

Brandweeroptreden bij incidenten met LNG



Instituut Fysieke Veiligheid
Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Titel: Brandweeroptreden bij incidenten met LNG
Datum: 19 november 2015
Status: Definitief
Versie: 1.0
Auteurs: Manon Oude Wolbers
Review: Dick Arentsen (VBV), Marco van den Berg (DCMR), Marcel Bikker (Rolande LNG), Ton Bikker (Linde Gas), Jos Dresen (VRGZ), Jeroen Keyser (VRU), Gert-Jan Langerak (Falck), Jetty Middelkoop (Brandweer AA), Peter de Roos (H2K), Nils Rosmuller (IFV), Sietse Smit (VRG)
Eindverantwoordelijk: Wim Beckmann
Beelmateriaal: Instituut Fysieke Veiligheid, Falck Nederland, Gezamenlijke Brandweer, Linde Gas, Rolande LNG, Swedish Gas Association

Ontwikkelingen op het gebied van LNG volgen elkaar snel op. Deze publicatie is dan ook een weergave van de huidige stand van zaken. Om de publicatie te kunnen blijven ontwikkelen en verbeteren, ontvangt de Brandweeracademie graag commentaar en suggesties ter verbetering. Wij nodigen u dan ook uit om uw opmerkingen op te sturen naar onderwijscontent@ifv.nl, onder vermelding van 'Brandweeroptreden bij incidenten met LNG'.

Voorwoord

De publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met LNG* informeert hulpverleners over de gevaren en mogelijke scenario's en incidenten met LNG, zoals incidenten rondom de opslag, het transport en laden en lossen van LNG, maar ook rondom voer- en vaartuigen die LNG als brandstof gebruiken. Omdat de ontwikkelingen op het gebied van LNG snel plaatsvinden, gaan we ervan uit dat deze publicatie zich in de loop der tijd steeds verder zal ontwikkelen en verbeteren.

Er is in deze publicatie informatie opgenomen over wet- en regelgeving voor toepassingen van LNG en het beleid voor externe veiligheid. Deze informatie zal in de nabije toekomst beschikbaar komen via de *Handreiking Externe veiligheid advisering LNG*, waarna deze publicatie zal worden aangepast. Het wel of niet mogelijk zijn van een BLEVE van insluitsystemen met LNG is nog niet bewezen en zal worden getest. Ook worden nog onderzoeken en berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van maatgevende, geloofwaardige scenario's voor LNG. Dit gebeurt samen met het bedrijfsleven. De resultaten hiervan zullen verwerkt worden in een volgende versie van deze publicatie, die dan ook afgestemd zal worden op de (nog te verschijnen) handreiking.

De inhoud van deze publicatie is gevalideerd tijdens een bijeenkomst met diverse inhoudsdeskundigen.

Vanuit de Brandweeracademie willen wij alle mensen die een bijdrage aan deze publicatie hebben geleverd hartelijk bedanken. In het bijzonder noemen we leden van de Regiegroep LNG, LNG Regiegroep Incidentbestrijding, werkgroep Handreiking EV advisering LNG en Vakgroep IBGS. Daarbij een speciale dank voor degenen die een inhoudelijke bijdrage hebben geleverd en de reviewers van deze publicatie: Marcel Bikker (Rolande LNG), Ton Bikker (Linde Gas), Gert-Jan Langerak (Falck), Peter de Roos (H2K), Marco van den Berg (DCMR), Dick Arentsen (VBV), Nils Rosmuller (IFV), medewerkers veiligheidsregio's: Maarten van Abeelen, Arie van den Berg, Brian Mo-Ajok, Marijn Veenstra (Rotterdam Rijnmond); Sander Lepelaar, Inez Rijnhart (Haaglanden), Jos Dresen (Gelderland-Zuid), Jeroen Keyser (Utrecht), Bart Koning (Zaanstreek-Waterland), Jetty Middelkoop (Amsterdam-Amstelland) en Sietse Smit (Groningen).

Manon Oude Wolbers
Vakgroepdecaan Risicomanagement & Gevaarlijke stoffen
Brandweeracademie/IFV

Inhoud

	Inleiding	6
1	Gassen: algemeen	7
1.1	Gevarenklasse 2	7
1.2	Opslaan en vervoeren	9
1.3	Gevaren	12
1.4	Mogelijke scenario's gassen	15
2	LNG: eigenschappen en gevaren	23
2.1	Samenstelling en voorkomen LNG	23
2.2	Eigenschappen LNG	25
2.3	Gevaren	28
2.4	Scenario's LNG	31
3	LNG: de keten	32
3.1	Productie	32
3.2	Opslag	34
3.3	Transport	35
3.4	Gebruik	35
4	Opslag van LNG	36
4.1	Opslagtanks	36
4.2	LNG-bunkerinstallatie	36
4.3	LNG-afleverinstallatie	37
5	Transport van LNG	43
5.1	LNG in (bunker)schepen/vaartuigen	43
5.2	LNG in tankwagens	44
6	LNG als brandstof	51
6.1	Vrachtwagens en bussen	51
6.2	Scheepvaart	54
6.3	LNG als schone brandstof	55
7	Laden en lossen van LNG	58
7.1	Verpompen van LNG	58
7.2	Tanken van LNG	60
7.3	'Mobiel' tankstation	61
8	Veiligheidsvoorzieningen en -eisen	63
8.1	LNG-aflever- en bunkerinstallaties	63
8.2	LNG-vaartuigen	65
8.3	LNG-tankwagens	65
8.4	Noodstopvoorzieningen	66
9	Scenario's LNG-incidenten	68
9.1	Waargebeurde scenario's	68
9.2	Scenario's LNG	70

9.3	Overzicht van berekende effectafstanden	78
9.4	Geloofwaardigheid scenario's	79
10	Brandweeroptreden bij incidenten met LNG	81
10.1	Gevaren LNG	81
10.2	Handelingsperspectief brandweer	84
10.3	Cryogeen LNG-Hulpregeling	85
11	Bronnen	86
	Bijlage 1 Wet- en regelgeving	88
	Bijlage 2 Organisaties	92
	Bijlage 3 Aandachtskaart: Handelingsperspectief LNG	94
	Bijlage 4 Aandachtskaart: Verkennen gassen	99
	Bijlage 5 Protocolkaarten Brandweer Nederland	101

Inleiding

LNG (Liquefied Natural Gas) is een brandbaar gas dat vloeibaar wordt gemaakt door het zeer sterk af te koelen. LNG is een mengsel met als hoofdbestanddeel methaan (aardgas). Daarnaast bevat LNG mogelijk restgassen zoals stikstof, propaan en ethaan. De voordelen van LNG als brandstof zijn de relatief hoge energiedichtheid en de relatief lage uitstoot aan luchtvervuilende stoffen, zoals CO₂ (kooldioxide), NO_x (stikstofoxiden) en SO₂ (zwaveldioxide).

LNG is een sterk opkomende brandstof voor de transportsector. Dit geldt voor zowel wegvervoer (vooral vrachtwagens) als scheepvaart en op korte termijn mogelijk ook voor spoorvervoer op de niet-geëlektrificeerde lijnen in Noord-Nederland. Daarnaast wordt LNG steeds meer toegepast in de industrie.

De Nederlandse brandweer wordt in de dagelijkse praktijk geconfronteerd met (vragen over) mogelijke incidenten met LNG. Het gaat daarbij om incidenten rondom de opslag, het transport en laden en lossen van LNG, maar ook rondom voer- en vaartuigen die LNG als brandstof gebruiken. Het doel van deze publicatie is om manschappen, bevelvoerders, Officieren van Dienst en Adviseurs Gevaarlijke Stoffen te informeren over al deze aspecten, zodat zij veilig, verantwoord en effectief kunnen optreden bij incidenten met LNG.

Leeswijzer

De publicatie bestaat uit twee delen. Het eerste deel bevat informatie over LNG en de toepassing ervan, het tweede deel is georiënteerd op informatie over veilig brandweeroptreden bij incidenten met LNG.

Allereerst wordt in hoofdstuk 1 een algemene introductie gegeven van gassen. In hoofdstuk 2 wordt vervolgens uitgebreid stilgestaan bij wat LNG precies is: wat zijn de eigenschappen en gevaren van LNG? Daarna wordt in hoofdstuk 3 de LNG-keten besproken, van productie tot gebruik. Hoofdstuk 4 heeft betrekking op de verschillende manieren waarop LNG opgeslagen kan worden en hoofdstuk 5 op het transport van LNG door schepen/vaartuigen en tankwagens. Uiteraard wordt LNG ook als brandstof gebruikt. In hoofdstuk 6 wordt nader toegelicht hoe de transportsector (vrachtwagens en bussen) en de scheepvaart van deze brandstof gebruikmaken. In hoofdstuk 7 staat laden en lossen van LNG centraal. Het eerste deel van de publicatie eindigt met hoofdstuk 8, waarin de veiligheidsvoorzieningen en -eisen worden toegelicht. Vanaf hoofdstuk 9 begint het tweede deel van de publicatie, met scenario's van LNG-incidenten. In hoofdstuk 10 wordt tot slot informatie gedeeld over hoe de brandweer veilig kan optreden bij incidenten met LNG: de gevaren, een handelingsperspectief en de cryogeen-LNG-hulpregeling.

1 Gassen: algemeen

LNG is een vloeibaar gemaakt gas. De eigenschappen van LNG worden daarom beschreven op basis van de eigenschappen van gassen in het algemeen. Om die reden wordt in dit eerste hoofdstuk algemene informatie gegeven over gassen. Na dit algemene hoofdstuk zal vervolgens in het volgende hoofdstuk 2 specifiek aandacht zijn voor de eigenschappen en de samenstelling van LNG en beschreven wat LNG bijzonder maakt in vergelijking met andere gassen.

Allereerst wordt in paragraaf 1.1 besproken tot welke gevarenklasse gassen behoren en vervolgens komt in paragraaf 1.2 aan de orde hoe gassen opgeslagen en vervoerd kunnen worden. Daarna worden gevaren van gassen (paragraaf 1.3) en tot slot mogelijke scenario's (paragraaf 1.4) toegelicht.

1.1 Gevarenklasse 2

Gassen zijn stoffen die:

- > bij 50 °C een dampdruk hebben hoger dan 300 kPa¹
- > bij 20 °C en de standaarddruk van 101,3 kPa volledig gasvormig zijn.²

Gassen behoren tot gevarenklasse 2. In gevarenklasse 2 wordt onderscheid gemaakt in:















- > samengeperst gas: een gas dat onder druk verpakt bij -50 °C geheel gasvormig is, bijvoorbeeld waterstof en aardgas en in drukhouders
- vloeibaar gemaakt gas: een gas dat onder druk verpakt bij temperaturen hoger dan -50 °C gedeeltelijk vloeibaar is, bijvoorbeeld propaan, butaan, LPG, chloor en ammoniak
- > sterk gekoeld, vloeibaar gemaakt gas: een gas dat onder een zodanig lage temperatuur verpakt is dat het gedeeltelijk vloeibaar is, bijvoorbeeld LNG, vloeibaar stikstof en vloeibaar zuurstof
- > opgelost gas: gas dat opgelost is in een oplosmiddel in vloeibare fase en zodanig verpakt, bijvoorbeeld acetyleen
- > spuitbussen en kleine houders met gas (gaspatronen)
- > andere voorwerpen die gas onder druk bevatten, zoals: koelmachines met niet brandbaar en niet giftig gas of ammoniakoplossing; voorwerpen onder pneumatische of hydraulische druk (met niet brandbaar gas);; kleine apparaten en navulpatronen met koolwaterstofgas en patronen voor brandstofcellen die een vloeibaar gemaakt, brandbaar gas bevatten.
- > drukloze gassen die aan bijzondere voorschriften onderworpen zijn (gasmonsters)
- > chemische stoffen onder druk, bv stoffen die onder een inerte atmosfeer zoals stikstof bewaard moeten worden omdat ze ander bederven
- > geadsorbeerde gassen.

Gevarenklasse 2 wordt verder onderverdeeld in de subklassen 2.1, 2.2 en 2.3, zie voor een toelichting tabel 1.1.

¹ kPa staat voor kiloPascal: dat is de officiële SI-eenheid voor de dampdruk, waarbij 100 kPa overeenkomt met 1 bar, dus 300 kPa = 3 bar.

² 101,3 kPa komt overeen met 1,013 bar en is gelijk aan de gemiddelde luchtdruk van 1 atm (= atmosfeer).

Tabel 1.1 Gassen behoren tot gevarenklasse 2, met subklassen 2.1, 2.2 en 2.3

Klasse 2	Subklasse 2.1	Subklasse 2.2	Subklasse 2.3	Mogelijke bijkomende gevaren		
Soort gas	Brandbare gassen	Niet-brandbare, niet-giftige gassen	Giftige gassen	Oxiderend	Bijtend	Milieu-gevaarlijk
ADR ³						
GHS ⁴	 		 			

De gevaren van gassen zijn brandbaar, verstikkend en giftig; deze gevaren komen overeen met de subklassen. Daarnaast kunnen gassen bijkomende gevaren hebben, zoals oxiderend, bijtend en/of milieugevaarlijk. Voorbeelden van oxiderende gassen zijn zuurstof en lachgas. Een voorbeeld van een bijtend, giftig en milieugevaarlijk gas is ammoniak met GEVI⁵ 268. Chloor is giftig, oxiderend en bijtend en heeft GEVI 265. LNG is een brandbaar gas dat sterk gekoeld vloeibaar is en heeft GEVI 223. De gevaren worden aangeduid met het GEVI-nummer.

