorkomen.
- Methylethylketon; dit is een tussenproduct van het vergistingsproces
- Waterstofsulfide (H₂S); dit gas ruikt zeer sterk en is giftig
- Andere zwavelverbindingen als dimethylsulfide, koolstofdissulfide en mercaptanen
- Stikstofverbindingen als amines, indol en skatol komen voor in visafval en mest

Uit metingen blijkt dat bij een terpenengehalte vanaf 4 ppm [XV] en bij H₂S gehalten vanaf 2 ppm [XVI] [XXII] de geur van geodoriseerd aardgas wordt overheerst door een andere geur en dat de THT geur niet meer is waar te nemen of hooguit als een achtergrondgeur waarneembaar is.

Biogas zal vrijwel altijd H₂S bevatten. Vanaf 0,007 ppm is H₂S waarneembaar middels de kenmerkende geur van rotte eieren. Om biogas te kunnen odoriseren moet niet alleen het H₂S in het biogas volledig worden verwijderd maar ook alle andere mogelijk geurstoffen in biogas. Het volledig verwijderen van deze geurstoffen door gasreiniging is een kostbare maatregel.

2.5.1 Gevaren als gevolg van de geur van biogas

De geur van aardgas is een belangrijke indicatie voor gaslekken. Deze beheersmaatregel geldt voor lekkages binnenshuis. Odorisatie van biogas is niet zinvol omdat het biogas niet naar odorant zal ruiken. Het verhogen van het odorantgehalte heeft maar een beperkt effect en zou daarnaast leiden tot kostenverhogingen en extra zwavel in het gas.

Biogas heeft derhalve een belangrijk additioneel gevaar in vergelijking met aardgas doordat het niet hetzelfde ruikt als het THT in aardgas.

Onderhouds-, storings- en hulpdiensten moeten op de hoogte worden gebracht van deze afwijkende geur en de gevaren hiervan zodat calamiteitenplannen, instructies en trainingen kunnen worden aangepast.

Biogas kan dus anders ruiken dan aardgas maar lekzoeken aan biogasleidingen kan gebeuren met de bestaande lekzoekapparatuur. Het onderscheid tussen biogas en moerasgas is niet te maken met een ethaananalyse omdat beide gassen geen ethaan bevatten. De kans op valse lekindicaties moet worden geaccepteerd. Het is onbekend met welke mate van zekerheid in het laboratorium onderscheid tussen moerasgas en biogas gemaakt kan worden. In de praktijk is het bijvoorbeeld wel mogelijk voorafgaand aan de aanleg het tracé te lekzoeken op bronnen van moerasgas.

Als neveneffect kan de geur van aardgas in bepaalde gevallen ook buitenshuis een waarschuwend effect hebben. Daardoor kan door de afwezigheid van de karakteristieke aardgasgeur ook voor derden een aanvullend gevaar ontstaan. Zowel omwonenden als een derde partij die graafwerkzaamheden in de buurt uit gaat voeren moet op de hoogte worden gebracht van de aanwezigheid van de leiding. Daarbij hoort ook het verstrekken van een alarmnummer. Daarnaast is de afstand tussen leiding en bebouwing zoals vermeld in de NEN 7244 erg belangrijk om het gevaar van lekkend biogas in de woning te voorkomen.

Biogasleidingen waarvoor de richtlijn wordt opgesteld lopen niet naar of door woningen of gebouwen anders dan van de afnemer van het biogas. Omdat de alarmfunctie van de THT geur niet aanwezig is kan in geval van een eventuele opstellingsruimte of doorvoer naast voorlichting bij de afnemer gewerkt worden met gasdetectors in de opstellingsruimte.

2.6 Biogas en de verspreiding in bodem en lucht

Lekzoeken is een belangrijke maatregel om lekken in het netwerk in een vroeg stadium te ontdekken en te repareren. Doordat biogas een grotere dichtheid heeft dan aardgas kan het gas zich mogelijk ook anders gedragen. Binnen EDGaR C1 [X] is onderzoek gedaan naar de verspreiding van biogas in de ondergrond. De onderstaande gassamenstellingen zijn in de experimenten gebruikt.

Tabel 6: De samenstelling van biogas in de verspreidingsexperimenten.

	Dichtheid kg/m ³ n	CH ₄	N ₂	CO ₂	Overig
Aardgas	0,833	81,3 vol%	14,1 vol%		4,6 vol%
Medium biogas	1,1	69,2 vol%	-	30,8 vol%	-
Zwaar biogas	1,3	53,2 vol%	-	46,8 vol%	-

Uit verschillende experimenten volgt dat het effect van de grotere dichtheid van biogas op de bovengrondse detecteerbaarheid van het gas beperkt is. Het zwaardere biogas heeft na een lek enkele uren langer nodig om boven te komen.

Lekkages van biogas zijn iets lastiger te detecteren dan aardgas hoewel het verschil klein is. Tijdens de praktijkonderzoeken is gewerkt met een lek van 20 dm³/uur. Mogelijk zijn lekken kleiner dan 20 dm³/uur lastiger te ontdekken zijn.

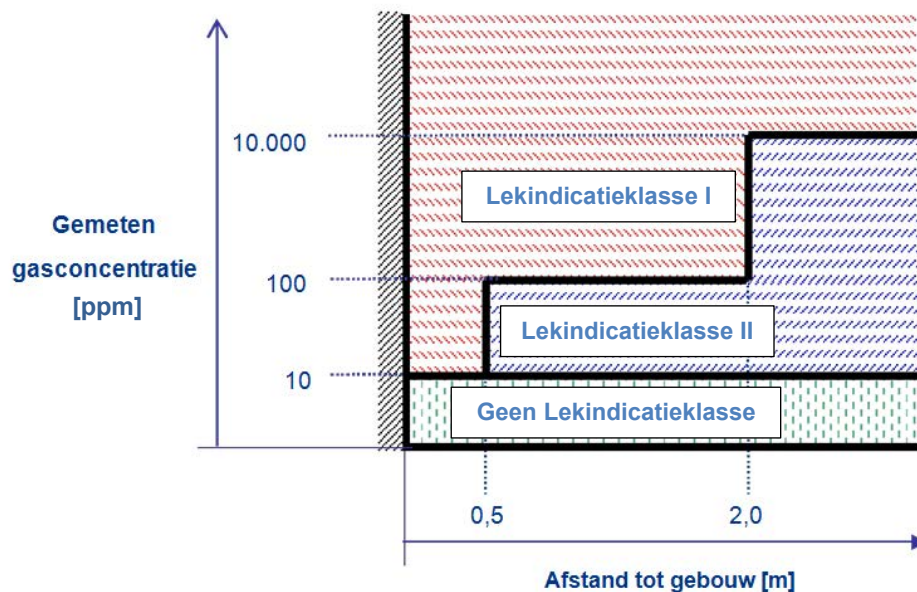
Na reparatie kan een biogaslekage nog enige tijd een vals alarm afgeven doordat het zwaardere gas langzamer uit de bodem verdwijnt dan aardgas. Met dit effect moet rekening worden gehouden zodat oude lekken geen nieuwe lekken maskeren of zorgen voor onterechte meldingen.

De verspreiding van biogas in de lucht is getest in verschillende omstandigheden. Daarbij is gekeken naar het verschil in verspreidingsgedrag tussen aardgas (lichter dan lucht) en een biogas dat zwaarder dan lucht is (50% CH₄ en 50% CO₂, dichtheid ongeveer 1,3 kg/m³).

De scenario's van het verwisselen van een afsluiter in de meterkast (100 mbar) en ingebruikname van een hoofdleiding (8 bar), zijn onderzocht. In de beide situaties zijn geen verschillen waargenomen in de wijze van verspreiding van aardgas en biogas. Daaruit is geconcludeerd dat de werkinstructies zoals die gelden voor aardgas gelijk kunnen blijven. Dat wil zeggen dat tijdens werkzaamheden de methaanconcentratie moet worden gemeten. Zodra deze hoger wordt dan 10% LEL zijn werkzaamheden niet meer toegestaan. [XII]

2.6.1 **Gevaren als gevolg van de grotere dichtheid van biogassen**

Lekken in biogasleidingen kleiner dan 20 dm³/uur worden mogelijk lastiger ontdekt met lekzoeken. In de EDGaR rapporten wordt daarom aanbevolen de drempelwaarde van de methaanconcentratie van een lekindicatie voor biogas lager te leggen dan voor aardgas. Hierbij moet de detectiegrens van de lekzoekapparatuur in aanmerking worden genomen. Deze ligt ongeveer op 1 á 2 ppm. In de huidige meetprocedure voor bovengronds lekzoeken ligt de detectiegrens voor een klasse 1 lek op 10 ppm aardgas binnen 0,5 meter van gebouwen en 100 ppm binnen twee meter van gebouwen (zie de figuur hieronder) [XI]. Op dit moment zijn de effecten van het verlagen van de drempelwaarde niet in te schatten. Een betere maatregel is daarom de afstand tussen de biogasleiding en de bebouwing te vergroten naar minimaal 3,5 meter. Dit is de grootste afstand die in de NEN 7244 wordt voorgeschreven tussen gasleidingen en bebouwing (in dit geval correspondeert 3,5 meter met hogedrukleidingen met een diameter > 200 mm).



Figuur 2: Lekindicatieklassen zoals genoemd in het lekmonitoringsprotocol voor aardgas.

De NEN 7244 eist een minimale afstand van één meter tussen aardgasleidingen en drukloze riolen. Door de grotere dichtheid kan het zwaardere biogas bij een lek in een lagedruk hoofdleiding in de grond zakken onder in vloed van zijn eigen gewicht. Bij een lekkage in een lagedruk leiding wordt dit verschil in dichtheid op basis van testresultaten echter niet ingeschat als gevaarlijker dan aardgas. De gedefinieerde afstand van 1 meter is daarom voldoende.

Bij een lekkage aan een hogedruk hoofdleiding zal het biogas onder invloed van de druk niet alleen de bodem in zakken maar zich in alle richtingen verspreiden. Daardoor is het ook bovengronds te detecteren.

Bij de uitstroom van biogas met grote snelheid (grote impuls) bij bovengrondse lekken zijn geen andere gevaren te verwachten dan bij de uitstroom van aardgas. Bij werkzaamheden in de sleuf of put is het (theoretisch) mogelijk dat er een gevaar ontstaat omdat het biogas langzaam uitstroomt met lage snelheid (weinig impuls) en het zwaardere biogas zich onderin een sleuf ophoopt. In geval van drukloos werken is het dragen van een persoonlijke gasdetector ter hoogte van de monteur zijn middel is afdoende om dit gevaar te beheersen.

Onderhouds-, storings- en hulpdiensten moeten worden ingelicht over de mogelijke hogere dichtheid van het biogas en de gevaren hiervan zodat calamiteitenplannen, instructies en trainingen kunnen worden aangepast.

Ook voor derden kan de hogere dichtheid bij graafschades een aanvullend gevaar veroorzaken bij een graafschade aan een biogasleiding.

3 Aanvullende maatregelen

In hoofdstuk twee zijn de gevaren van biogas ten opzichte van aardgas beschreven. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van mogelijke aanvullende maatregelen om het transport van biogas even veilig te maken als het transport van aardgas.

3.1 Generieke Bowtie voor aardgastransport

De generieke Bowtie voor het transport van aardgas op hoge/lage druk, die is opgesteld door Netbeheer Nederland [XIII] (zie bijlage I), maakt inzichtelijk welke maatregelen nu genomen worden om aardgas veilig te kunnen transporteren. Hiermee wordt duidelijk hoe de aanvullende maatregelen voor de specifieke gevaren van biogas zich verhouden tot de bestaande maatregelen.

In de Bowtie analyse staan de bedreigingen en consequenties van een klasse 1 lekkage weergegeven samen met de huidige maatregelen. Schematisch zijn de vijf specifieke gevaren van biogas in de Bowtie van Netbeheer Nederland te plaatsen onder de volgende bedreigingen en consequenties uit de Bowtie:

Bedreigingen

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• B2 Inwendige corrosie/aantasting | De bedreiging wordt groter voor combinaties van leidingmaterialen, vocht en biogascomponenten (zie ook bedreiging B3). |
| <ul style="list-style-type: none">• B3 Inwendige aantasting tgv biogas | De bedreiging wordt groter voor combinaties van leidingmaterialen, vocht en biogascomponenten. |

Consequenties

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• C1 Brand /explosie /verstikking & Vergiftiging buiten gebouw | De consequentie kan groter zijn door de toxiciteit van H ₂ S, micro-organismen, andere geur en/of maskering van odorisatie. |
| <ul style="list-style-type: none">• C3 Brand /explosie /verstikking & Vergiftiging in gebouw | De consequentie kan groter zijn door de toxiciteit van H ₂ S, micro-organismen, andere geur en/of maskering van odorisatie. |
| <ul style="list-style-type: none">• C4 Gaslekkage in werkput (o.a. leidend tot verstikking, verbranding) & Vergiftiging | De consequentie kan groter zijn door de toxiciteit van H ₂ S, micro-organismen, andere geur en/of maskering van odorisatie. Ook kan zwaarder gas zich mogelijk ophopen in een put of sleuf. |

In de volgende paragrafen worden de maatregelen voor de vijf specifieke gevaren verder uitgewerkt.

De maatregelen voor de vijf specifieke gevaren kunnen voor een deel worden beheerst met bestaande maatregelen voor aardgasleidingen zoals bijvoorbeeld genoemd in de NEN 7244. Deze bestaande maatregelen worden in de volgende paragrafen apart benoemd van de aanvullende maatregelen.

Voor alle maatregelen is een kosten/baten-analyse gemaakt in de vorm van een value case.

Uit deze maatregelen wordt een selectie gemaakt die opgenomen wordt in de voorgestelde richtlijn voor het transport van biogas.

3.2 Inwendige corrosie/aantasting

Bepaalde componenten in biogas, al dan niet in combinatie met vocht, vormen een bedreiging voor de materiaalintegriteit.

<p>Aanvullende maatregelen om inwendige aantasting/corrosie door biogascomponenten te voorkomen:</p>	<p>Eisen aan de toegepaste materialen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toepassen van PE 100 SDR11 (maximale druk van 8 bar). • Lasverbindingen verplicht. • Vermijd appendages van POM en onbeschermd staal, koper en aluminium die in contact kunnen komen met vochtig biogas. <p>Controle op componenten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O₂ limiet 1 mol% continu. • H₂ limiet 20 mol% twee maal per jaar. • Hogere koolwaterstoffen en aromatische koolwaterstoffen, twee maal per jaar. <p>Maximaal toelaatbare concentratie aromatische koolwaterstoffen van 800 ppm én geen vloeibare koolwaterstoffen (gascondensaat ≤80 mg/m³_n bij -3 °C) daarnaast twee opties:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maatregel keuze 1: Drogen van het biogas. • Maatregel keuze 2: Toepassing van condensputten in de leiding.
<p>Value case:</p>	
<p>Kosten</p>	<p>Baten</p>
<p>Kosten PE 100 SDR 11 en lasverbindingen niet duurder dan respectievelijk de aanleg van staal en het toepassen van trekvastе koppelingen. Appendages zonder (onbeschermd) staal, koper en aluminium zijn mogelijk duurder, maar de toegepaste aantallen in de leiding zijn beperkt en daarmee de kosten ook.</p> <p>Continue controle op de concentratie O₂. Zuurstofsensor: €400,- Controle op de concentratie H₂O₂, en hogere koolwaterstoffen twee maal per jaar.</p>	<p>Trekvastе verbindingen bevatten onderdelen zoals rubbers, metalen of andere kunststoffen die mogelijk slecht(er) tegen (vochtig) biogas bestand zijn.</p> <p>Te combineren met gaskwaliteitsmetingen die producent en afnemer van het biogas afspreken.</p>
<p>Eventueel verwijdering van aromatische koolwaterstoffen tot maximaal 800 ppm door toepassing van diepreiniging (zie paragraaf 3.3 diepreinigen is hetzelfde als de maatregel fijnontzweveling)</p> <p>Eventueel verwijderen van hogere koolwaterstoffen zoals terpenen die kunnen condenseren. Bijvoorbeeld door gavimetrische scheiding . Initiële investering ca. k€19.</p> <p>Twee maal per jaar samplen van de concentratie aromatische koolwaterstoffen en het bepalen van het koolwaterstofdauwpunt. Kosten ca. € 1500,- per keer. In combinatie met andere controles zijn kostenvoordelen te behalen.</p>	<p>Vanuit het oogpunt van materiaalintegriteit noodzakelijk daarnaast wordt met diepreiniging ook H₂S uit het biogas verwijderd wat een positief effect op de veiligheid heeft.</p>

<p>Maatregel keuze 1:</p> <p>Droog gas door een waterdauwpunt van -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding.</p> <p>Droging kan op verschillende manieren bijvoorbeeld door gascompressie gevolgd door een koude val.</p> <p>Bij een volumestroom van 500 m³/h wordt de initiële investering van een compressor worden geschat op k€40 - k€50. Onderhoud en energie worden geschat op k€5 – k€10 per jaar.</p> <p>Continu meten van het dauwpunt.</p> <p>Een robuuste dauwpuntmeter die geschikt is voor biogas doordat deze zichzelf kan uitstoken bij verhitting om verontreinigingen te verwijderen en de data kan doorsturen via een transmitter kost ca. € 2400,- . Expertise en onderhoud zijn vereist.</p> <p>Slechts in geval van droog gas kan staal worden toegepast als leidingmateriaal. In geval van vocht in de leiding is het risico op aantasting van de leiding veel groter dan bij PE. PE verdient daarom altijd de voorkeur.</p>	<p>Droog gas maakt dat de verwachte effecten van het biogas op de materiaalintegriteit te verwaarlozen zijn.</p> <p>Daarnaast is biogas slechts droog van waarde voor de meeste afnemers en is het transport van droog gas gemakkelijker. Deze stap moet praktisch altijd genomen worden.</p> <p>Mogelijk zijn voor de initiatiefnemer van het biogasproject kostenvoordelen te behalen bij gebruik van bestaande stalen gasnetten. In geval van nieuwbouw biedt staal geen voordeel boven PE.</p>
<p>Maatregel keuze 2:</p> <p>Toepassen van condensputten om condens/vloeibare koolwaterstoffen af te vangen.</p> <p>Sifons zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringsvormen. De kosten bedragen ongeveer € 3.000,- per sifon (schatting praktijk).</p> <p>De kosten voor een voorziening om een leiding schoon te maken (piggingstation en opkomer) bedragen ongeveer € 750,- per voorziening. E.e.a. afhankelijk van de integratie met sifons (schatting praktijk).</p> <p>Dit zijn alleen kosten voor de aanschaf en aanleg. De kosten voor het legen van de putten, het afvoeren van het vocht en het schoonmaken zullen veel hoger afhankelijk van de frequentie. Daarnaast zijn er gederfde inkomsten omdat de leiding niet inzetbaar is. De kosten worden geschat op enkele duizenden euro's per jaar.</p>	<p>Kosten voor droging voorafgaand aan het transport door de leiding worden uitgespaard.</p> <p>Let op! Voor de meeste toepassingen van biogas is droging noodzakelijk.</p> <p>In procesopzicht kan het grote voordelen hebben droging uit te voeren direct na productie van het biogas eventueel voor of na andere processtappen zoals het reinigen van H₂S.</p> <p>Door ophoping van vocht kan de leiding ook verstopten wat negatieve operationele gevolgen kan hebben voor producent en afnemer van het biogas. [XXX]</p>

3.3 Toxiciteit

Bepaalde componenten in biogas zijn toxisch (met name H₂S) wat, in vergelijking met aardgas, een grotere consequentie voor de veiligheid kan hebben.