In tabel 1.2 is een volledig overzicht weergegeven van de GEVI-nummers die gebruikt worden voor gassen.

In het ADR worden producten die ingedeeld zijn in gevarenklasse 2 onderverdeeld in de volgende drie classificaties.

- > Classificatie 1: samengeperst gas.
- > Classificatie 2: onder druk vloeibaar gemaakt gas.
- > Classificatie 3: sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas.

In het ADR is LNG een klasse 2 product, met de F van (Flammable) brandbaar en classificatie 3 van sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas. CNG is een klasse 2 product, ook met de F van brandbaar en classificatie 1 van samengeperst gas. LPG is ook klasse 2 en brandbaar (F) maar met de classificatie 2 van onder druk vloeibaar gemaakt gas.

³ ADR = Accord européen relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route. Het ADR is het verdrag voor het internationale vervoer van gevaarlijke stoffen en goederen over de weg en omvat onder andere eisen voor gevaarlijke stoffen over: criteria voor gevaarsindeling; vervoersvoorwaarden; voorschriften voor en eisen aan verpakkingen en tanks; procedures voor de verzending, inclusief etikettering en documentatie.

⁴ GHS = Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals. Het GHS is een set van criteria voor het indelen van de gevaarseigenschappen van stoffen en mengsels. Het doel van dit systeem is te komen tot één wereldwijd geharmoniseerd systeem voor de gevaarsindeling van stoffen op het gebied van de levering, het vervoer (over land, spoor en water) en het gebruik van stoffen en mengsels.

⁵ GEVI = gevaarsidentificatienummer, het getal dat aangeduid staat op de bovenste helft van een (oranje) kemler bord, dat wordt gebruikt bij het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.

Tabel 1.2 Gevaarsidentificatienummers (GEVI) en voorbeelden van gassen

GEVI	Betekenis	Voorbeeld
20	Verstikkend gas of gas dat geen bijkomend gevaar vertoont	Drukhouder stikstof, kooldioxide, helium, argon
22	Sterk gekoeld, vloeibaar gemaakt gas, verstikkend	Door koude vloeibaar gemaakt stikstof, kooldioxide, helium, argon
223	Sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas, brandbaar	LNG, etheen
225	Sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas, oxiderend (verbranding bevorderend)	Door koude vloeibaar gemaakt zuurstof of lucht
23	Brandbaar gas	LPG, waterstof, aardgas (leiding), CNG
239	Brandbaar gas, dat aanleiding kan geven tot een spontane heftige reactie	Acetyleen
25	Oxiderend (verbranding bevorderend) gas	Lachgas, drukhouder zuurstof
26	Giftig gas	Methylbromide
263	Giftig gas, brandbaar	Koolmonoxide, zwavelwaterstof
265	Giftig gas, oxiderend (verbranding bevorderend)	Chloor, stikstofdioxide
268	Giftig gas, bijtend (corrosief)	Ammoniak, chloorwaterstof, broomwaterstof, fosgeen, zwaveldioxide

1.2 Opslaan en vervoeren

Er zijn drie manieren om gassen op te slaan of te vervoeren:

- > onder druk samengeperst
- > onder druk vloeibaar gemaakt
- > door sterke afkoeling vloeibaar gemaakt, ook wel cryogene gassen genoemd (GEVI begint met 22).

In de laatste twee gevallen is het gas vloeibaar.

1.2.1 Insluitsysteem

Een gas wordt opgeslagen of vervoerd in een afgesloten drukhouder, dubbelwandig geïsoleerd vat (vergelijkbaar met een thermosfles), leiding, gascilinder, et cetera. Omdat het gas hierin wordt ingesloten, spreken we ook wel over insluitsystemen. In deze publicatie wordt de term insluitsysteem gebruikt als algemene benaming.

In een insluitsysteem met een vloeibaar gemaakt gas zijn twee fasen aanwezig: de vloeibare fase en de gasfase. De gasfase moet aanwezig zijn om de vloeibare fase de gelegenheid te geven uit te zetten bij temperatuurstijging. De vloeibare fase bevindt zich natuurlijk onder en de gasfase daarboven. Als een insluitsysteem volledig gevuld zou zijn en deze bijvoorbeeld opgewarmd wordt door de zon, dan heeft de vloeibare fase geen ruimte om uit te zetten. De vloeibare fase is namelijk niet samenpersbaar. Bij temperatuurverhoging van een vloeibare

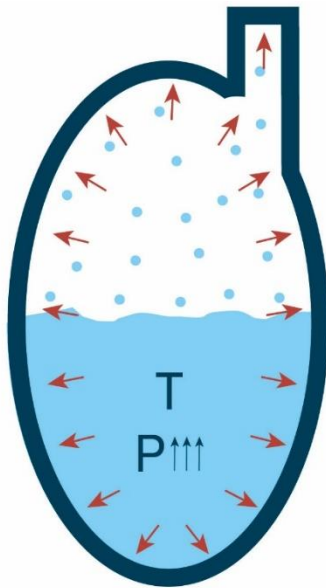
fase is de volumevergroting beperkt en treedt vooral drukverhoging op. Om deze variaties op te vangen is een insluitsysteem daarom maximaal voor 72 tot 98 procent gevuld.

1.2.2 Drukhouder versus 'thermosfles'

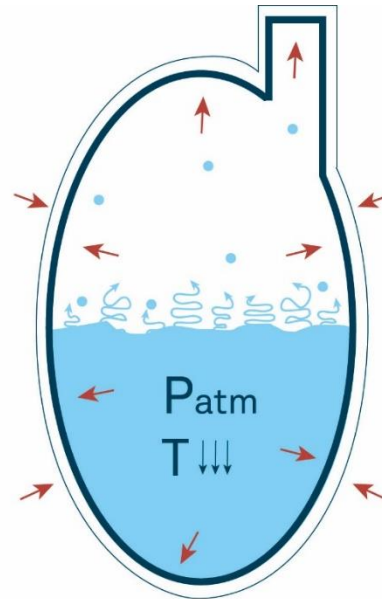
Een onder *druk* vloeibaar gemaakt gas bevindt zich in een druhouder, een dik stalen vat met sterke wand die hoge drukken kan weerstaan. In dit vat is de temperatuur 'normaal' (ofwel gelijk aan die van de omgeving) en de druk verhoogd (zoals een ademluchtfles of gascilinder, zie afbeelding 1.3).

Een door *koude* vloeibaar gemaakt gas bevindt zich in een dubbelwandig, geïsoleerd afgesloten vat (Dewarvat). In dit vat is de druk 'normaal' of atmosferisch en de temperatuur extreem laag (zoals een afgesloten thermosfles met koude vloeistof, zie afbeelding 1.4).

Afbeelding 1.3 Drukhouder



Afbeelding 1.4 'Thermosfles' (Dewarvat)



Voor zo'n koude 'thermosfles' is het normaal dat de temperatuur langzaam oploopt, omgekeerd aan het proces waarbij een thermoskan koffie langzaam koud wordt. De koude vloeibare fase neemt langzaam de temperatuur van de omgeving aan. Als de vloeibare fase opwarmt, verdampt deze langzaam (omdat de temperatuur dicht bij het kookpunt komt) waardoor de druk langzaam toeneemt in het vat. Dat betekent dat een vat voor cryogene gassen ook verhoogde drukken moet kunnen weerstaan, maar deze liggen lager dan die van een druhouder. In de afbeeldingen 1.3 en 1.4 wordt dit schematisch aangegeven door het aantal pijltjes in het vat. Een 'thermosfles' wordt dus beïnvloedt door zijn omgeving, terwijl een druhouder daar onder normale omstandigheden nauwelijks door beïnvloed wordt. In de afbeeldingen 1.3 en 1.4 wordt dit schematisch aangegeven met het aantal pijltjes rondom het vat.

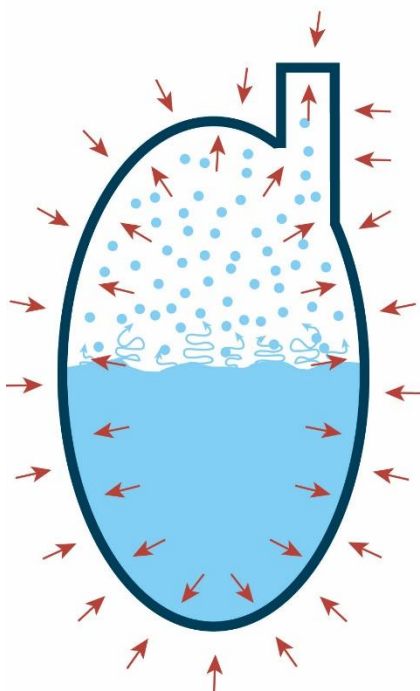
Het verdampen van de vloeibare fase kost energie, die wordt onttrokken aan de omgeving en aan de vloeibare fase zelf. De achterblijvende vloeibare fase wordt dus steeds kouder en 'kookt koud' (dit is hetzelfde principe als bij de *koudgekookte plas*, zie voor verdere uitleg paragraaf 1.4). Het geheel warmt vervolgens op door de omgeving en de verdamping neemt weer toe.

Afgesloten vaten kunnen voorzien zijn van een veiligheidsvoorziening zoals een afblaasveiligheid of breekplaat. Zo'n veiligheidsvoorziening gaat open bij een vooraf ingestelde druk. Als insluitsystemen met cryogene gassen langdurig opwarmen en er geen afname van het product plaatsvindt, zal de druk oplopen tot de insteldruk van de

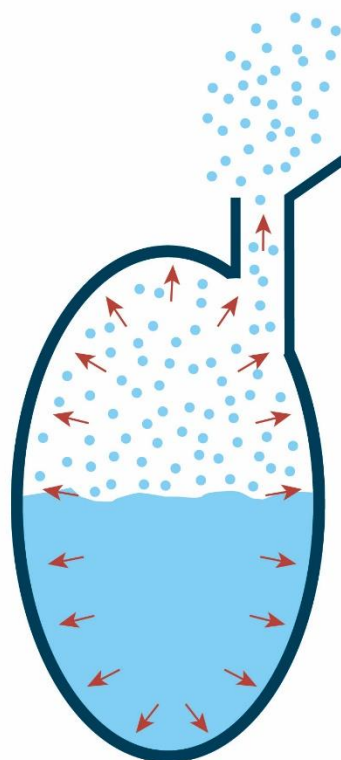
afblaasveiligheid en wordt een kleine hoeveelheid gas uitgestoten. Dit wordt Boil-Off-Gas (BOG) genoemd. Na de uitstoot begint de afgekoelde vloeibare fase weer langzaam op te warmen. Een opslagsysteem voor LNG is altijd voorzien van zo'n veiligheidsvoorziening.

De temperatuur en druk in een insluitsysteem kunnen snel toenemen, bijvoorbeeld door brand in de omgeving, beschadiging van de isolatie of wegvallen van koeling. Het gevolg kan zijn dat een te hoge druk wordt opgebouwd (zie afbeelding 1.5). Een afblaasveiligheid zal, indien aanwezig, openen bij de druk waarop deze is afgesteld. Hierdoor neemt de druk af (zie afbeelding 1.6). De afblaasveiligheid zal, als de druk weer lager is dan de insteldruk, weer sluiten. Als een afblaasveiligheid niet aanwezig is of niet goed functioneert, zal het vat openbarsten als de druk is opgelopen tot de barstdruk van het vat. Het resultaat is het bezwijken of falen van de tankwand en het ineens vrijkomen van de inhoud. Dit wordt ook wel BLEVE genoemd. Omdat de druk in een drukhouder hoger is dan in een 'thermosfles', zullen de effecten bij een BLEVE van een drukhouder groter zijn. Zie verder paragraaf 1.4.

Afbeelding 1.5 Oplopen temperatuur en druk door aanstralen



Afbeelding 1.6 Openen afblaasveiligheid (en vrijkomen BOG)



Insluitsystemen kunnen extra geïsoleerd worden om te voorkomen dat de inhoud snel op kan warmen. De insluitsystemen ofwel tankwagens waarin LPG wordt vervoerd zijn drukhouders. Deze worden in Nederland tegenwoordig extra geïsoleerd om de weerstand tegen hittestraling bij brand te vergroten. Een geïsoleerde LPG-tankwagen is te herkennen aan het witte bord met een zwarte rand en opschrift 'BR' (Bleve Resistant) (zie afbeelding 1.7). LPG-tankwagens die tankstations (dichtbij kwetsbare bebouwing) bevoorraden moeten voorzien zijn van deze extra isolatie, ook wel coating genoemd. Oudere en buitenlandse LPG-tankwagens hebben vaak geen coating. Deze zijn te herkennen aan het hiteschild (extra 'dakje') bovenop de tankwagen over de hele lengte van de tank. Tankwagens die gekoelde gassen vervoeren zijn dubbelwandige, geïsoleerde vaten (te vergelijken met thermosflessen). De druk in deze tankwagens is wel verhoogd door het opwarmen en daardoor verdampen van het gekoelde gas, maar dit is bij regulier gebruik veel lager dan in een drukhouder.

Afbeelding 1.7 Geïsoleerde LPG-tankwagen te herkennen aan het witte bord met opschrift 'BR' (Bleve Resistant)



Als een *niet-geïsoleerde* tankwand aangestraald wordt door brand, wordt de wand van het insluitsysteem beter gekoeld door de vloeibare fase dan door de gasfase. De vloeibare fase kan namelijk beter warmte opnemen. Dit kan zichtbaar zijn aan de buitenkant, omdat de wand meer verkleurt en de verf sneller kan afbladeren waar de gasfase zit (aan de bovenkant). Dit is niet mogelijk als de isolatie intact is, bijvoorbeeld voor gecoate tankwagens en tanks voor cryogene gassen. Pas als de buitenwand en isolatie beschadigd zijn, gaat opwarming door aanstraling een rol spelen.

1.3 Gevaren

Als gassen vrijkomen, verspreiden ze zich in de omgeving en kunnen een gevaar vormen voor personen, dieren en milieu. Effecten kunnen optreden na direct contact met het gas, dit wordt directe blootstelling genoemd. Ook kunnen effecten optreden zonder direct contact met de stof als gevolg van stralingseffecten. Dit is mogelijk bij (niet-)ioniserende, warmte- en koudestraling. Blootstelling aan gevaarlijke stoffen kan plaatsvinden op verschillende manieren, via de zogenaamde blootstellingsroutes.

1.3.1 Verspreiding van gassen

De wijze waarop gassen zich verspreiden nadat ze zijn vrijgekomen, hangt af van zowel stoffeigenschappen als omgevingseigenschappen.

Soort gas en de fysisch-chemische eigenschappen

- > Relatieve dampdichtheid ten opzichte van lucht. Gassen die zwaarder zijn dan lucht verspreiden zich laag over de grond en blijven vooral op de lager gelegen delen hangen. Gassen die lichter zijn dan lucht zullen langzaam opstijgen en vermengen met lucht.⁶
- > Oplosbaarheid/absorptie in water. Een gas dat oplosbaar is in water (hydrofiel) zal 'oplossen' in het vocht dat in de omgevingslucht aanwezig is. Daardoor zal het zwaarder worden en zich minder snel verspreiden. Een hoge luchtvochtigheid, regen of mist zorgen ervoor dat deze gassen 'uitwassen' (oplossen in vocht of water), waardoor de gaswolk wordt verkleind of verdund.

⁶ In de praktijk blijkt dat gassen die lichter zijn dan lucht bij het 'langzaam opstijgen' zodanig vermengen met lucht dat er een damp-luchtmengsel ontstaat dat ongeveer even zwaar is als lucht. Daardoor stijgt het niet verder. Lichte gassen stijgen dus niet 'boven de lucht uit'.

- > Warmtecapaciteit en -geleidbaarheid. De mate waarin het gas warmte uit de omgeving kan opnemen en geleiden, bepaalt hoe snel het gas de omgevingstemperatuur aanneemt.

Temperatuur

- > Bij vrijkomen zijn gassen koud door verdamping en expansie (uitzetten), blijven laag bij de grond en mengen met de lucht. Dit mengsel is te zien als witte nevel; dit is water dat uit de lucht condenseert (zie paragraaf 1.4) maar bevat dus ook gas. Het mengsel verspreidt zich over de grond door de sterke afkoeling.

Tijdsduur waarin het gas vrijkomt

Hierbij zijn twee soorten van ontsnappingen te onderscheiden.

- > Instantaan: alle gas komt in één keer (binnen drie minuten) vrij, een 'puf'-ontsnapping, de gaswolk trekt met de wind mee. Bijvoorbeeld als een gastank opeens openscheurt (= volledig falen).
- > Continu: het gas komt gedurende een langere periode continu vrij, er ontstaat een langgerekte pluim. Bijvoorbeeld bij een relatief klein gat in een gastank.

Snelheid waarmee het gas vrijkomt

- > Bij snellere stroming is de opmenging met de lucht beter en is het insluitsysteem sneller leeg.
- > Bij gehinderde uitstroming botst gas tegen obstakels, waardoor snelheid en daarmee de opmenging afneemt: het gas blijft hangen en een gedeelte kan uitregenen of uitstromen in een koudgekookte plas.⁷
- > Bij inpandig vrijkomen is opmenging minder, wordt het gas opgesloten en bestaat de kans op drukopbouw en mogelijk explosief vrijkomen.

Meteo

- > Effect wind: bij windstil weer blijft het gas relatief lang 'hangen', bij harde wind mengt het gas snel op in de atmosfeer en verplaatst zich met de wind mee (windrichting). Let op: gassen die (aanvankelijk) zwaarder zijn dan lucht kunnen zich tegen de wind in verplaatsen. Dit geldt vooral als het gas vrijkomt boven aan een helling.
- > Stabiliteit atmosfeer: hoe minder stabiel de atmosfeer, hoe meer wervelingen en opmenging, hoe beter het gas zich vermengt met lucht en hoe lager de concentratie. Vooral de onderste luchtlagen bepalen de verspreiding van de gaswolk.
- > Inversielaag: normaal gesproken wordt de temperatuur van de lucht steeds lager naarmate de afstand tot de aarde groter wordt. Een inversielaag is een luchtlag waarin het temperatuurverloop omgekeerd is. Als een vrijgekomen gas tegen een inversielaag aankomt, stijgt het niet verder omhoog, maar verspreidt het zich horizontaal. Een inversielaag is goed te zien bij een rookpluim die plotseling niet verder opstijgt, maar zich horizontaal verspreidt.
- > Temperatuurgradiënt van de atmosfeer: een gas- of rookwolk stijgt op zolang deze warmer is dan zijn omgeving en blijft laag hangen zolang deze kouder is dan zijn omgeving. Als de temperatuur van de wolk gelijk is geworden aan de omgevingslucht, zal de wolk niet verder stijgen en zich horizontaal verplaatsen.
- > Luchtvochtigheid: als de lucht vochtig is zullen hydrofiele gassen oplossen en zwaarder worden.

⁷ Belangrijke parameters die bepalen of een gasuitstroming kan leiden tot een plas zijn de uitstroomsnelheid, de leidingdiameter en de druppelgrootte van de vloeibare fase. Uit berekeningen (DNV) blijkt dat alleen uitstroming bij een leidingbreuk met druppelgroottes groter dan 1 mm en snelheden kleiner dan 10 m/s leiden tot een plas. Deze situatie treedt pas enige tijd (meer dan 10 min) na het begin van de uitstroming, op wanneer de druk en uitstroomhoeveelheid afgenomen zijn. De plas krijgt dan maximaal een diameter van 12 m. Het vat is dan voor 75% leeggestroomd. Een koudgekookte plas warmt vervolgens op en verdampt tot gas; de bronsterkte is beperkt. Dit vormt een continue gaswolk.

Terrein en bebouwing

- > Obstakels (gebouwen, bomen, et cetera) zorgen voor wervelingen en opmenging. In het algemeen geldt hoe meer obstakels, hoe beter het gas zal mengen door de luchtwervelingen om die obstakels heen. Let op: obstakels kunnen er ook voor zorgen dat het gas ophoopt en langer blijft hangen.
- > Grotere terreinkenmerken hebben een grotere invloed. Gas kan door een heuvelrij worden gedwongen die heuvelrij min of meer te volgen. Als gas een rivier oversteekt, zal het geneigd zijn om die rivier een stukje te volgen. Zo kunnen gaswolken met een grote dichtheid bijvoorbeeld een waterweg met hoge wallen volgen. Een vrijkomend gas kan diep doordringen in een straat die in dezelfde richting loopt als de windrichting. Daarnaast kan gas geabsorbeerd worden door de bodem of water.

Methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃): voorbeelden van gasen die 'lichter zijn dan lucht' bij atmosferische omstandigheden

Als deze gasen vrijkomen dan zijn ze erg koud door de expansie. Na het vrijkomen hebben ze een grotere dichtheid dan lucht (en blijven dus laag bij de grond hangen). Het is mogelijk dat een zichtbare witte nevel over de grond trekt. Bij een kleine (rustige) lekkage is veel minder energie voor de expansie nodig en koelt het gas veel minder af; het is dan mogelijk dat het gas wel opstijgt. Andere deeltjes kunnen de neiging hebben om 'samen te klonteren' (conglomereren), zoals waterstoffluoride (HF). Ook dan is het gas zwaarder dan lucht en zal het laag aan de grond blijven hangen.

Zoutzuurgas (HCl) en ammoniak (NH₃): voorbeelden van gasen die oplosbaar zijn in water

Zoutzuurgas en ammoniak kunnen oplossen in het vocht in de atmosfeer, zoals regen of mist. Van dit verschijnsel kan de brandweer handig gebruikmaken door een ontsnappend gas neer te laten slaan. Het oplossen van gasen gebeurt met sproeistralen, waterschermen of waterkanonnen (voor meer afstand). Hiermee kan een gas- of dampwolk gestuurd worden. Let er wel op dat het water dan 'vervuild' is met de gevaarlijke stof of bijvoorbeeld een hoge of lage pH-waarde kan hebben. Vraag de AGS om advies in deze situaties.

1.3.2 Blootstellingsroutes en gezondheidseffect

Mensen en dieren kunnen via verschillende blootstellingsroutes in contact komen met gevaarlijke stoffen. De drie blootstellingsroutes zijn inademen (via de luchtwegen), inslikken (via de mond, spijsverteringskanaal) en uitwendig contact met het lichaam, ook wel huidcontact genoemd.

In onderstaand overzicht wordt het effect van blootstelling aan gasen voor de blootstellingsroutes inademing en huidcontact besproken. Het inslikken van gasen is geen realistische blootstellingsroute en wordt om die reden dan ook niet nader toegelicht.

Inademing

- > Verstikkende werking: gasen werken verstikkend omdat ze (vooral in een afgesloten ruimte) de zuurstof uit de lucht verdringen. Onze omgevingslucht bestaat voor ongeveer 78% uit stikstof en voor 21% uit zuurstof. Een mens heeft een minimale hoeveelheid zuurstof, namelijk 17%, nodig om te overleven. Als de hoeveelheid zuurstof onder dit percentage komt, bestaat er gevaar voor verstikking. De stof die de zuurstof verdringt, hoeft dus zelf niet giftig te zijn.

- > Beschadigende werking.
 - > Prikkelend en/of bijtend: gassen met een prikkelende en/of bijtende werking lossen gemakkelijk op in vocht. Omdat de luchtwegen en ogen altijd vochtig zijn, ontstaan bij het inademen van deze dampen hevige hoestbuien en komt er veel vocht uit neus en ogen. De aanwezigheid van dit type gassen wordt daarom snel opgemerkt, maar dan kan er al veel schade zijn aangericht. Wanneer een slachtoffer de dampen tot in de longblaasjes inademt, worden de wanden van deze blaasjes aangetast. Dit belemmert de gaswisseling, wat kan leiden tot ernstige blijvende gevolgen of de dood. Dit type gassen tast ook de huid en ogen aan. Voorbeelden zijn: chloor (zwembad), ammoniak (koelinstallaties) en zoutzuur (verbranden PVC).
 - > Inwerkend op zenuwstelsel en/of bloed: gassen die inwerken op het zenuwstelsel en/of bloed verstoren de stofwisseling, het bewustzijn en/of de spierwerking. Deze verstoring kan uiteindelijk tot de dood leiden. Ook kunnen organen beschadigd raken. Bekende voorbeelden zijn koolmonoxide (CO) en blauwzuur (HCN, waterstofcyanide).

Huidcontact

- > Bevriezing: cryogene, door koude vloeibaar gemaakte gassen kunnen bij aanraking met de huid bevroeringsverschijnselen veroorzaken. Door spatten op de onbeschermde huid kunnen zelfs brandwonden ontstaan.
Ook snel uitstromende gassen kunnen gevaar voor bevroering veroorzaken rondom de uitstroomopening. Het snel uitzetten van het gas zorgt ook in dit geval voor het sterk afkoelen van de omgeving (denk maar aan het bevroeren van de uitstroomopening van de ademluchtfles).
- > Beschadigende werking: bijtende stoffen tasten door hun chemische werking het epitheelweefsel (de bovenste laag) van de huid of de slijmvliezen waarmee zij in aanraking komen, aan. Bijtende stoffen werken dus vooral in op de huid en ogen.