Zowel de maatregelen die horen bij een maximale concentratie H₂S van 160 ppm als de maatregelen die horen bij een veel lagere maximale H₂S concentratie dan 160 ppm worden in deze paragraaf uitgewerkt.

Maatregelen als de H₂S concentratie in biogas maximaal 160 ppm is.

<p>Aanvullende maatregelen bij biogas met een H₂S concentratie van 160 ppm:</p>	<p>Maximale concentratie toxische componenten</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂S limiet 160 ppm, bemonstering en analyse ter controle (continu) en het aanbrenge van een monsternamepunt voor netbeheerder. • NH₃ limiet 120 ppm, twee maal per jaar. <p>Werken aan de leiding met een H₂S detector. Beschikking over persoonlijke beschermingsmiddelen en werkinstructies indien de maatregel H₂S reiniging heeft gefaald en er onverhoopt toch teveel H₂S in het gas aanwezig is.</p> <p>Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de aanwezigheid van H₂S en de gevaren en het aanpassen van calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen.</p>
<p>Value case:</p>	
<p>Kosten</p>	<p>Baten</p>
<p>H₂S reiniging van 2.000 ppm tot 160 ppm in een vergistertank bedraagt ongeveer € 0,005 – €0,01 / m³ ruw biogas [XXVII] Verlaging van de H₂S concentratie wordt bereikt door het toevoegen van ijzerhydroxide dan wel zuurstof aan de vergistertank, waardoor de vergisterslurrie licht basisch wordt gemaakt.</p>	<p>Bij deze H₂S concentratie zijn slechts beperkte aanvullende maatregelen vereist met betrekking tot veiligheid van medewerkers.</p>
<p>Continue monitoren van de H₂S concentratie. Een sensor kost €2.500,- Onderhoud en expertise zijn vereist. Bij overschrijding mag niet meer aan de leiding gewerkt worden.</p> <p>Controle op de concentratie NH₃ twee maal per jaar. Bij overschrijding mag niet meer aan de leiding gewerkt worden.</p> <p>Eventueel mosternamepunt in de leiding aanbrenge voor zover geen monsters bij invoeder en/of afnemer genomen kunnen worden.</p>	
<p>Gebbruik van H₂S detector in de sleuf/put. Kosten ca. paar honderd euro per stuk. Detector te integreren met CH₄ detector.</p> <p>Persoonlijke beschermingsmiddelen zoals bijvoorbeeld een vluchtmasker. Kosten ca. enkele tientallen euro's per stuk.</p>	
<p>Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de aanwezigheid van H₂S en de gevaren. Aanpassen van calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen en het geven van instructies en trainingen. Storingsnummers moeten bekend zijn bij de omwonenden.</p> <p>Het aanpassen wordt geschat op enkele dagen werk, afhankelijk van de grootte van het bedrijf.</p>	

Inspanningen voor voorlichting worden geschat op, orde grootte, één toolboxmeeting per ploeg en zijn deels onderdeel van de dagelijkse werkzaamheden.	
---	--

Maatregelen om de H₂S concentratie te verlagen ver onder de 160 ppm.

Aanvullende maatregelen om de H₂S concentratie verder te verlagen dan 160 ppm:	Maximale concentratie toxische componenten (H ₂ S max. <160 ppm) <ul style="list-style-type: none"> • Fijnontzwaveling (≤ 5 ppm H₂S) • Bemonstering en analyse ter controle (continu) en het aanbrengen van monsternamepunt voor de netbeheerder.
Value case:	
Kosten	Baten
Kosten voor diepreiniging (fijnontzwaveling ≤ 5 ppm H ₂ S): Actieve kool verwijdert ook thiolen en andere sulfiden. [XXIX] Dit leidt tot een investering van k€25. [XXVII]	Minder aanvullende maatregelen benodigd met betrekking tot de veiligheid tijdens werkzaamheden aan de leiding en voorlichting van hulpdiensten in vergelijking met situatie 1.
Daarnaast is voor een biogasproductie (55% -60% CH ₄) van 600 m ³ /uur geschat 3400 kg per jaar aan actieve kool nodig. k€4-k€6/ton aan kosten voor geïmpregneerde kool. Voor 3400 kg dus ca. k€18/jaar aan actieve kool en inzameling hiervan. [XXVIII]	
Let op! Deze reiniging werkt pas goed bij droog gas.	
Continu monitoren van H ₂ S concentratie. Een sensor kost €2.500,- Onderhoud en expertise zijn vereist.	
Eventueel mosternamepunt in de leiding aanbrengen voor zover geen monsters bij invoeder en/of afnemer genomen kunnen worden.	

3.4 Aanwezigheid van micro-organismen

Biogas kan micro-organismen bevatten die een consequentie op de veiligheid kunnen hebben.

Er zijn twee soorten maatregelen denkbaar. Enerzijds een pakket van maatregelen waarmee de micro-organismen (zoveel mogelijk) worden voorkomen, anderzijds een pakket van maatregelen die het risico van het werken met micro-organismen vermindert.

Maatregelen om de micro-organismen te voorkomen.

Bestaande maatregelen om micro-organismen te verwijderen:	De geldende eisen aan vergisting en biomassa worden als 'common practice' verondersteld.
Value case:	
Kosten	Baten
-	-

Beschrijving aanvullende maatregelen om micro-organismen te verwijderen:	<ul style="list-style-type: none"> • Drogen van het biogas en het stellen van eisen aan het dauwpunt om daarmee een droog gasnet in stand te houden is de belangrijkste voorwaarde voor het terugdringen van micro-organismen. • Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van vocht in het netwerk en hoe daarmee om te gaan in relatie tot micro-organismen. • Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zodat oog- en huidcontact wordt voorkomen.
Value case:	
Kosten	Baten
Drogen van het gas tot -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding en twee jaarlijks controle op het dauwpunt (zie paragraaf 3.2).	Droog gas heeft ook gunstige effecten op de materiaalintegriteit en het transport van het gas. Daarnaast eisen afnemers van biogas meestal een droog gas in verband met de toepassing. De droging wordt dan al uitgevoerd.
Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van vocht met mogelijk micro-organismen in het netwerk en hoe daarmee om te gaan. Aanpassen van calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen. Storingsnummers moeten bekend zijn bij de omwonenden. Het aanpassen wordt geschat op enkele dagen werk, afhankelijk van de grootte van het bedrijf. Inspanningen voor voorlichting worden geschat op, orde grootte, één toolboxmeeting per ploeg en zijn deels onderdeel van de dagelijkse werkzaamheden.	
Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zodat oog- en huidcontact wordt voorkomen. Bijvoorbeeld een bril, handschoenen, beschermende kleding, en/of een half-gelaatsmasker. Kosten geschat op een paar honderd euro en langzamer uitvoeren van werkzaamheden. Afvoer van leidingdelen en componenten. Kosten geschat op paar honderd euro per situatie.	

Maatregelen om veilig te werken met vochtig biogas met mogelijk micro-organismen.