De gevolgen van het binnendringen van een gas in het lichaam kunnen direct of indirect waarneembaar zijn. Directe gevolgen treden al tijdens of vrij snel na de blootstelling op. Voorbeelden hiervan zijn het ontstaan van brandwonden of ademhalingsmoeilijkheden. Ademhalingsmoeilijkheden kunnen ook pas na enkele uren ontstaan. Indirecte gevolgen komen pas (veel) later naar voren. Voorbeelden hiervan zijn huidziekten, kanker (waaronder leukemie) en genetische afwijkingen.

De ernst van de gevolgen hangt af van de volgende factoren.

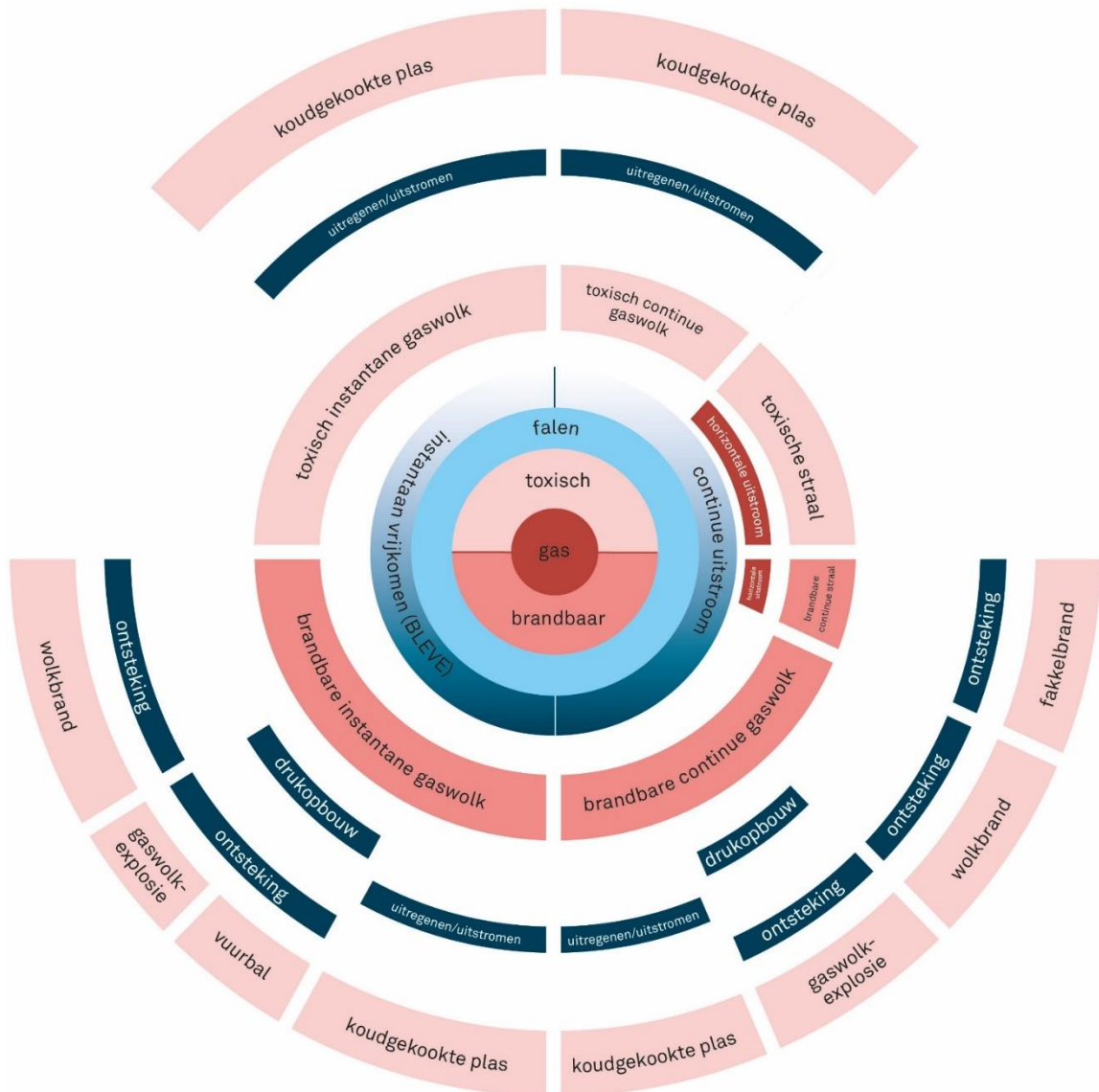
- > Aard van de stof: hiermee wordt vooral de giftigheid van de stof bedoeld maar ook de eigenschappen van de stof die bepalen of contact met de stof eenvoudig mogelijk is.
- > Blootstellingstijd: de tijdsduur van het contact met de stof.
- > Concentratie: de hoeveelheid stof in een bepaald volume. Het inademen van een lage concentratie gedurende langere tijd kan bijvoorbeeld net zo gevaarlijk zijn als het inademen van een hoge concentratie gedurende een korte tijd.

1.4 Mogelijke scenario's gassen

Als gassen onbedoeld vrijkomen uit het insluitsysteem spreken we over het falen van het insluitsysteem. Het insluitsysteem is immers bedoeld om de gassen binnen te houden. We bedoelen hier niet het vrijkomen van gassen via bijvoorbeeld afblaasveiligheden die functioneren zoals ze bedoeld zijn. Als een insluitsysteem faalt zijn, afhankelijk van de inhoud, verschillende scenario's mogelijk. Denk aan een fakkelbrand, een BLEVE (met of zonder vuurbal) of het vormen van een giftige ofwel toxische wolk. Maar welk scenario kun je nu in welke situatie verwachten? Een antwoord op deze vraag is te vinden in het diagram in afbeelding 1.8. Uitgaande van het midden van de cirkel is er een keuze tussen de

eigenschappen brandbaar en toxisch. De scenario's voor toxische gassen staan aan de bovenkant van het diagram en voor brandbare gassen aan de onderkant van het diagram. Het falen van het insluitsysteem kan op twee manieren plaatsvinden. Het insluitsysteem kan ineens bezwijken, waarbij de hele inhoud in één keer vrijkomt. Dit wordt ook wel instantaan of catastrofaal falen genoemd; dit staat aan de linkerkant van het diagram. Ook is het mogelijk dat er een lek ontstaat waaruit de inhoud naar buiten stroomt. Als het lekken langer duurt dan 10 minuten, is er sprake van een continue lekkage; dit staat aan de rechterkant van het diagram. Uiteraard houdt ook een continue lekkage een keer op, want het insluitsysteem raakt ooit leeg.

Afbeelding 1.8 Diagram met de mogelijke scenario's bij het vrijkomen van gassen



Voordat we overgaan tot het beschrijven van de mogelijke scenario's, besteden we eerst aandacht aan een verschijnsel dat optreedt bij het vrijkomen van sterk gekoelde vloeibaar gemaakte gassen, namelijk het vormen van een witte nevel. Bij het vrijkomen van sterk gekoelde vloeibaar gemaakte gassen gaat de vloeibare fase ineens over in de gasfase, omdat deze stoffen een laag kookpunt hebben. Dit kost veel energie die onttrokken wordt aan de stof zelf en de omgeving. De stof en de directe omgeving koelen daardoor enorm af. Omdat de lucht sterk afkoelt (tot onder het dauwpunt), condenseert het water uit de lucht en vormt ijskristallen. Er ontstaat een zichtbare, witte nevel van waterdruppeltjes vermengd met

het vrijkomende gas. De witte nevel warmt vervolgens weer op tot de omgevingstemperatuur en de ijskristallen verdwijnen.

1.4.1 Catastrofaal falen / instantaan vrijkomen / BLEVE

Als de inhoud uit een insluitsysteem in één keer (instantaan) vrijkomt, gaat deze snel over in de gasfase en ontstaat een eenmalige gaswolk, een puf. De vloeibare fase gaat soms geheel, maar meestal grotendeels, over in de gasfase. Hierbij neemt het volume van het gas enorm toe. Om een indruk te geven: 1 liter LPG wordt 270 liter gas, voor ammoniak is dat zelfs 845 liter en voor LNG is dat 600 liter. Deze volumevergroting wordt ook wel aangegeven met de expansiefactor; de expansiefactor van LNG is dus 600.

Het catastrofaal falen van het insluitsysteem waarbij de inhoud ineens vrijkomt, wordt een BLEVE genoemd, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. De BLEVE is een fysische explosie door het bezwijken van het insluitsysteem. Voorafgaand aan een BLEVE wordt de vloeibare fase in een gesloten insluitsysteem opgewarmd tot boven het kookpunt en gaat koken. Hierdoor gaat (een deel van) de vloeibare fase over in de gasfase. Door de verdamping verhoogt de druk in het insluitsysteem. Door de toenemende druk bezwijkt het insluitsysteem, verdampt de vloeibare fase plotseling en komt het gas of de damp explosief vrij (zie afbeelding 1.9). Ook kan de vloeibare fase weggeslingerd worden in kleine druppels, een zogenaamde aerosolwolk. De fysische eigenschappen van de stof (onder meer de dampspanning) zijn, naast de omstandigheden, bepalend voor het vervolgsceario.

Afbeelding 1.9 Opwarmen drukhouder met tot vloeistof verdicht gas (links), gevolgd door bezwijken drukhouder (rechts)



Het verbranden van de gas/dampwolk is geen onderdeel van de BLEVE. Een BLEVE zonder het verbranden van het de inhoud van het insluitsysteem (het gas) is namelijk ook mogelijk, bijvoorbeeld bij een niet-brandbaar gas. In de volksmond wordt een vuurbal vaak een BLEVE genoemd, maar dat klopt niet. Overigens kan de aanleiding voor de BLEVE ook anders zijn dan het aanstralen door brand en opwarming van de inhoud. Het is ook mogelijk dat de omhulling verzwakt is geraakt, bijvoorbeeld door mechanische impact. Dan wordt ook wel de term koude BLEVE gebruikt. De effectafstanden daarvan zijn dan veel kleiner (zie tabel 9.15).

Het is mogelijk dat een beperkt deel van de vloeibare fase niet direct overgaat in de gasfase, maar uitregent of uitstroomt als koude vloeistof (zie scenario 3 in hoofdstuk 9).

Scenario: Puf (instantane gaswolk)

Als een BLEVE heeft plaatsgevonden en de vloeibare fase is overgegaan in de gasfase mengt deze zich met de omgevingslucht. Als zo'n gaswolk toxisch of brandbaar is, drijft deze kortstondig over (onder andere afhankelijk van de windsnelheid en -richting, mits niet ontstoken) en kan daarbij schade aanrichten aan mens, dier en milieu.

Scenario: Wolkbrand of UVCE

Als zo'n gaswolk brandbaar is, kan deze ontstoken worden als de juiste mengverhouding met lucht (dus binnen de explosiegrenzen, het explosiegebied) is ontstaan en er een ontstekingsbron aanwezig is; er ontstaat dan een *wolkbrand*. Brand is een scheikundig, chemisch proces. Voor een wolkbrand wordt ook de term Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE) gebruikt. Het gaat hierbij dus om niet-besloten omgevingen.

Scenario: Gaswolkexplosie of VCE

Als het brandbare gas zich opgehoopt heeft, bijvoorbeeld tussen gebouwen, in afgesloten ruimten of in dichtbebouwde procesinstallaties met weinig tot geen natuurlijke ventilatie, is er sprake van drukopbouw. Er kan dan een *gaswolkexplosie* optreden. Deze opgebouwde druk is veel lager dan de druk die heerst in een drukhouder; er zal een drukgolf optreden en fragmentatieschade (veroorzaakt door het rondslingeren van voorwerpen c.q. fragmenten) maar de effecten zijn minder ernstig dan bij een BLEVE. Voor de gaswolkexplosie wordt ook de term Vapour Cloud Explosion (VCE) gebruikt.

Scenario: Vuurbal

Als het gas direct bij het instantaan vrijkomen ontstoken wordt, speelt de druk die heerst in het insluitsysteem een grote rol. Het bezwijken van het insluitsysteem en het verdwijnen van die druk zorgt voor een enorme hoeveelheid energie die ineens vrijkomt, er ontstaat een *vuurbal*. Als een insluitsysteem is voorzien van een veiligheidsvoorziening die voorkomt dat de druk kan oplopen boven de ontwerpdruk van het systeem, dan is de kans op catastrofaal falen door drukopbouw minder groot omdat de veiligheidsvoorziening gaat 'afblazen' en de druk afneemt. Er komt dan wel een gaswolk vrij.

Scenario: Koudgekookte plas

Een gas kan in de vloeibare fase onder bepaalde omstandigheden *uitregenen* of *uitstromen* als koude 'vloeistof'. Die koude vloeibare fase vormt een koude plas die langzaam weer verdampt naar de gasfase. Dit noemen we een koudgekookte plas. Een vloeistof verdampt afhankelijk van de dampspanning van de vloeistof en de omgevingscondities (temperatuur, uitstroom op land/water, type bodem, et cetera). Verdamping kost energie. Die energie wordt onttrokken aan de omgeving en de plas zelf en de temperatuur wordt lager. De temperatuur van de plas kan zo laag worden dat de verdamping stopt. De temperatuur is dan lager dan het kookpunt van die stof. In deze fase is de vloeistof koudgekookt. Als de vloeibare fase zich in een afgesloten omhulling bevindt, bijvoorbeeld een lekgeslagen drukhouder, dan is de druk in deze fase gedaald tot de omgevingsdruk (ongeveer 1 bar). Uiteraard warmt de vloeibare fase weer op vanuit de omgeving en begint de verdamping opnieuw. Dit zorgt voor een semi-continue emissie van het gas.