<p>Beschrijving aanvullende maatregelen als biogas vochtig is en micro-organismen aanwezig kunnen zijn:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sifons in het netwerk en mogelijkheid tot piggen van de leiding. • Vastleggen tracé, hoogteverloop en dieptepunten (kunstwerken in het tracé). • Jaarlijkse bepaling hoeveelheid micro-organismen. • Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van vocht in het netwerk en hoe daarmee om te gaan in relatie tot micro-organismen. • Inlichten van derden bij graafwerkzaamheden zoals bij WION. • Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zodat oog- en huidcontact wordt voorkomen.
<p>Value case:</p>	
<p>Kosten</p>	<p>Baten</p>
<p>Kosten van het toepassen van sifons in de leiding en eventueel het schoonmaken van de leiding (zie paragraaf 3.2).</p> <p>Schoonmaken van de leiding (piggen) heeft alleen een operationele reden en is niet noodzakelijk voor veilig bedrijf van de leiding. Wanneer en hoe vaak schoon te maken is sterk afhankelijk van operationele omstandigheden.</p>	<p>Kosten voor droging voorafgaand aan het transport door de leiding worden uitgespaard.</p> <p>Let op! Voor de meeste toepassingen van biogas is droging noodzakelijk. In procesopzicht kan het grote voordelen hebben droging uit te voeren direct na productie van het biogas eventueel voor of na andere processtappen zoals het reinigen van H₂S. Door ophoping van vocht kan de leiding ook verstopten wat negatieve operationele gevolgen kan hebben voor producent en afnemer van het biogas. [XXX]</p>
<p>Vastleggen van het tracé in verticale vlak. Eenmalige kosten bij aanleg. Afhankelijk van de lengte enkele dagen werk.</p>	<p>-</p>
<p>De impact van micro-organismen is op dit moment nog niet duidelijk te kwantificeren. In geval van vochtig biogas wordt aanbevolen jaarlijks per project de hoeveelheid micro-organismen te bepalen. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden om de beheersmaatregelen te toetsen en eventueel aan te passen. Kosten worden geschat op €1000,- per jaar.</p>	<p>Meer inzicht in het ontstaan van micro-organismen zodat in de toekomst wellicht beter het aanvullende gevaar kan worden ingeschat.</p>

<p>Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van vocht in het netwerk en hoe daarmee om te gaan in relatie tot micro-organismen en vocht. Aanpassen van calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen. Storingsnummers moeten bekend zijn bij de omwonenden.</p> <p>Het aanpassen wordt geschat op enkele dagen werk, afhankelijk van de grootte van het bedrijf. Inspanningen voor voorlichting worden geschat op, orde grootte, één toolboxmeeting per ploeg en zijn deels onderdeel van de dagelijkse werkzaamheden.</p>	-
<p>Inlichten van derden via de KLIC-procedure met een Eis voorzorgsmaatregelen¹. In dat geval moet de graver contact opnemen met de netbeheerder zodat aanvullende eisen doorgesproken kunnen worden. In dit geval wijzen op <u>vocht</u> dat aanwezig kan zijn en vrij kan komen en dat er een grote kans is op micro-organismen. Kosten zijn minimaal.</p>	Mogelijk dat het aantal graafschades aan deze leidingen hierdoor positief beïnvloed wordt.
<p>Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zodat oog- en huidcontact wordt voorkomen. Bijvoorbeeld een bril, handschoenen, beschermende kleding, en/of een half-gelaatsmasker. Kosten geschat op een paar honderd euro en langzamer uitvoeren van werkzaamheden. Afvoer van leidingdelen en componenten. Kosten geschat op paar honderd euro per situatie.</p>	-

3.5 Ruikbaarheid

Bepaalde gascomponenten in biogas hebben een eigen kenmerkende geur wat, in vergelijking met aardgas, een grotere consequentie op de alarmfunctie bij een gaslek binnenshuis kan hebben.

Er zijn twee maatregelen denkbaar, namelijk wel odoriseren of niet odoriseren en aanvullende maatregelen.

¹ <http://www.agentschaptetelecom.nl/onderwerpen/kabels-en-leidingen/gevaarlijke-inhoud-hoge-waarde>

Maatregelen om biogas te odoriseren.

Bestaande maatregelen bij aardgas:	<ul style="list-style-type: none"> • Controle op ruikbaarheid
Value case:	
Kosten	Baten
Controle twee keer per jaar. Kosten ca. €1500 per keer. In combinatie met andere controles op bijvoorbeeld dauwpunt en hogere koolwaterstoffen gaan deze kosten omlaag.	-

Aanvullende maatregelen om biogas te odoriseren:	<p>Odoriseren van biogas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering van een groot aantal geurende biogascomponenten. • Odoriseren met THT.
Value case:	
Kosten	Baten
<p>Het verwijderen van geurende biogascomponenten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂S tot de limiet van 2 ppm • Terpenen tot de limiet van 4 ppm • Methylethylketon • Andere zwavelverbindingen • Mogelijke stikstofverbindingen <p>Welke componenten verwijderd moeten worden hangt af van de exacte samenstelling van het biogas dat o.a. afhankelijk is van biomassa en vergistingsproces.</p> <p>De methode voor diepreiniging is dezelfde als voor fijnontzwaveling (zie paragraaf 3.3 situatie 2) Let op! Deze reiniging werkt pas goed bij droog gas.</p> <p>Continu monitoren van H₂S concentratie. Een sensor kost €2.500,- Onderhoud en expertise zijn vereist. Mosternamepunt in de leiding aanbrengen.</p>	<p>Het biogas is net zo herkenbaar als aardgas en er zijn geen additionele maatregelen nodig om hetzelfde veiligheidsniveau te handhaven. De hogere dichtheid is een additioneel gevaar.</p>
<p>Een geschikte odoriseerinrichting kost ongeveer tussen de k€10 en k€15.</p> <p>Odorant kost €1.700 euro voor 50 liter inclusief aan en afkoppelen. Nominaal voor 18 mg/m³ en 500 m³/uur op basis van 8.000 uur/jaar is dit €2.900,- totaal. Gezien de THT grenzen kunnen de kosten voor THT k€2 tot k€5 per jaar zijn.</p>	

Maatregelen als biogas niet geodoriseerd is.

<p>Bestaande maatregelen bij aardgas:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tracé en veiligheidsafstanden <ul style="list-style-type: none"> ○ Minimaal gronddek 0,8 meter. Gronddek in buitengebied groter zoals gebruikelijk bij gasleidingen (zie NEN 7244:1-2014 en eigen bedrijfsbeleid). ○ Gebruikelijke veiligheidsafstanden (NEN 7244:1-2014). ○ Kleurstelling zoals voor aardgasleidingen (NEN 7244-1:2014). • Lekzoeken <ul style="list-style-type: none"> ○ Standaard lekzoekfrequentie zoals bij gasleidingen.
<p>Value case:</p>	
<p>Kosten</p>	<p>Baten</p>
<p>Tracé en veiligheidsafstanden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimaal gronddek van 0,8 meter, in buitengebied groter gronddek zoals bij gasleidingen, geen extra kosten. • Gebruikelijke veiligheidsafstanden. • Kleurstelling leidingen zoals bij aardgasleidingen. 	<p>Dit zijn minimale maatregelen om het additionele gevaar van een andere geur uit te kunnen sluiten. Geen (substantiële) kosten in vergelijking met de verwijdering van bepaalde biogascomponenten.</p>
<p>Lekzoeken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standaard lekzoekfrequentie zoals voor gasleidingen. 	

<p>Aanvullende maatregelen wanneer biogas niet geodoriseerd is:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tracé <ul style="list-style-type: none"> ○ Detectoren in geval van leidingen door/naar een opstellingsruimte. ○ Leiding eventueel opschrift 'biogas'. ○ Toepassen van een lint boven de leiding met opschrift 'biogas' op gepaste diepte onder het maaiveld. • Lekzoeken <ul style="list-style-type: none"> ○ Mogelijk met bestaande lekzoekapparatuur. • Inlichten van derden bij graafwerkzaamheden zoals bij WION. • Inlichten van de onderhouds-, storings- en hulpdiensten. • Informeren van omwonenden over de aanwezigheid van de biogasleiding en daarbij over het ontbreken van de karakteristieke aardgasgeur.
<p>Value case:</p>	
<p>Kosten</p>	<p>Baten</p>
<p>Tracé en veiligheidsafstanden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detectoren in een eventuele opstellingsruimte of doorvoer, kosten paar honderd euro per detector. • Leiding eventueel met opschrift 'biogas', additionele kosten zijn laag. • Toepassen van lint boven de leiding met opschrift 'biogas' op gepaste diepte onder het maaiveld, kosten minimaal. 	<p>Dit is een minimale eis om het additionele gevaar van een andere geur uit te kunnen sluiten. Geen (substantiële) kosten in vergelijking met de verwijdering van bepaalde biogascomponenten.</p>

Lekzoeken mogelijk met bestaande lekzoekapparatuur waarbij de kans op een valse lekindicatie moet worden geaccepteerd. Kosten enkele duizenden euro's per apparaat.	
Inlichten van derden via de KLIC-procedure met een Eis voorzorgsmaatregelen. In dat geval moet de graver contact opnemen met de netbeheerder zodat aanvullende eisen doorgesproken kunnen worden. In dit geval minimaal wijzen op <u>het ontbreken van de karakteristiek aardgasgeur</u> . Kosten zijn minimaal.	Geen (substantiële) kosten in vergelijking met de verwijdering van bepaalde biogascomponenten. Mogelijk dat het aantal graafschades aan deze leidingen hierdoor positief beïnvloed wordt.
Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van een ander geur van het gas in het netwerk. Daarnaast het aanpassen van calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen. Storingstelefoonnummers moeten bekend zijn bij de omwonenden. Het aanpassen wordt geschat op enkele dagen werk, afhankelijk van de grootte van het bedrijf. Inspanningen voor voorlichting worden geschat op, orde grootte, één toolboxmeeting per ploeg en zijn deels onderdeel van de dagelijkse werkzaamheden.	-
De leidingeigenaar dient zorg te dragen voor het informeren van alle omwonenden over de aanwezigheid van de biogasleiding. Daarbij wordt dan ook gewezen op het ontbreken van de karakteristieke aardgasgeur. Dit dient te gebeuren bij aanleg van de biogasleiding. De omwonenden zijn alle mensen wiens erf aan het tracé van de biogasleiding grenst en die over de biogasleiding kunnen lopen. Storingstelefoonnummers moeten 24/7 bereikbaar zijn en bekend bij de omwonenden. De kosten worden geschat op enkele duizenden euro's afhankelijk van de lengte van de leiding en de tracé keuze.	-

3.6 Dichtheid en verspreiding

Biogas heeft een hogere dichtheid dan aardgas wat een grotere consequentie op de vindbaarheid van gaslekken en de veiligheid van de monteurs in de sleuf of put kan hebben.