Of een koudgekookte plas ontstaat is afhankelijk van de omgevingscondities en de manier waarop het gas uitstroomt. Als bijvoorbeeld de uitstroom uit de vloeibare fase gehinderd wordt door obstakels, is de kans groot dat een plas ontstaat. In het diagram (afbeelding 1.8) vindt u het scenario *koudgekookte plas* voor alle vier combinaties van instantaan – continu – brandbaar – giftig.

Samenvattend: Catastrofaal falen / instantaan vrijkomen / BLEVE

De kenmerken van instantaan vrijkomen zijn:

- > het vrijkomen van de stof is een fysisch of natuurkundig proces
- > drukopbouw in het insluitsysteem door overvullen of oververhitting (tot boven ontwerpdruk) of het verzwakken van het insluitsysteem door mechanische impact
- > bezwijken van het insluitsysteem
- > instantaan/ineens vrijkomen van totale inhoud (binnen 3 minuten)
- > plotselinge verdamping van vloeibaar gemaakt gas kost veel energie ⇒ enorme afkoeling van gas en omgeving ⇒ mist/nevelvorming

- > mogelijk vormt een klein deel van de vrijkomende stof een koudgekookte plas
- > kan gevolgd worden door ontsteking bij een brandbaar gas; de ontstane brand is een chemisch of scheikundig proces, een reactie
- > effecten: altijd drukeffecten en fragmentatieschade (veroorzaakt door het rondslingeren van voorwerpen c.q. fragmenten); aanvullende effecten bij brand: warmtestraling, secundaire branden, ontstaan van verbrandingsgassen/dampen
- > de bronsterkte wordt aangegeven in het totaal aantal kilogrammen (kg) dat ineens vrijkomt.

Tabel 1.10 Mogelijke scenario's bij het instantaan vrijkomen van een gas

Brandbaar gas ⇒ brandbare instantane gaswolk	Toxisch gas ⇒ toxische instantane gaswolk
1. Geen vervolg: puf brandbaar gas	1. Geen vervolg: puf toxisch gas
2. Uitregenen / uitstromen: ⁷ koudgekookte brandbare plas	2. Uitregenen / uitstromen: ⁷ koudgekookte toxische plas
3. Directe ontsteking: vuurbal	
4. Vertraagde ontsteking: wolkbrand	
5. Vertraagde ontsteking met drukopbouw: gaswolkexplosie	

Vuistregels

Voor het berekenen van schadeafstanden zijn vuistregels beschikbaar:

- > Schade-afstanden voor een BLEVE met ontsteking (zie voor de berekende effectafstanden voor een BLEVE tabel 1.11):
 - > voor de straal R van de vuurbal:
 - $R = 3 \times M^{1/3}$ voor ($M < 10.000$ kg) en
 - $R = 4 \times M^{1/3}$ voor ($M > 10.000$ kg)
 met M = massa van het gas in kilogrammen (kg)
 - > afstand waarop secundaire branden kunnen plaatsvinden is 2 keer zo groot als de straal van de vuurbal: 2R
 - > afstand waarop tweede en derdegraads brandwonden op de onbedekte huid kunnen ontstaan is 3 keer zo groot als de straal van de vuurbal: 3R
- > Schade-afstanden voor een gaswolkexplosie:
 - > $R = C_i \times M^{1/3}$
 met C_i = constante voor schade. Deze constante is bijvoorbeeld 4 voor het effect 'doden door instorting' en 36 voor 'tijdelijke gehoorschade'.

In tabel 1.12 is deze vuistregel uitgewerkt voor een aantal constanten en massa's variërend van 100 tot 10.000 kg.

Tabel 1.11 Berekende effectafstanden voor een BLEVE van een tank met 25 ton LPG met Effects (voor mensen buiten en binnen)⁸

Ring	Afstand	Schade	Overleefbaarheid (buiten)	Overleefbaarheid (binnen)
1 ^e ring	90 meter	Onherstelbare schade en branden	100% dood	10% dood, veel lichtgewonden
2 ^e ring	140 meter	Zware schade en secundaire branden	20% dood, rest licht- tot zwaargewonden	1% dood, beperkt aantal gewonden
3 ^e ring	230 meter	Beperkt secundaire branden	2% dood, vooral veel lichtgewonden	Geen doden, weinig tot geen gewonden
4 ^e ring	400 meter	Lichte schade	Geen doden, nauwelijks zwaargewonden, redelijk wat lichtgewonden	Geen doden, weinig tot geen gewonden

Tabel 1.12 Schade-afstanden van LPG bij een gaswolkexplosie berekend met de vuistregel

$C_i =$	4	7	24	36
Massa (kg)	Doden door instortingen / Beschadiging apparatuur	Gewonden instortingen	Ruitbreuk	Tijdelijke gehoorschade
100	19	32	111	167
500	32	56	190	286
1.000	40	70	240	360
5.000	68	120	410	616
10.000	86	151	517	776

1.4.2 Continue uitstroom

Als de lekkage langer duurt, minimaal 10 minuten, is sprake van een continue uitstroom. In dat geval kost het vormen van de gaswolk meer tijd en hebben de scenario's die kunnen optreden daarom een langere tijdsduur. Zo is het ontstaan van een *toxische gaswolk* en een *brandbare gaswolk* ook mogelijk bij een continue lekkage, maar deze duren langer en er ontstaat een soort langgerekte pluim, ook wel 'sigaar' genoemd.

Scenario: Lekkage / gaswolk of straal

Het is van belang of de lekkage uit het insluitsysteem zich ter hoogte van de gas- of vloeibare fase bevindt. Bevindt de uitstroomopening zich boven het vloeistofniveau in de omhulling dan gaat het om een lekkage uit de gasfase. Er ontstaat direct een (continue) gaswolk. De hoeveelheid gas die vrijkomt en de uitstroomsnelheid zijn afhankelijk van de

⁸ Het gebied met schade door overdruk is veel kleiner. Zware schade tot 30 m, gemiddelde schade tot 70 m en lichte schade (glasbreuk) tot 180 m. In deze afstand is alleen de schade door overdruk meegenomen en niet die van rondvliegende voorwerpen.

druk en de temperatuur van de vloeibare fase in het insluitsysteem en de grootte van de opening.

Bij een uitstroomopening onder het vloeistofniveau stroomt de inhoud uit als vloeibare fase én als gas. Deze gecombineerde vloeibare-gasfase-uitstroom wordt de tweefasenuitstroom genoemd. Als de vloeibare fase onder verhoogde druk uit een lek in het insluitsysteem wordt geperst kan het horizontaal uitstromen, er ontstaat een zogenaamde *straal*. De vrijkomende vloeibare fase kan direct verdampen, of eerst een vloeistofplas vormen en daaruit verdampen. Als het vloeistofniveau gezakt is tot onder de uitstroomopening gaat de lekkage, na een overgangssituatie, over naar de gasfase.

Scenario: Wolkbrand of UVCE

In de juiste mengverhouding kan een brandbare gaswolk ontstoken worden en kan een *wolkbrand* plaatsvinden.

Scenario: Gaswolkexplosie of VCE

Als er sprake is van drukopbouw kan *gaswolkexplosie* optreden.

Scenario: Fakkelbrand

Als het gas brandbaar is en de juiste condities treden op, dan kan een horizontale straal ontstoken worden en ontstaat een *fakkelbrand*.

Let op: bij een lekkage van een vloeibaar gemaakt gas is het mogelijk om heel dichtbij de bron de vloeistofdruppeltjes te zien in de vorm van (horizontale) strepen, een straal; het gaat hier wel degelijk om de zuivere, gevaarlijke stof. Daaromheen is de witte nevel, als gevolg van de snelle verdamping, goed zichtbaar.

Scenario: Koudgekookt(e) plas en insluitsysteem

Ook bij continue uitstroom is het mogelijk dat een koudgekookte plas ontstaat, afhankelijk van de condities. Hetzelfde principe treedt op bij het verdampen van de achtergebleven vloeibare fase in het insluitsysteem. De achterblijvende vloeibare fase 'kookt koud', als het kookpunt van de vloeibare fase is bereikt is de druk gedaald tot 1 bar en stroomt er nog maar weinig uit het gat. Een koudgekookt insluitsysteem is herkenbaar aan ijsvorming op de wand. Het geheel warmt op door de omgeving en de uitstroom neemt weer toe.

Samenvattend: Continue uitstroom

De kenmerken van een continue lekkage of uitstroom zijn:

- > het vrijkomen van de stof is een fysisch of natuurkundig proces
- > er ontstaat een gat/breuk/lek in het insluitsysteem
- > het gas wordt naar buiten geperst door gat/breuk/lek gedurende minimaal 10 minuten. Dit kan zowel in de gasfase als in de vloeibare fase gebeuren of een combinatie van beiden:
 - > gasfase: doorzichtig
 - > vloeibare fase: fijnverdeelde nevelstraal
 - > combinatie van beiden, zogenaamde tweefasenuitstroom.
- > door de hoge snelheid van de uitstroom wordt lucht aangezogen en vermengt het gas zich met lucht (⇒ bij een brandbaar gas is het dan mogelijk dat de juiste mengverhouding ontstaat zodat het explosiegebied bereikt wordt)
- > de duur van de lekkage is afhankelijk van de totale inhoud en de hoeveelheid gas die per tijdseenheid uitstroomt, ook wel bronsterkte genoemd
- > de bronsterkte wordt aangegeven in aantal kilogrammen dat per seconde (kg/s) vrijkomt
- > het verdampen van de achtergebleven vloeibare fase in het insluitsysteem kost energie, de achterblijvende vloeibare fase 'kookt koud' (dit is hetzelfde principe als beschreven is voor de *koudgekookte plas*). Als het kookpunt van de vloeibare fase is bereikt is de druk gedaald tot 1 bar en stroomt er nog maar weinig uit het gat. Een koudgekookt

inluitsysteem is herkenbaar aan ijsvorming op de wand. Het geheel warmt op door de omgeving en de uitstroom neemt weer toe.

- > kan gevolgd worden door ontsteking bij een brandbaar gas; de ontstane brand is een chemisch of scheikundig proces, een reactie
- > effecten: alleen drukeffecten en fragmentatieschade (veroorzaakt door het rondslingeren van voorwerpen c.q. fragmenten) bij opvolgende explosie door ophoping brandbaar gas tussen of in besloten ruimten. Aanvullende effecten bij brand: warmtestraling, secundaire branden, ontstaan van verbrandingsgassen/dampen.

Tabel 1.13 Mogelijke scenario's door continue uitstroom vrijkomen van een gas

Brandbaar gas ⇒ brandbare continue gaswolk	Toxisch gas ⇒ toxische continue gaswolk
1. Geen vervolg: brandbare gaswolk	1. Geen vervolg: toxische gaswolk
2. Uitregenen / uitstromen: ⁷ koudgekookte brandbare plas	2. Uitregenen / uitstromen: ⁷ koudgekookte toxische plas
3. Ontsteking: wolkbrand	
4. Vertraagde ontsteking met drukopbouw: gaswolkexplosie	
5. Horizontale uitstroom zonder ontsteking: brandbare straal	3. Horizontale uitstroom: toxische straal
6. Horizontale uitstroom met ontsteking: fakkelbrand	

Vuistregels

Voor het berekenen van afstanden zijn de volgende vuistregels beschikbaar.

- > De afstand tot de locatie waar de onderste explosiegrens bereikt kan worden:
 - > voor een lekkage in gasfase: $A_{LEL} = 250 \times D$
 - > voor een lekkage in vloeibare fase: $A_{LEL} = 500 \times D$
met D = diameter uitstroomopening in meters.
- > Voor de lengte van een fakkel:
 - > fakkel in gasfase: $L_{fakkel} = 250 \times D$
 - > fakkel in vloeibare fase: $L_{fakkel} = 500 \times D$.
- > Voor het ontruimen en ontstekingsbronnen verwijderen wordt een gebied aangehouden met een afstand die twee keer zo groot is dus: $2x A_{LEL}$ of $2x L_{fakkel}$.

2 LNG: eigenschappen en gevaren

In het vorige hoofdstuk is algemene informatie over gassen beschreven. Dit hoofdstuk richt zich aansluitend op de specifieke eigenschappen en gevaren van LNG. Paragraaf 2.1 beschrijft de samenstelling en voorkomen van LNG, waarna de eigenschappen aan bod komen in paragraaf 2.2. Tot slot worden in paragraaf 2.3 de gevaren van LNG besproken en in paragraaf 2.4 met welke scenario's rekening gehouden moeten worden.

2.1 Samenstelling en voorkomen LNG

Zoals de naam al aangeeft is Liquefied Natural Gas (LNG) een sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas. Het is aardgas, eigenlijk hetzelfde gas als thuis uit de gasleiding stroom. LNG wordt alleen in een andere vorm opgeslagen en getransporteerd. Natuurlijk gas of aardgas is een fossiele brandstof, die ontstaat bij hetzelfde proces dat tot vorming van aardolie leidt. Om het transport van het gas efficiënt te maken wordt het gas in een LNG-fabriek vloeibaar gemaakt, waardoor het volume met een factor 600 afneemt. LNG is door koude vloeibaar gemaakt aardgas. LNG wordt opgeslagen en getransporteerd in insluitsystemen die lijken op dubbelwandig geïsoleerd vaten die lijken op thermosflessen.

LNG bestaat uit een mengsel van koolwaterstoffen met als hoofdbestanddeel methaan (CH_4) > 75%. Daarnaast zijn mogelijke bestanddelen: ethaan, propaan, butaan, stikstof (< 5%) en andere bestanddelen die in natuurlijk gas kunnen voorkomen. De uiteindelijke samenstelling is afhankelijk van de locatie waar het aardgas gewonnen wordt en de wijze waarop het verder bewerkt wordt. Maar ook de 'leeftijd' van het mengsel omdat de samenstelling na verloop van tijd verandert (ageing). 'Ageing' is de verandering in de tijd omdat de lichtere bestanddelen eerder verdampen dan de zware bestanddelen. Ter illustratie zijn in tabel 2.1 drie voorbeelden van mogelijke samenstellingen van LNG opgenomen, waarin het gehalte methaan varieert van 99,8% tot 87,2%. De tabel laat zien dat alle mengsels een kleine hoeveelheid stikstof (N_2) bevatten. Dit betekent dat bij de verbranding van LNG kleine hoeveelheden NO_x vrijkomen. Als vierde voorbeeld is Bio-LNG (ook wel LBG genoemd) opgenomen in de tabel; dit is LNG dat uit biogas is geproduceerd (zie ook paragraaf 3.1).

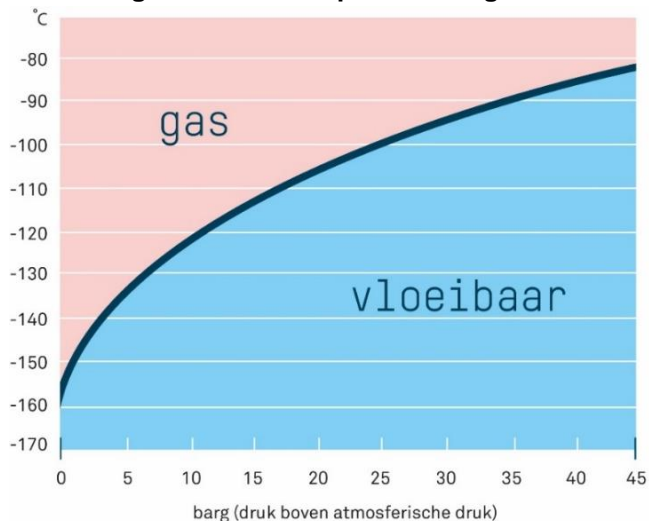
Aardgas moet tot minimaal -83 °C worden afgekoeld voordat het in de vloeibare fase kan overgaan. Aardgas komt voor als samengeperst gas (CNG) of door koude vloeibaar gemaakt gas (LNG). LNG is daarbij wel vaak onder druk opgeslagen, meestal tot 8 barg⁹ maar drukken van 24 barg zijn zelfs mogelijk bij brandstoftanks. De overdruk wordt veroorzaakt door het verdampen van de vloeibare fase door het inleken van warmte. De kooktemperatuur is afhankelijk van de druk, dus als de temperatuur van de koude vloeibare fase toeneemt, zal de druk ook toenemen (zie afbeelding 2.2).

⁹ Barg staat voor de overdruk: druk boven de atmosferische druk, dus niet de absolute druk.

Tabel 2.1 Drie voorbeelden van samenstellingen LNG

Samenstelling (mol%)	LNG voorbeeld 1	LNG voorbeeld 2	LNG voorbeeld 3	Bio-LNG
N ₂	0,13	1,79	0,36	
CH ₄	99,8	93,9	87,2	82-99
C ₂ H ₆	0,07	3,26	8,61	
C ₃ H ₈	-	0,69	2,74	
i-C ₄ H ₁₀	-	0,12	0,42	
n-C ₄ H ₁₀	-	0,15	0,65	
C ₅ H ₁₂	-	0,09	0,02	
CO ₂				0,2-3
H ₂ S				0-2
NH ₃				0-2
water				0-2
Molgewicht (g/mol)	16,07	17,07	18,52	
Kookpunt (°C)	-161,4	-165,3	-161,3	
Dichtheid (kg/m ³)	422	448,8	468,7	
Volume gas/volume vloeibare fase: expansiefactor (bij 0 °C en 1 atm)	588	590	568	
Volume gas/gewicht vloeibare fase (m ³ /10 ³ kg bij 0 °C en 1 atm)	1392	1314	1211	
Verdampingswarmte (kJ/kg)	525,6	679,5	675,5	
Verbrandingsenergie (MJ/m ³)	37,75	38,76	42,59	

Afbeelding 2.2 Druk – temperatuurdiagram voor LNG



Als de druk oploopt wordt LNG niet verder samengeperst, omdat het zich al in een vloeibare fase bevindt. Het insluitsysteem moet de ontstane druk dus kunnen weerstaan en zal bezwijken als de druk oploopt tot boven de ontwerpdruk. Vaak wordt gebruikgemaakt van afblaasveiligheden of ontlastkleppen (zie onder andere hoofdstuk 4).

2.2 Eigenschappen LNG

2.2.1 Cryogeen, door koude vloeibaar gemaakt gas

LNG is een cryogene, door koude vloeibaar gemaakt gas. Cryogeen betekent letterlijk *koudmakend*. Het wordt gebruikt om aan te geven dat er gewerkt wordt bij extreem lage temperaturen, namelijk temperaturen < -130 °C. De meeste cryogene stoffen zijn door koude vloeibaar gemaakte of gecondenseerde gassen met zeer lage temperaturen van -273 °C tot -130 °C. Komen deze gassen in contact met de buitenlucht, dan gaan ze al kokend over in gasvorm. De vloeibare fase zelf is niet brandbaar; de dampen alleen in de juiste mengverhouding met lucht. Dit is vergelijkbaar met vloeistoffen: de vloeistof benzine brandt niet, maar de benzinedampen zijn in de juiste mengverhouding met lucht zeer brandgevaarlijk!

2.2.2 Fysisch-chemische eigenschappen

In tabel 2.3 zijn de fysisch-chemische eigenschappen van LNG weergegeven.

Tabel 2.3 Fysisch-chemische eigenschappen LNG

Liquefied Natural Gas (LNG)	
Sterk gekoeld aardgas (cryogeen)	-162 °C
Kooktraject ¹⁰	-166 °C tot -57 °C
Brandbaarheid	Zeer brandbaar gas
Kleur en geur	Kleurloos en geurloos, geen geurstof toegevoegd; bij hoge concentratie: muf
Combinatie zuurstof	Verdrijft zuurstof, werkt verstikkend
Combinatie water	Niet oplosbaar in water, lichter dan water
Toxisch, bijtend en/of corrosief	Niet toxisch, niet bijtend of corrosief
UN- of VN-nummer	1972
GEVI	223
Expansiefactor	± 600 (1 liter vloeibaar LNG = 600 liter aardgas bij 0 °C)
Dichtheid	0,42-0,52 g/ml (1 liter LNG = 0,5 kg LNG)
Explosiegrenzen	5-15,8 vol%
Kritische druk	46 barg ⁹
Kritische temperatuur	-83 °C
Verbrandingsproducten	CO ₂ , CO en water (schone brandstof)

¹⁰ Dit kan afwijken door verschillen in de samenstelling.

Als LNG vrijkomt gaat het snel over in de gasfase. De relatieve dichtheid van het gas bepaalt vervolgens het verdere gedrag. Grofweg kan gesteld worden dat bij een temperatuur:

- > lager dan -135 °C het gas zwaarder is dan lucht
- > tussen $-135\text{ °C} < T < -105\text{ °C}$ het gas even zwaar is als lucht
- > hoger dan -105 °C het gas lichter is dan lucht.¹¹ Alleen bij een kleine (rustige) lekkage zal het gas opstijgen en in andere gevallen mengt het zich met de lucht en gedraagt het zich als 'neutraal gas'.

2.2.3 Gedrag in lucht

Het verdampen van LNG (en alle andere koude, cryogene gassen) gaat zo snel, dat het *flashverdamping* wordt genoemd. Het verdampen van LNG kost energie; deze energie wordt onttrokken aan de vloeibare fase zelf en aan de omgeving (de buitenlucht en de ondergrond waarop het uitstroomt zoals bodem of water). De omgeving wordt hierdoor kouder. Van dit natuurlijke proces wordt gebruikgemaakt om LNG op lage temperatuur op te slaan of te transporteren in insluitsystemen. LNG koelt zichzelf als het ware af door sporadisch een klein deel te laten verdampen. Het vrijkomen van LNG is goed zichtbaar door het vormen van een witte nevel (gecondenseerd vocht uit de lucht) over de grond (zie afbeelding 2.4).

Afbeelding 2.4 Zichtbare nevel van waterdamp en LNG na het vrijkomen van LNG in de vloeibare fase. Links: een grote hoeveelheid LNG vloeistof, rechts: een kleinere hoeveelheid ($\pm 150\text{ kg}$) in een testopstelling



LNG heeft een zeer lage temperatuur en is daardoor bij vrijkomen *zwaarder dan lucht*. Puur koud gas begint op te stijgen als het door de buitenlucht tot boven -105 °C wordt opgewarmd. Als het mengsel is opgewarmd tot boven het dauwpunt (dat afhankelijk is van de omgevingstemperatuur) is er geen sprake meer van een witte nevel. Na vrijkomen treedt menging met de buitenlucht op. Dit mengsel zal de dampdichtheid van lucht gaan benaderen en dus verder mengen. Totdat het gas/luchtmengsel vrijwel de omgevingstemperatuur heeft bereikt, zal het mengsel zwaarder zijn dan de omgevingslucht.

Onder atmosferische omstandigheden is de relatieve dichtheid van aardgas ten opzichte van lucht 0,6. Op basis van deze relatieve dichtheid zou je kunnen concluderen dat het gas opstijgt. Het is echter gebleken dat het gas door de verdunning, dispersie en opmenging zich verspreidt in de lucht. Het gas stijgt dus niet op, maar vermengt zich met omgevingslucht en gedraagt zich als neutraal gas. De onderste explosiegrens, maar ook de hoogste concentratie in de wolk, blijven lange tijd op maaiveldniveau, ook op grotere afstand van de bron. Houd dus rekening met kans op laaghangend gas op grote afstand. Voor de brandweer betekent dit dat op verschillende hoogtes gemeten moet worden, vooral op maaiveldniveau (laag) maar ook hoog (zoals dat in de opleidingen wordt aangeleerd).

¹¹ Zie voor meer gedetailleerde gegevens de spreadsheet van Arie van den Berg.

2.2.4 Effect ondergrond bij uitstroom

Als LNG uitstroomt zal dit aanvankelijk (ongeveer 1 minuut) heftig verdampen, waarna de verdamping snel minder, maar wel constant wordt door het afkoelen van de ondergrond. Het verdampen van een plas van 30 cm diep kan onder ongunstige omstandigheden zelfs tot 10 uur duren. Deze constante verdampingssnelheid is afhankelijk van de ondergrond en de warmtetoevoer vanuit de omgeving. Als LNG wordt opgesloten of omringd door een barrière, bijvoorbeeld in een tankput, wordt de oppervlakte en daarmee de mogelijkheid om warmte op te nemen kleiner. Daardoor vermindert de verdamping en duurt deze dus langer.

Bij testen bij Falck in Rotterdam, waarbij LNG in een tankput werd uitgegoten, bleek dat de temperatuur bij de rand van de tankput al rond de omgevingstemperatuur lag zodra de tankput voldoende afgekoeld was. De achterblijvende vloeibare fase koelt af door de verdamping en houdt zichzelf zo koud. De verdamping is dan niet meer extreem, het lijkt op de verdamping van warm water. Als de wolk is vrijgekomen kan deze op grote afstand van het emissiepunt¹² worden ontstoken en 'terugbranden' naar het emissiepunt. Bij ongunstige meteocondities (stabiele atmosfeer) kan dit bij LNG-terminals oplopen tot 3 kilometer.