Bestaande maatregelen bij aardgas:	<ul style="list-style-type: none"> • Minimale afstand tot drukloze riolering 1 meter (NEN 7244-1:2014) • Lekzoeken <ul style="list-style-type: none"> ○ Aandacht voor ophoping van gas in ondergrondse ruimten (NEN 7244-09:2008).
Value case:	
Kosten	Baten
Minimale afstand 1,0 meter tot riolering om verspreiding van biogas door het riool te voorkomen, geen additionele kosten.	Geen substantiële kosten in vergelijking met de verwijdering van CO ₂ uit biogas.

Aandacht voor ophoping van gas in ondergrondse ruimten. Geen additionele kosten.	
---	--

Aanvullende maatregelen wanneer biogas een hogere dichtheid dan aardgas heeft:	<ul style="list-style-type: none"> • Tracé en veiligheidsafstanden <ul style="list-style-type: none"> ○ Veiligheidsafstand tot bebouwing van minimaal 3,5 meter. ○ Jaarlijkse schouw van het tracé naar veranderingen waardoor de situatie niet meer aan de aanvullende eisen voldoet. Bijvoorbeeld overbouw, verminderde veiligheidsafstanden door verbouw of veranderingen aan het maaiveld. • Aangepast lekzoekprogramma <ul style="list-style-type: none"> ○ Aandacht voor valse lekindicaties na reparatie van een lekkage. ○ Minimale tijd tussen ingebruikname en controle middels bovengronds lekzoeken (twee tot vier weken). ○ Lekzoeken twee tot vier weken na afronding van graafwerkzaamheden in de buurt van de leiding of werkzaamheden aan de leiding. • Aangepaste werkwijze en persoonlijke beschermingsmiddelen. <ul style="list-style-type: none"> ○ H₂S detector bij werkzaamheden aan de biogasleiding. ○ Beschikking over persoonlijke beschermingsmiddelen en werkinstructies indien er onverhoopt toch teveel H₂S in het gas aanwezig is. • Lint boven de leiding met opschrift 'biogas' op gepaste diepte onder het maaiveld. • Inlichten onderhouds-, storings- en hulpdiensten. • Inlichten van derden bij graafwerkzaamheden zoals bij WION.
---	---

Value case:

Kosten	Baten
Tracé en veiligheidsafstanden: <ul style="list-style-type: none"> ○ Onafhankelijk van de druk en diameter van de biogasleiding wordt een veiligheidsafstand van minimaal 3,5 meter voorgeschreven, directe kosten niet in te schatten. ○ Jaarlijkse schouw van het tracé. Kosten worden geschat op circa €100 per kilometer leiding per jaar. 	Geen (substantiële) kosten in vergelijking met de verwijdering van CO ₂ uit biogas.
Aangepast lekzoekprogramma: <ul style="list-style-type: none"> ○ Aandacht voor valse lekindicaties, ○ Minimale tijd van twee tot vier tussen ingebruikname en controle middels bovengronds lekzoeken, ○ Lekzoeken twee tot vier weken na afronding van graafwerkzaamheden in de buurt van de leiding of werkzaamheden aan de leiding. Minimale inspanning en kosten.	

<p>Aanpassen van de werkwijze en instructies en voorlichting, inspanning ca. enkele dagen werk. H₂S detector in de sleuf/put te dragen rond de <u>middel van de monteur</u>. Kosten ca. paar honderd euro per stuk. Detector is te integreren met de CH₄ detector. Persoonlijke beschermingsmiddelen zoals bijvoorbeeld een vluchtmasker. Kosten ca. enkele tientallen euro's per stuk.</p>	
<p>Plaatsen van een lint boven de leiding met opschrift 'biogas' op gepaste diepte onder het maaiveld.</p>	
<p>Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de mogelijkheid van zwaarder gas in het netwerk, mogelijk ophoping van gas onderin de put en hoe daarmee om te gaan in relatie tot veiligheid. Calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen moeten worden aangepast. Storingsnummers moeten bekend zijn bij de omwonenden.</p> <p>Het aanpassen wordt geschat op enkele dagen werk, afhankelijk van de grootte van het bedrijf. Inspanningen voor voorlichting worden geschat op, orde grootte, één toolboxmeeting per ploeg en zijn deels onderdeel van de dagelijkse werkzaamheden.</p>	
<p>Inlichten van derden via de KLIC-procedure met een Eis voorzorgsmaatregelen. In dat geval moet de graver contact opnemen met de netbeheerder zodat aanvullende eisen doorgesproken kunnen worden. In dit geval wijzen op <u>hogere dichtheid en gevaar bij kleine lekken</u>. Kosten zijn minimaal.</p>	

3.7 Overige maatregelen die algemeen van toepassing zijn voor biogasleidingen

Naast de maatregelen die zijn benoemd voor de specifieke gevaren van biogas zijn er ook nog een aantal maatregelen te identificeren die gelden voor biogasleidingen in het algemeen.

Maatregelen:	<ul style="list-style-type: none"> (Calamiteiten) Afsluiters moeten voor de leidingbeheerder op openbaar terrein toegankelijk zijn. Additioneel kan bijvoorbeeld ook de invoedingsafsluiter door de leidingbeheerder op afstand bestuurbaar zijn.
Value case:	
Kosten	Baten
Kosten voor afsluiters of afblaasinrichtingen voor drukloos maken en de bereikbaarheid zijn niet specifiek voor biogasleidingen.	-

3.8 Keuze voor maatregelen

In hoofdstuk drie zijn voor vier van de vijf specifieke gevaren van biogas ten opzichte van aardgas een aantal keuzes in maatregelen gegeven. Die keuzes zijn hieronder samengevat met de inschatting van de kosten uit de value case.

Voor het specifieke gevaar van de hogere dichtheid wordt een palet aan maatregelen geadviseerd.

Impact op de materiaalintegriteit

Twee keuzes voor maatregelen:	Indicatie jaarlijkse kosten uit de value case: (biogasflow 500 m ³ /hr en projectlooptijd van 12 jaar)
<ul style="list-style-type: none">Gas drogen tot een dauwpunt van -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding	€9.000,- tot €14.000,-
<ul style="list-style-type: none">Vocht uit de leiding afvangen	€10.000,- tot €16.000,-

Toxiciteit

Twee keuzes voor maatregelen:	Indicatie jaarlijkse kosten uit de value case: (biogasflow 500 m ³ /hr en projectlooptijd van 12 jaar)
<ul style="list-style-type: none">Maximale concentratie omlaag brengen tot H₂S = 160 ppm	€20.000,- tot €40.000,-
<ul style="list-style-type: none">Maximale concentratie verder omlaag brengen van 160 ppm tot H₂S ≤5 ppm	€17.000,-

Aanwezigheid van micro-organismen

Twee keuzes voor maatregelen:	Indicatie jaarlijkse kosten uit de value case: (biogasflow 500 m ³ /hr en projectlooptijd van 12 jaar)
<ul style="list-style-type: none">Gas drogen tot een dauwpunt van -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding	€9.000,- tot €14.000,-
<ul style="list-style-type: none">Werken met nat gas en vocht in de leiding/vocht uit leiding afvangen	€12.000,- tot €18.000,-

Ruikbaarheid

Twee keuzes voor maatregelen:	Indicatie jaarlijkse kosten uit de value case: (biogasflow 500 m ³ /hr en projectlooptijd van 12 jaar)
<ul style="list-style-type: none">Gas reinigen (o.a. van H₂S) en odoriseren (daarvoor ook drogen van het gas)	Gas drogen: €9.000,- tot €14.000,- Gas diepreinigen: €17.000,- Gas odoriseren: €3.000,- tot €6.000,-
<ul style="list-style-type: none">Aanvullende maatregelen vanwege andere geur	€2.000,-

Voorafgaand aan dit project zijn de volgende randvoorwaarden gesteld:

1. Veiligheid boven alles,
2. De kosten voor de keten moeten beperkt blijven.

Op basis van de veiligheid is een beperking van het H₂S-gehalte tot 160 ppm in het biogas voldoende om de veiligheid te borgen. Daarnaast moet het gevaar van micro-organismen op de veiligheid worden onderkend.

Op het gebied van de ruikbaarheid hebben aanvullende maatregelen de voorkeur boven het reinigen en odoriseren van het biogas. Dit ook omdat H₂S tot 160 ppm niet hoeft te leiden tot gevaren met betrekking tot de giftigheid maar H₂S wel zorgt voor een maskerend effect op de ruikbaarheid.

Gas drogen is een belangrijke maatregel tegen zowel aantasting van de materiaalintegriteit als de aanwezigheid van micro-organismen. Hoewel het drogen van biogas kostbaar is zal in de praktijk een afnemer van biogas ook alleen droog gas kunnen gebruiken. Het dauwpunt zal naar alle waarschijnlijkheid dan ook onderdeel zijn van de afspraken tussen biogasproducent en –afnemer.

Voor de richtlijn wordt een dauwpunt van -3 °C bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding voorgesteld. In dat geval zijn condensputten en piggingstations overbodig en slechts kostenverhogend.

Samengevat wordt voorgesteld in de richtlijn de volgende in hoofdstuk drie beschreven maatregelen op te nemen.