Tabel 2.5 Constante verdampingssnelheid van LNG na een initiële uitstroom van 60 seconden

Ondergrond	Aantal kg/m ² h	Omgerekend ¹³ in kg/s per m ²
'Aggregate' = granulaat of grind	480	0,13
Nat zand	240	0,07
Droog zand	195	0,05
Water	600 (volgens PGS 33-1: 190)	0,17
Standaard beton	130	0,04
Licht colloïdaal beton	65	0,02

LNG kan zich goed verspreiden in een poreuze ondergrond ('aggregate'); dit proces is te herkennen aan het vormen van ijskristallen op de ondergrond. Omdat dit proces gepaard gaat met het vormen van mist is dit meestal niet zichtbaar. Als LNG uitstroomt op water, dan is en blijft de verdamping heftig (feitelijke explosief) totdat de verdamping gelijk is aan de uitstroom of toevoer van LNG. Dit verschijnsel van explosieve verdamping wordt Rapid Phase Transition (RPT, zie scenario 9 in hoofdstuk 9) genoemd. Onderstaande afbeelding 2.6 toont een animatie van de verdampingssnelheid van LNG na uitstroom op water en afbeeldingen 2.7 en 2.8 na uitstroom op een niet-gekoelde ondergrond en een afgekoelde ondergrond.

¹² Punt waar een gevaarlijke stof bedoeld of onbedoeld uit een gesloten systeem treedt, dus de locatie van de opening of het lek.

¹³ Gerekend met factor 0,5 kg per liter LNG.

Afbeelding 2.6 LNG op water:
verdamping $\pm 850 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 =^{13} \pm 120 \text{ kg/s per m}^2$



Afbeelding 2.7 LNG op een niet-gekoelde ondergrond:
verdamping $\pm 200 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 =^{13} \pm 30 \text{ kg/s per m}^2$



Afbeelding 2.8 LNG op afgekoelde ondergrond:
verdamping $\pm 20 \text{ m}^3/\text{h} =^{13} \pm 3 \text{ kg/s per m}^2$



2.3 Gevaren

In deze paragraaf worden de gevaren van *de gevaarlijke stof* LNG besproken. In de volgende hoofdstukken zal aandacht geschonken worden aan de gevaren van *de toepassing* van LNG, bijvoorbeeld bij opslag, transport, gebruik en laden en lossen van LNG.

2.3.1 Brand en explosiegevaar

- > LNG is zeer licht ontvlambaar en explosiegevaarlijk, maar de gaswolk is moeilijk te ontsteken.
- > LNG heeft een hoge verbrandingsenergie, een (L)¹⁴NG-brand genereert meer warmte dan een 'normale' koolwaterstofbrand (benzine). Er is dus sprake van veel stralingswarmte/hittestraling.
- > Een (L)NG-brand is slecht zichtbaar. De brand is hoogstens herkenbaar aan een rimpeling van de lucht, zoals op een warme dag. Naarmate de brand vordert worden de vlammen steeds geler, omdat het methaan opraakt en de hogere koolwaterstoffen gaan verbranden.
- > In een buitensituatie brandt (L)NG relatief langzaam op en zijn de overdrukeffecten laag. Als het gas opgesloten raakt (in pandig of tussen gebouwen) kunnen overdrukeffecten optreden.

LNG vergeleken met LPG (zie ook paragraaf 10.1.2)

(L)NG brandt langzamer af dan (L)PG: de afbrandsnelheid van een wolk (L)NG is ± 90-120 meter per minuut en van een wolk (L)PG ± 275 meter per minuut. Voor een begrensde plasbrand op beton is de afbrandsnelheid voor (L)NG en (L)PG ongeveer even snel, 14 mm diepte per minuut. Voor een plasbrand van vrij uitstromend LNG op water is de afbrandsnelheid ongeveer 18 mm per minuut.

De stralingswarmte van een (L)NG-brand is aanmerkelijk hoger dan van (L)PG (220 en 140 kW/m²). (L)NG brandt namelijk roetloos: bij koolwaterstofbranden absorbeert roet normaliter een groot deel van de hittestraling.

2.3.2 Temperatuur (bevrozing)

LNG heeft een zeer lage temperatuur (ongeveer -162 °C) en is dus extreem koud.

- > Direct contact met het menselijk lichaam kan lijden tot:
 - > koude brandwonden (door bevrozing) en onderkoeling van slachtoffers die blootgesteld zijn aan koude atmosfeer
 - > schade aan ogen: spetters die in de ogen terechtkomen kunnen direct ernstig letsel veroorzaken
 - > schade aan longen: door inademing koude atmosfeer.
- > Materialen zoals installatieonderdelen (bijvoorbeeld leidingen, veiligheids), constructies en isolatiemateriaal kunnen aangetast (broos) worden door afkoeling/bevrozing.
- > Beschadiging van de isolatie of het wegvallen van het vacuüm tussen de wanden van het dubbelwandige vat leidt tot het versneld oplopen van de temperatuur. Het gevolg is toename van de druk van het gesloten insluitsysteem. Bij langdurige aanstraling is een zogenoemde BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) mogelijk¹⁵. Dit gebeurt *in principe* niet als de tank is voorzien van een overdrukbeveiliging, waardoor de overdruk niet boven de ontwerpdruk kan oplopen (zie voor meer informatie hoofdstuk 8). Als de overdrukbeveiliging niet goed werkt of de druktoename 'niet kan bijhouden', kan een BLEVE niet worden uitgesloten. Bij een drukhouder moet dus altijd rekening gehouden worden op de kans op een BLEVE, tenzij deze uitgesloten kan worden. Als de kans op een BLEVE vergeleken wordt met de kans op een BLEVE van een insluitsysteem met LPG, dan is deze voor LNG echter veel kleiner.

2.3.3 Contact met water

- > Voorkom contact tussen water en vloeibaar LNG: water is altijd warmer dan LNG. Bij contact met water warmt LNG (-162 °C) snel op en verdampt dan extreem snel. Dit leidt tot een groter explosiegevaarlijk gebied! Ook kan RPT optreden (zie afbeelding 2.9 en

¹⁴ We plaatsen de letter L (van liquid) hier tussen haakjes omdat niet de vloeistof maar juist het gas-luchtmengsel brandt.

¹⁵ Het wel of niet mogelijk zijn van een BLEVE is voor insluitsystemen met LNG nog niet bewezen en zal worden getest. De resultaten van deze testen worden in een volgende versie van deze publicatie verwerkt.

scenario 9 in hoofdstuk 9), het ploffen door expansie van LNG. Dit is te vergelijken met het fysisch koken van water bij het 'blussen' van brandende olie met water.

- > Installatieonderdelen zijn door het contact met LNG extreem koud. Als deze onderdelen in contact komen met water, befrist het water direct. Mechanische veiligheden, zoals een afblaasveiligheid, kunnen hierdoor bevroren/dichtvriezen en functioneren dan niet meer adequaat. Het gevolg kan ongewenste drukopbouw zijn, mogelijk gevolgd door BLEVE bij langdurige aanstraling. Een ander gevolg kan zijn dat de mechanische veiligheid open blijft staan door bevroering, waardoor het gas ongewenst lang vrijkomt. Daarom mogen vooral mechanische veiligheden, zoals een afblaasveiligheid, nooit in contact met water gebracht worden (dus ook NIET bij blussen van brand!).

Afbeelding 2.9 Effecten bij een Rapid Phase Transition (RPT)



2.3.4 Onzichtbaar en geurloos

- > LNG zelf is kleurloos en nauwelijks zichtbaar. De zichtbaarheid van de gaswolk hangt af van het vormen van een witte nevel en is daarom afhankelijk van de luchttemperatuur en luchtvochtigheid. Bij een luchtvochtigheid hoger dan 55 procent bevindt de ontvlambare wolk (dus het explosiegebied) zich geheel binnen de zichtbare wolk. Bij lagere luchtvochtigheid kan de ontvlambare wolk zich tot buiten de zichtbare wolk verspreiden. In dat geval kan de damp worden ontstoken als de ontstekingsbron zich buiten de zichtbare wolk bevindt. De grootte van de dampwolk hangt af van de windsnelheid, windrichting en andere weercondities.
- > Een laaghangende witte nevel belemmert het zicht op de ondergrond. Dit maakt dat niet direct duidelijk is of installaties bedreigd worden, of er slachtoffers zijn, et cetera. Ook het lopen tijdens een inzet door een laaghangende nevel is – los van de brandbaarheid – gevaarlijk (zie afbeelding 2.10).
- > LNG is reukloos en er is geen geurstof toegevoegd; bij hoge concentraties ontstaat een mufte lucht.

Afbeelding 2.10 Laaghangende nevel belemmert het zicht op de ondergrond



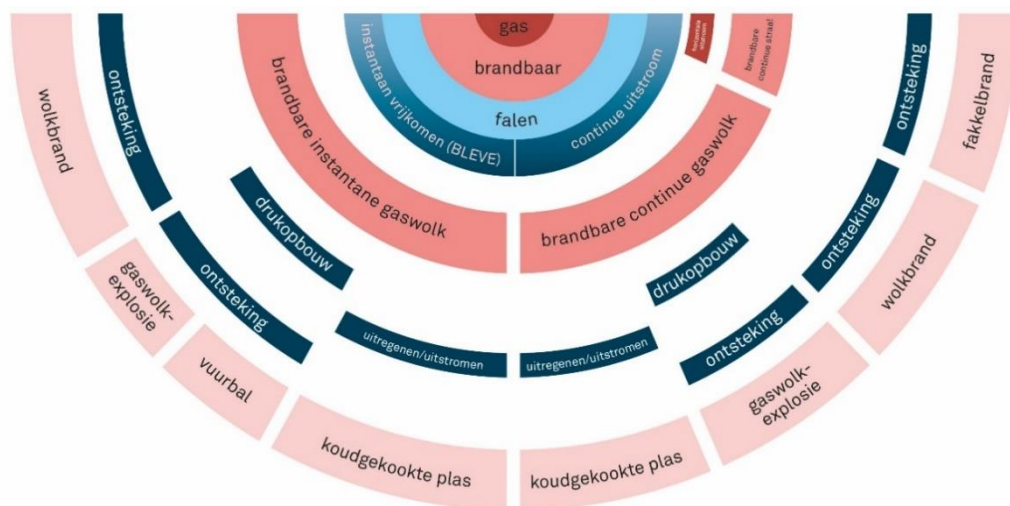
2.4 Scenario's LNG

Terugkijkend naar het cirkeldiagram in afbeelding 1.8 kunnen we concluderen dat voor LNG alleen de onderste helft van het diagram relevant is (zie afbeelding 2.11). LNG is immers alleen brandbaar en niet toxisch. Concreet moet rekening gehouden worden met de scenario's:

- > brandbare gaswolk (puf of continue lekkage), mogelijk gevolgd door:
 - > vuurbal
 - > gaswolkexplosie of VCE
 - > wolkbrand of UVCE
- > (horizontale) uitstroom (straal), mogelijk gevolgd door:
 - > fakkelbrand
- > koudgekookte plas.

Zie voor een verdere uitwerking van de scenario's hoofdstuk 9.

Afbeelding 2.11 Onderste helft van het diagram met de mogelijke scenario's bij het vrijkomen van *brandbare gassen*



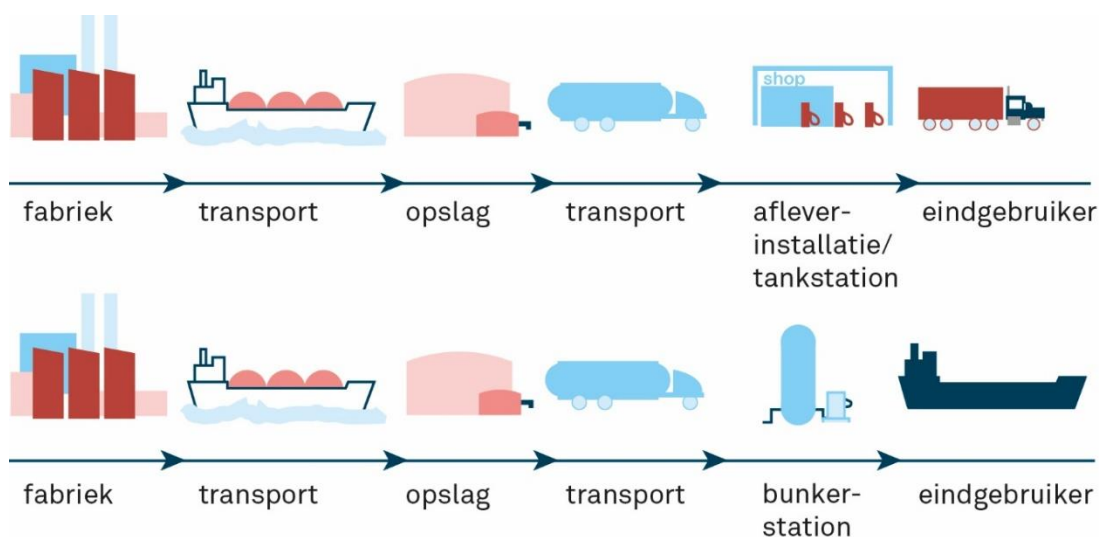
3 LNG: de keten

De zogenaamde keten voor gevaarlijke stoffen bestaat uit de productie, de opslag, het transport, meestal weer opslag en tot slot het gebruik van de stof. Het product wordt meestal op (of dichtbij) de productielocatie opgeslagen voordat het wordt getransporteerd. Ook na het transport wordt een product vaak weer eerst in relatief grote hoeveelheden opgeslagen voordat het gebruikt wordt. Voor LNG ziet de keten eruit zoals in afbeelding 3.1 weergegeven.