Negatieve effecten op de materiaalintegriteit:

- Gas drogen tot een dauwpunt van -3 °C bij maximale druk (MOP) in de biogasleiding. Daarnaast mag het biogas maximaal 800 ppm aromatische koolwaterstoffen bevatten en geen condenserende hogere koolwaterstoffen.

Toxiciteit:

- De maximale concentratie H₂S in het biogas mag 160 ppm bedragen.

Aanwezigheid van micro-organismen:

- Gas drogen tot een dauwpunt van -3 °C bij maximale druk (MOP) in de biogasleiding zodat de kans op aanwezigheid van micro-organismen wordt beperkt.

Geur:

- Aanvullende maatregelen vanwege de andere geur van biogas in vergelijking met aardgas, onder andere het inlichten van omwonenden over de aanwezigheid van de biogasleiding en daarbij de het ontbreken van de kenmerkende aardgasgeur bij de aanleg. Ook graver moeten worden ingelicht.

Grotere dichtheid:

- Aanvullende maatregelen vanwege de afwijkende dichtheid van het biogas in vergelijking met aardgas, onder andere een grotere veiligheidsafstand tot bebouwing en persoonlijke beschermingsmiddelen bij werkzaamheden.

De hierboven voorgestelde maatregelen zijn toegevoegd aan de Bowtie van Netbeheer Nederland aan de al aanwezige maatregelen voor de in paragraaf 3.1 genoemde bedreigingen en consequenties. De Bowtie is opgenomen in bijlage II.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Op basis van onderzoek in de literatuur en een inventarisatie van een aantal Nederlandse biogasprojecten zijn de specifieke gevaren van biogas ten opzichte van aardgas geanalyseerd. Deze vijf specifieke gevaren bij het transport van biogas ten opzichte van aardgas zijn:

- De negatieve effecten van biogascomponenten op de integriteit van de leidingmaterialen,
- De toxiciteit van componenten in het biogas,
- De aanwezigheid van schadelijke micro-organismen,
- De andere geur van biogas,
- De grotere dichtheid van biogas.

Om het veiligheidsniveau van het transport van biogas gelijkwaardig te maken aan dat van het transport van aardgas wordt, additioneel aan de geldende normen voor de aanleg en beheer van aardgasleidingen, een set van maatregelen voorgesteld.

Additioneel aan de NEN 7244 en de Veiligheidsinstructie Aardgas (VIAG) worden op basis van de vijf specifieke gevaren van biogas een aantal maatregelen voorgesteld. De belangrijkste maatregelen is droog biogas te transporteren. Hieronder staan de maatregelen op hoofdlijnen beschreven:

Negatieve effecten op de materiaalintegriteit:

- Vooral vocht in het biogas leidt tot aantasting van leidingen en componenten in het net. Daarom wordt aanbevolen droog biogas te transporteren met een dauwpunt van -3°C of lager bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding en daarnaast een maximale concentratie van 800 ppm aan aromatische koolwaterstoffen en geen gecondenseerde hogere koolwaterstoffen toe te staan.

Toxiciteit:

- Waterstofsulfide is een toxische gascomponent die in hoge concentraties in biogas voor kan komen. De concentratie biogas in lucht die op basis van het explosiegevaar wordt toegestaan is gebruikt om de maximaal toelaatbare concentratie H_2S in het biogas te bepalen. Deze maximaal toegestane concentratie waterstofsulfide (H_2S) in het biogas bedraagt 160 ppm.

Aanwezigheid van micro-organismen:

- Het precieze gevaar van micro-organismen in biogas op de veiligheid is onbekend. Wel is bekend dat gedroogd gas veel minder micro-organismen bevat. Daarom wordt aanbevolen biogas te transporteren met een dauwpunt van -3°C of lager bij de maximale druk (MOP) in de biogasleiding.

Andere geur:

- Biogas bevat veel componenten die de ruikbaarheid van odoranten maskeren. Daarom wordt aanbevolen dat de leidingeigenaren gravers inlichten over het ontbreken van de kenmerkende aardgasgeur en omwonenden ,bij aanleg, informeren over de aanwezigheid van de biogasleiding en daarbij over de afwijkende geur.

Grotere dichtheid:

- Afhankelijk van de exacte samenstelling heeft biogas een grotere dichtheid dan aardgas en is dus zwaarder. Daarom wordt aanbevolen bij biogasleidingen een minimum afstand tot aan bebouwing te hanteren zodat

de kans op het binnendringen van biogas wordt verkleind. Bovendien moeten monteurs in de sleuf worden gewaarschuwd bij ophoping van gas. Daarnaast moeten onderhouds-, storings- en hulpdiensten en derden die in de buurt graafwerkzaamheden uitvoeren worden ingelicht over de samenstelling van het biogas en de verschillen ten opzichte van aardgas. Calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen van alle partijen moeten hierop worden aangepast en afgestemd. In de veiligheidswerkinstructies worden de persoonlijke beschermingsmiddelen en het gebruik ervan beschreven.

De voorgestelde maatregelen zijn minimaal geldend. Echter uit de praktijk blijkt dat producent, afnemer en leidingbeheerder samen vaak nog aanvullende afspraken maken over gasspecificaties, beheer en aanleg. Dit komt niet alleen de operationele aspecten ten goede maar kan daarnaast de kosten voor alle partijen omlaag brengen.

4.2 Aanbevelingen

Uit de analyse van de gevaren van biogas ten opzichte van aardgas en de inventarisatie van huidige biogasleidingprojecten volgen een aantal aanbevelingen:

- Biogasleidingen kunnen bij het Kadaster alleen worden aangemerkt als aardgasleiding. Dit kan verwarring veroorzaken. In het voorstel voor de maatregelen wordt aanbevolen een Eis Voorzorgsmaatregel toe te voegen aan de registratie van de leiding in het Kadaster. Met een aparte biogasleidingregistratie is de Eis Voorzorgsmaatregel mogelijk niet meer nodig. Aanbevolen wordt naar de nut en noodzaak verder onderzoek te doen.
- Bij kunststofleidingen is vermeld hoe de leiding te herkennen moet zijn als zijnde gasleiding (NEN 7244-2:2014). Voor biogas is er op dit moment geen afspraak over de herkenbaarheid. In de praktijk is er op dit moment dan ook geen uniformiteit (zie paragraaf 2.1.2). Het wordt daarom aanbevolen dat een Nederlandse afspraak wordt gemaakt over de kleurstelling van biogasleidingen. In het voorstel voor de richtlijn is opgenomen dat een opschrift 'biogas' totdat er een Nederlandse afspraak is over markering van biogasleidingen, als extra waarschuwing een positief effect kan hebben. Aardgasleidingen dragen overigens geen opschrift over de inhoud en/of druk.
- Gas uit torrefactie en syngas hebben een andere samenstelling dan biogas uit vergisting. Het transport van van deze gassen brengt andere risico's met zich mee. Daarom wordt aanbevolen voor het (toekomstig) transport van syngas en gas uit torrefactie andere richtlijnen op te stellen.
- Voor een totaal veiligheidsbeleid is duidelijke wetgeving, verdeling van taken en verantwoordelijkheden van toezichhoudende instanties, het Kadaster, producenten en beheerders van belang. Deze richtlijnen zijn een aanzet vanuit technisch perspectief. Het wordt aanbevolen met al deze partijen in overleg te gaan om een totaal veiligheidsbeleid neer te zetten. Opname van de richtlijnen in een norm kan een eerste aanzet zijn.
- Naast de maatregelen die genoemd worden is kennis en kunde van alle betrokken partijen erg belangrijk. Calamiteitenoefeningen met producent, afnemer, biogasleidingbeheerder en hulpdiensten zijn hiervoor aan te bevelen.
- Het wordt aanbevolen een Veiligheidsinstructie Biogas te ontwikkelen met veiligheidswerkinstructies specifiek voor biogas.

5 Voorstel voor de richtlijn

Op basis van de geïdentificeerde gevaren van biogas en de voorgestelde maatregelen wordt in dit hoofdstuk een voorstel voor de richtlijn voor het transport van biogas gegeven.

5.1 Voorstel op te nemen maatregelen in richtlijn

Om in de richtlijn minimaal een veiligheidsniveau vergelijkbaar met aardgas te bereiken worden geadviseerd de in de volgende paragrafen genoemde maatregelen minimaal over te nemen naast de maatregelen zoals genoemd in de NEN 7244 en de VIAG. De maatregelen uit de NEN 7244 en VIAG gelden dus ook voor ontwerp, aanleg en beheer van biogasleidingen.

Uiteraard staat het biogasleidingbeheerders vrij (risico gebaseerd) meer aanvullende maatregelen te nemen.

5.1.1 Richtlijnen voor de specificaties van biogas in biogasleidingen

- De volgende gascomponenten:

Gascomponent	Limiet
H ₂ S (controle continu)	160 ppm H ₂ S
Zuurstof (O ₂) (controle continue)	1 mol%
Ammoniak (NH ₃) (halfjaarlijkse controle)	120 ppm NH ₃
Waterstof (H ₂) (halfjaarlijkse controle)	20 mol%
Aromatische koolwaterstoffen (half jaarlijkse controle)	800 ppm
Hogere koolwaterstoffen (halfjaarlijkse controle)	≤ 80 mg/m ³ _n gascondensaat bij -3 °C bij maximale druk (MOP) in de biogasleiding
Waterdauwpunt (controle continu)	-3 °C bij maximale druk (MOP) in de biogasleiding

- Temperatuur van het biogas in de leiding is maximaal +40 °C.

5.1.2 Richtlijnen voor de aanleg van biogasleidingen

In aanvulling op de NEN 7244 en de VIAG:

- Toepassing van leidingen HDPE PE 100 SDR 11 (maximale druk 8 bar) met gelaste verbindingen.
- Vermijd appendages van POM, of onbeschermd staal, koper of aluminium in geval van vochtig biogas.
- Opschrift 'biogas' op de leiding aanbrengen.
- Afstand tot bebouwing minimaal 3,5 meter.
- Boven de biogasleiding en op gepaste diepte onder het maaiveld lint aanbrengen met opschrift 'biogas'.
- Aanbrengen van gasdetectors in geval van biogasleidingen door/naar opstellingsruimten.
- (Calamiteiten)afsluiters op openbaar terrein en mogelijk additioneel een door de leidingbeheerder op afstand bestuurbare invoedingsafsluiter bij de invoeder.

5.1.3 Beheer

In aanvulling op de NEN 7244 en de VIAG:

- Inlichten van onderhouds-, storings- en hulpdiensten over de (mogelijke) aanwezigheid en gevaren van:
 - H₂S,
 - Vocht met micro-organismen,
 - Andere geur,
 - Ophoping van zwaarder biogas in de put.
 - Aanpassing van de calamiteitenplannen, werkinstructies en trainingen op basis van de (mogelijke) aanwezigheid en gevaren van:
 - H₂S,
 - Vocht met micro-organismen,
 - Andere geur,
 - Ophoping van zwaarder gas in de put
 - Bij aanleg van de biogasleiding dient de biogasleidingeigenaar de omwonenden te informeren over de aanwezigheid van de biogasleiding. Daarbij dienen de omwonenden ook te worden geïnformeerd over het ontbreken van de karakteristieke aardgasgeur. De omwonenden zijn alle mensen wiens erf grenst aan het tracé van de biogasleiding en die over de biogasleiding kunnen lopen.
 - Omwonenden informeren over het stortingstelefoonnummer van de biogasleidingbeheerder.
 - De eerste bovengrondse lekzoekronde ná twee tot vier weken ná ingebruikname van een biogasleiding.
 - Bestaande lekzoekapparatuur is bruikbaar. Let op: er bestaat een kans op valse lekindicaties.
 - Bovengronds lekzoeken binnen twee tot vier weken na werkzaamheden aan de biogasleiding of graafwerk rondom de biogasleiding.
 - Jaarlijks schouwen van het tracé naar veranderingen waardoor de situatie niet meer aan de aanvullende maatregelen voldoet.
 - De biogasleiding bij het Kadaster aanmerken met een Eis Voorzorgsmaatregel. Bij graafwerkzaamheden in de buurt van de biogasleiding minimaal de aanvrager inlichten over:
 - Het ontbreken van de kenmerkende aardgasgeur.
 - De aanwezigheid van H₂S.
 - De grotere dichtheid en daarmee gevaren van ophoping van biogas in de put of sleuf.
 - De mogelijke aanwezigheid en gevaren van vocht en micro-organismen in de leiding.
- Op basis van een risico-inschatting door de leidingbeheerder kunnen extra maatregelen worden toegepast zoals bijvoorbeeld toezicht tijdens de werkzaamheden.
- Gebruik van een H₂S detector (om het middel van de monteur) bij werkzaamheden aan een biogasleiding.
 - Aanwezigheid van persoonlijke beschermingsmiddelen in geval van calamiteiten zoals bijvoorbeeld:
 - bij overschrijding van de limiet H₂S in het biogas op de werkplek,
 - bij aangetroffen vocht in de biogasleiding op de werkplek.
 - Controle op de gasspecificaties:

Gascomponent	Controle
H ₂ S	Controle continu
Zuurstof (O ₂)	Controle continu
Ammoniak (NH ₃)	Samplen, twee maal per jaar
Waterstof (H ₂)	Samplen, twee maal per jaar
Aromatische koolwaterstoffen	Samplen, twee maal per jaar
Hogere koolwaterstoffen	Samplen, twee maal per jaar
Waterdauwpunt	Controle continu

De eerste controle binnen één maand na ingebruikname van de biogasleiding.

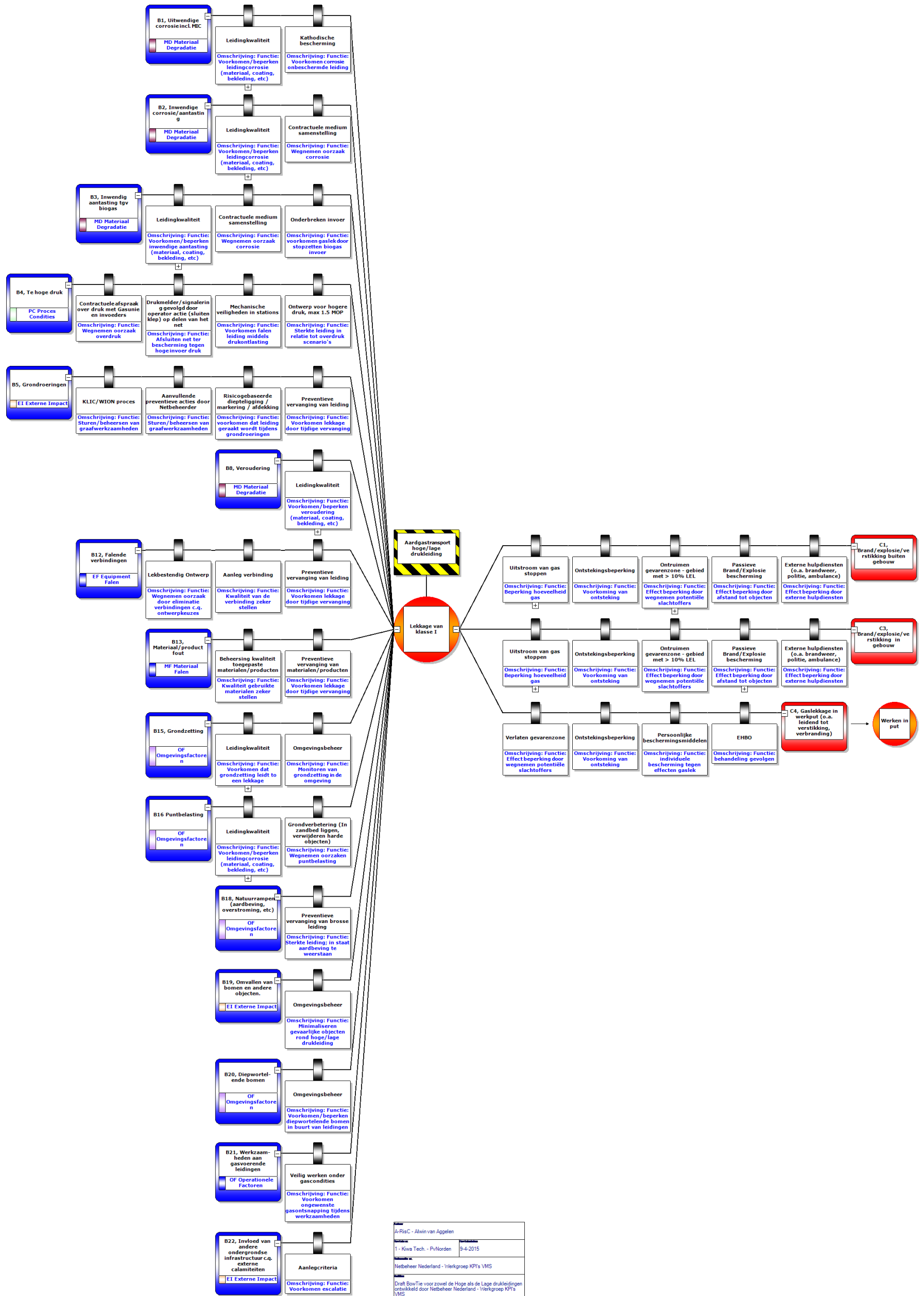
N.B.: De leidingeigenaar is eindverantwoordelijke voor de genoemde beheermaatregelen.

6 Referenties

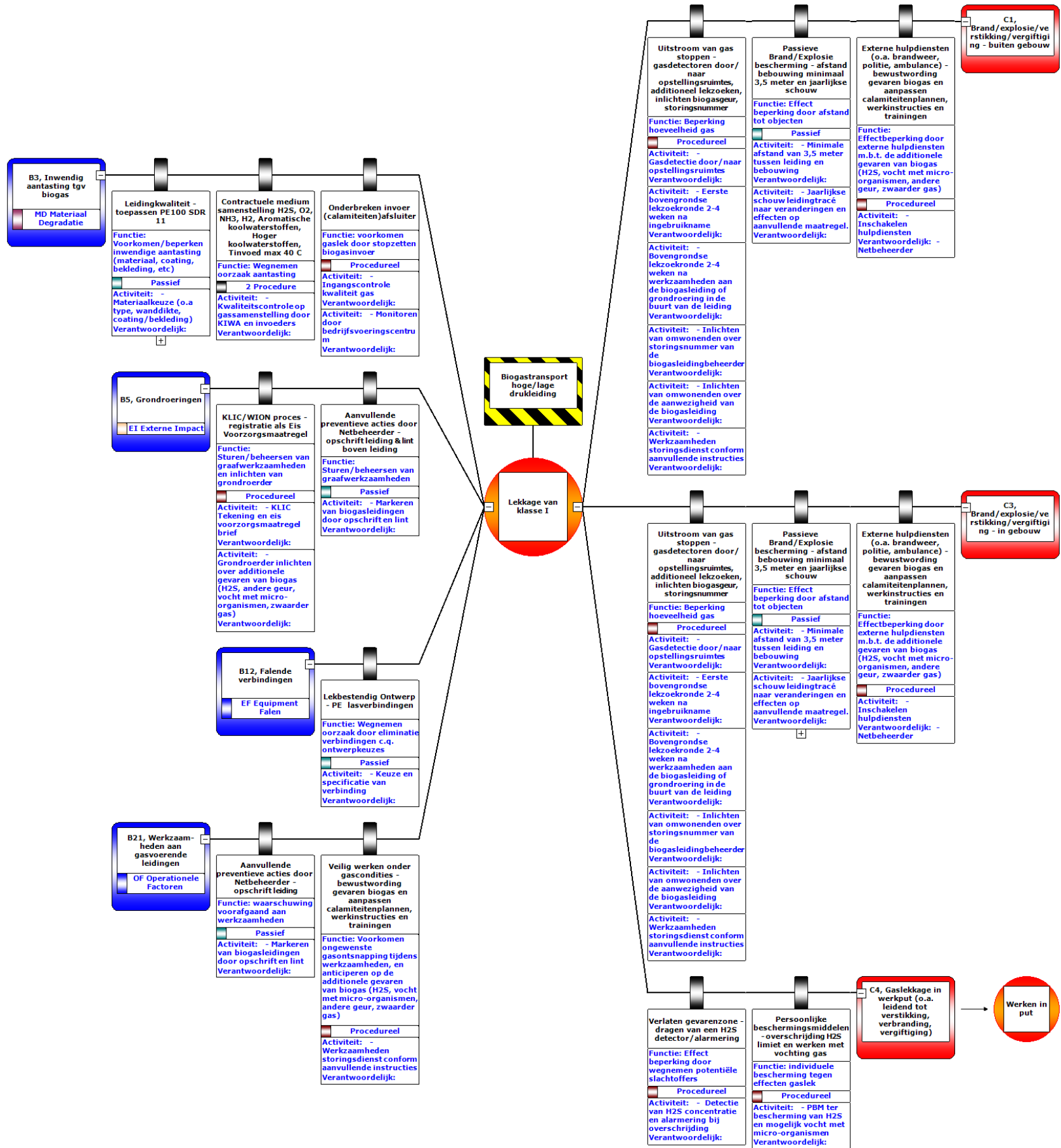
- [I] Ministeriele Regeling Gaskwaliteit, Bijlage 2, 21 juli 2014.
- [II] de Bruin, Hermkens, Ophoff, Postma, Rittel, Scholten, van der Stok, Effects of Wide Band Gases on Materials used in Gas Networks. Literature Review, Kiwa Technology, GT-110205, (2012)
- [III] Meer informatie op www.edgar-program.nl.
- [IV] de Bruin, Hermkens, Rittel, van der Stok, Weller, Effects of Wide Band Gases on Materials used in Gas Distribution Networks. Final Report, Kiwa Technology, GT-140282, (2015)
- [V] de Bruin, Rittel, Scholten, van der Stok, Weller, Impact of Sustainable Gases on Joints used in Gas Distribution Networks. Final Report, Kiwa Technology, GT-140283, (2015)
- [VI] de Bruin, Rittel, van der Stok, Weller, Effects of Narrow Band Gases on Materials used in Gas Distribution Networks. Final Report, Kiwa Technology, GT-140281, (2015)
- [VII] Kippers, Ophoff, Waterstof in aardgas op Ameland. De invloed van maximaal 20% waterstof in het aardgasdistributienet op materialen en gastoestellen; aangevuld met de ervaringen van bewoners, (Dutch), Kiwa Technology, GT-120092, (2012)
- [VIII] Ophoff, (2012), EDGaR C1 Literatuurstudie toxiciteit biogas GT-120367
- [IX] Netbeheer Nederland (2015), VIAG Veiligheidsinstructie aardgas voor de energiebedrijven
- [X] Laan van der, (2013), EDGaR C1 Migration of heavy gases through soil GT-130059
- [XI] Netbeheer Nederland (2012), Meetprocedure voor bovengronds lekzoeken, versie augustus 2012
- [XII] Laan, van der, Pulles (2014), EDGaR C1 The dispersion of biogas compared to natural gas during working conditions GT-140211
- [XIII] Netbeheer Nederland – Werkgroep KPI's VMS versie 11-7-2015 KIWA wijzigingen 2015-08-20, Bow-Tie aardgastransport hoge/lage drukleiding.
- [XIV] Netbeheer Nederland (2012), Meetprotocol voor bovengronds lekzoeken.
- [XV] Polman et. al (2014) The olfactory of odourised biomethane: a novel approach proceedings IGRC 2014
- [XVI] Laboratoriummetingen bij Kiwa Technology
- [XVII] Gerg report 1.62 Micro organisms in biogas, R.N. van Eekelen en E.A. Polman
- [XVIII] Inventory of the risk of transmission of pathogens from biogas; I. Bisschops, M. van Eekert, April 2008, LeAF
- [XIX] Identification of the microbiological community in biogas systems and evaluation of microbial risks from gas usage; Björn Vinnerås, Caroline Schönning, Annika Nordin, Swedish University of Agricultural Sciences, National Veterinary Institute, Swedish Institute for Infectious Disease Control, Sweden; Science of the Total Environment, March 2006
- [XX] E.ON study 'Untersuchung Gasbeschaffenheiten-Mikrobiologische Analyse
- [XXI] Guidance Document for introduction of Dairy Waste Bio methane, Gas Technology Institute, september 2009
- [XXII] New networks for biogas, gerg study 2012, R.N. van Eekelen, E.A. Polman. H.A. Ophoff en M. van der Laan
- [XXIII] DVGW (2011) G 415 Technischer Hinweis – Merkblatt Leitfadens für Planung, Bau und Betrieb von Biogasleitungen.
- [XXIV] http://www.bsa-site.nl/ems/nl/downloads_macwaarden.html, laatste bezocht op 16 september 2015
- [XXV] Air products, Material safety data sheet Carbon Dioxide MSDS #1005
- [XXVI] Groot et. al (2009) Dossier Verstikkingsgevaar in besloten ruimtes. www.arbokennisnet.nl

- [XXVII] Urban et. al. (2009) Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und einspeisung in das Erdgasnetz, <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-94887.html>
- [XXVIII] Hoeveelheid actieve kool bij diepreiniging biogas.
<http://www.waalwijk.nl/docs/Ruimtelijke%20plannen/Voorontwerp%20bestemmingsplan/Biomassa%20centrale%20Waalwijk/Aanmeldingsnotitie%20DEFINITIEF%2022-9-09.pdf> , laatst bezocht op 24 september 2015
- [XXIX] Reiniging van gassen. <http://www.chemvironcarbon.com/nl/actieve-kool-toepassingen/industriële-processen/zuivering-van-gassen>, laatst bezocht op 24 september 2015
- [XXX] A. Wellinger, J. Murphy, D. Baxter (2013), The biogas handbook. IEA bioenergy.
- [XXXI] Vlap, H, Bos – de Haan, R. (2013) Greensafe Risico-inventarisatie van microbiologische componenten in groengas GCS.13.R.23728-A.
- [XXXII] Bioclear (2012) RENDO N.V. Analyseresultaten fase 2 – bepaling aanwezigheid van micro-organismen in ruw biogas
- [XXXIII] RENDO Netwerken (2012) Biogasleidingsystemen Veiligheidswerkinstructie P05-WI80
- [XXXIV] Middha, P. "Can the addition of hydrogen to natural gas reduce the explosion risk?", Int. Journal of Hydrogen Energy 36 (2011) 2628-2636.
- [XXXV] R. de Jonge (2008) Risk assessment of microbiological hazards in landfill gas and biogas, RIVM.
- [XXXVI] S. Rasi et al., Energy 32 (2007) 1375-1380.
- [XXXVII] Polman, Erik. "Trace gas components in biomethane: the devil is in the details." Enabling Sustainability with Gas: Closing Conference of the Energy Delta Gas Research, Amsterdam, March 2015.
- [XXXVIII] Netbeheer Nederland, Conceptspecificaties voor het transport van biogas 15 maart 2012
- [XXXIX] Physical properties of natural gas, Gasunie (1980).
- [XL] K. Arrhenius en U. Johansson,, Rapport SGC 246. Characterization of contaminants in biogas before and after upgrading to vehicle gas
- [XLI] M. Ajhar, M. Travesset, S. Yuce en T. Melin, Bioresource Technology, 101 (2010) p 2913-2923
- [XLII] Gezondheidsraad, Samenvatting Zwavelwaterstof, http://www.gezondheidsraad.nl/sites/default/files/samenvatting_zwavelwaterstof.pdf laatst bezocht op 14 januari 2016.

I.1 Bijlage 1 – generieke Bowtie Netbeheer Nederland (d.d.2015-08-20)



I.2 Bijlage 2 – Additionele maatregelen uit de voorgestelde richtlijn voor transport van biogas (d.d.2016-1-26)





Dit is een publicatie van:
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 042 42 42
E klantcontact@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2016
Publicatienummer: RVO-047-1601/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.