In Nederland is geen grootschalige productiefaciliteit voor LNG. Wel is de productie van LNG uit groenafval in opkomst. Deze zogenaamde biogasinstallaties zijn op meerdere locaties in Nederland in gebruik. Dat betekent dat de Nederlandse brandweer LNG kan aantreffen bij biogasinstallaties en tijdens opslag, transport en gebruik (als brandstof). Dit gaat natuurlijk niet zonder de laad- en losactiviteiten die daarmee gepaard gaan.

In dit hoofdstuk behandelen we achtereenvolgens kort de productie (paragraaf 3.1), de opslag (paragraaf 3.2), het transport (paragraaf 3.3) en het gebruik (paragraaf 3.4) van LNG.

Afbeelding 3.1 Schematische voorbeelden van LNG-brandstofketens



3.1 Productie

LNG wordt meestal geproduceerd in fabrieken met een capaciteit van enkele miljoenen tonnen per jaar. In een LNG-fabriek wordt aardgas vloeibaar gemaakt. Voordat het gas vloeibaar wordt gemaakt, wordt het ontdaan van verontreinigingen zoals kooldioxide, waterstofsulfide, water en kwik. Ook zwaardere koolwaterstoffen, die anders zouden bevriezen tijdens het afkoelingsproces of waardevol zijn als apart product, worden uit het gas gehaald. Vervolgens wordt het gas afgekoeld, waardoor het uiteindelijk vloeibaar wordt. Hierbij wordt de stikstofconcentratie geminimaliseerd. Grootschalige productie van LNG vindt niet in Nederland plaats, maar wel bijvoorbeeld in Noorwegen, Algerije en het Midden Oosten.

Afbeelding 3.2 LNG productie faciliteit (Linde LNG, Stavanger, Scandinavië)



LNG kan omgezet worden in CNG, dit proces wordt ook wel Liquid to Compressed Natural Gas (LCNG) genoemd. Dit gebeurt met het aardgas dat verdampt vanuit LNG, tijdens opslag of laden en lossen. In afleverinstallaties (zoals bij tankstations) wordt het restgas samengeperst tot CNG. CNG kan ook op grotere schaal gemaakt worden door hogedrukverdamping.

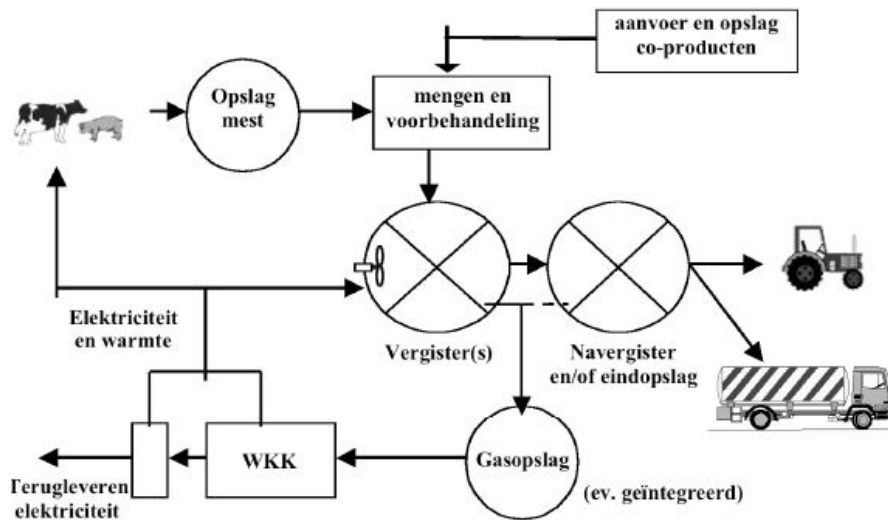
Biogasinstallaties

Het is mogelijk om LNG op kleinere schaal te produceren; dit gebeurt vooral met biogas. Biogas is een gasmengsel dat ontstaat door biologische, enzymatische processen. De hoofdbestanddelen van biogas zijn methaan en kooldioxide. Het gas ontstaat door het vergisten van organisch materiaal zoals mest, slib of gestort huisvuil. In het laatste geval spreken we van stortgas. Vergisten is een anaerobe omzettingsreactie, dus zonder het gebruik van zuurstof (uit de lucht). Door reiniging van biogas kan de kwaliteit van het biogas worden verbeterd; het gaat hierbij vooral om het verwijderen van water, zwavelwaterstof en kooldioxide. Een voorbeeld van een biogas dat op natuurlijke wijze ontstaat is moerasgas. Vanwege de biologische oorsprong is biogas een duurzame energiebron met de gunstige verbrandingseigenschappen van methaan. Ook kan door gebruik van het biogas het vrijkomen van methaan (een sterk broeikasgas) worden beperkt.

Het hart van de biogasinstallatie is de vergister (zie afbeelding 3.3). Dit is een silo of tank waar mest en energierijke landbouwproducten, zoals maïs, worden ingevoerd. Na het opwarmen van de biomassa, begint het biologische proces waarbij in de loop van 20 tot 50 dagen biogas vrijkomt. Eventueel kan via een navergister het laatste biogas uit mest gehaald worden. Vergisters en de gasopslag zijn geen drukhouders; het gas wordt opgeslagen onder een druk net boven de atmosferische druk.

Biogas kan als brandstof worden toegepast in warmtekrachtcentrales maar het kan ook worden 'opgevaardeerd' tot groen gas. Groen gas kan worden bijgemengd in het aardgasnet, onder druk samengeperst tot CNG of door koude gekoeld worden tot LNG. De zo ontstane vormen worden wel bio-CNG en Bio-LNG, LBG (Liquefied Bio Gas) of LBM (Liquefied BioMethaan) genoemd. De kleinschalige productie van bio-LNG vindt ook in Nederland plaats. Biogasinstallaties komen in diverse vormen voor in Nederland, bij agrarische bedrijven en als installatie bij gasleveranciers. Eén biogasinstallatie van een boerenbedrijf kan tussen de 300 en 500 gezinnen van elektriciteit voorzien.

Afbeelding 3.3 Schematische voorstelling van de productie van biogas



Toelichting: WKK = warmtekrachtcentrale

Afbeelding 3.4 Biogasinstallatie in landbouwgebieden



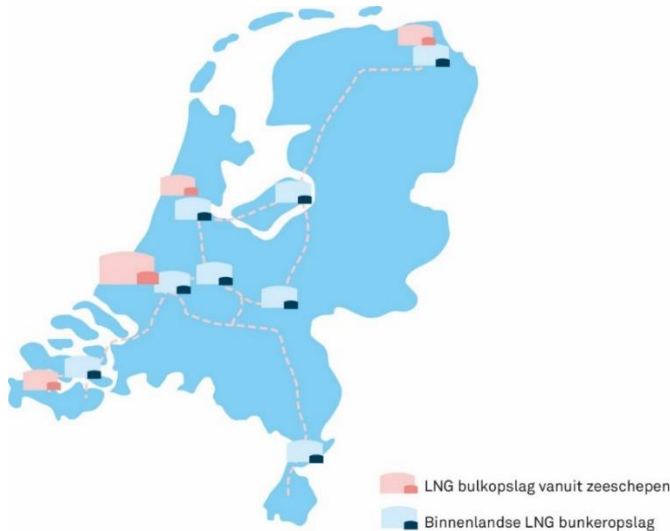
Afbeelding 3.5 Opwerkingsinstallatie voor groen gas van Attero



3.2 Opslag

In Nederland wordt LNG opgeslagen in grote opslag tanks. Afbeelding 3.6 geeft een overzicht van beoogde opslaglocaties in Nederland.

Afbeelding 3.6 Beoogde LNG-opslagpunten



3.3 Transport

Vanuit grote opslagtanks in het buitenland wordt LNG per bunkerschip naar bijvoorbeeld Nederland vervoerd. In Nederland is de Gate terminal in Rotterdam de locatie met de grootste doorzetcapaciteit van 12 miljard m³ LNG per jaar.

Op zo'n terminal wordt LNG opgeslagen in grote, atmosferische opslagtanks, van waaruit het weer vervoerd wordt naar gebruikers. Het transport naar gebruikers vindt meestal plaats in tankwagens of tankcontainers over de weg, maar ook via binnenvaart en spoor.

Afbeelding 3.7 The Gate terminal, Rotterdamse haven



3.4 Gebruik

LNG is in opkomst en wordt toegepast als schone brandstof. Het wordt gebruikt in het wegverkeer en de scheepvaart (en binnenkort waarschijnlijk ook op niet-geëlektrificeerde trajecten van het spoor, waar nu nog diesellocomotieven rijden). Vooral vrachtwagens rijden op LNG als vervanger voor diesel, maar ook voor bussen is deze brandstof in opkomst. Daarnaast gebruiken binnenvaart- en zeewaardige schepen LNG als brandstof. Tot slot zijn er ook aggregaten die LNG als brandstof gebruiken.

4 Opslag van LNG

Er kan onderscheid gemaakt worden in drie verschillende soorten van opslag van LNG.

- > Grote, atmosferische opslagtanks die vooral in grote zeehavens liggen (paragraaf 4.1). Overigens worden ook zeeschepen zelf gebruikt voor de (tijdelijke) opslag van LNG, maar vanwege het transportkarakter zal dit besproken worden in hoofdstuk 5.
- > Tussenopslagtanks van bunkerinstallaties die LNG verder in het binnenland brengen en gebruikt worden om LNG in relatief grotere volumes dicht bij de eindgebruiker te krijgen; dit kan ook de industrie zijn (paragraaf 4.2).
- > Opslagtanks bij tankstations (ook wel afleverinstallaties genoemd), van waaruit LNG in een brandstoftank wordt gepompt (paragraaf 4.3). In deze paragraaf wordt ook de opslag van LNG op een tankstation behandeld, terwijl de activiteiten die specifiek zijn voor laden en lossen, het tanken, in hoofdstuk 5 beschreven worden.

4.1 Opslagtanks

Opslagtanks voor LNG zijn grote dubbelwandige vaten met een vacuüm en/of isolatiemateriaal (perliet) tussen de wanden. Dit zijn atmosferische opslagtanks die een hoge 'passieve veiligheid' hebben tegen aanstraling. De inhoud is maximaal 160.000 m³.

Afbeelding 4.1 en 4.2 Opslagtanks tot 160.000 m³



4.2 LNG-bunkerinstallatie

Bunkerinstallaties zijn grote opslaglocaties, ze liggen meestal in de nabijheid van water. Vanuit bunkerschepen wordt LNG hier aangeleverd en opgeslagen voor transport naar afleverinstallaties. Bunkerinstallaties bestaan uit grote opslagtanks (tot 1500 m³), grote geïsoleerde dubbelwandige vaten met een vacuüm tussen de wanden. Opslagtanks zijn herkenbaar aan de afblaasleidingen bovenop de tank. Bunkerstations kunnen voorkomen in de openbare ruimte, dus niet alleen op het terrein van een inrichting. Soms is er alleen een tankwagen aanwezig voor laden en lossen. Eisen voor bunkerinstallaties zijn vastgesteld in de Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen (PGS 33-2).

De opbouw van de LNG-bunkerinstallatie is grotendeels gelijk aan die van de LNG-afleverinstallatie (zie volgende paragraaf). Het belangrijkste verschil is dat de naverwarmer ontbreekt. Eind 2015 zijn in Nederland nog geen bunkerinstallaties in werking.

4.3 LNG-afleverinstallatie

In deze paragraaf wordt de LNG-afleverinstallatie besproken, omdat brandweerkorpsen in Nederland dit type installatie (in relatie tot andere opslagvoorzieningen) het vaakst zullen tegenkomen bij een inzet.

LNG-afleverinstallaties worden in de volksmond ook wel LNG-tankstations genoemd. Vaak worden meerdere soorten brandstoffen afgeleverd op een tankstation, dus combinaties zijn mogelijk. Mobiele installaties (vanuit een tankwagen) komen echter ook voor, zie hiervoor hoofdstuk 7.

In onderstaande afbeeldingen is een voorbeeld van een LNG tankstation te zien. De opbouw van dit soort tankstations hoeft niet gelijk te zijn, dit is dan ook slechts een voorbeeld. Links in afbeelding 4.3 en 4.4 is de grote opslagtank te zien.

Afbeelding 4.3 en 4.4 LNG tankstations



Voor LNG-tankstations gelden de volgende kenmerken.

- > LNG-tankstations zijn opgebouwd volgens PGS 33-1. De opbouw kan verschillend zijn, maar de veiligheidseisen zijn gelijk. Tankstations die gebouwd zijn voor 2013 kunnen een andere opbouw hebben en voldoen aan minder eisen (zie bijlage 1).
- > Bij een LNG-tankstation is altijd een opslagtank met afleverinstallatie aanwezig.
- > Er kunnen meerdere personen aanwezig op een tankstation, maar ze kunnen even goed onbemenst zijn. Onbemenste LNG-tankstations worden bewaakt via sensoren en cameratoezicht.

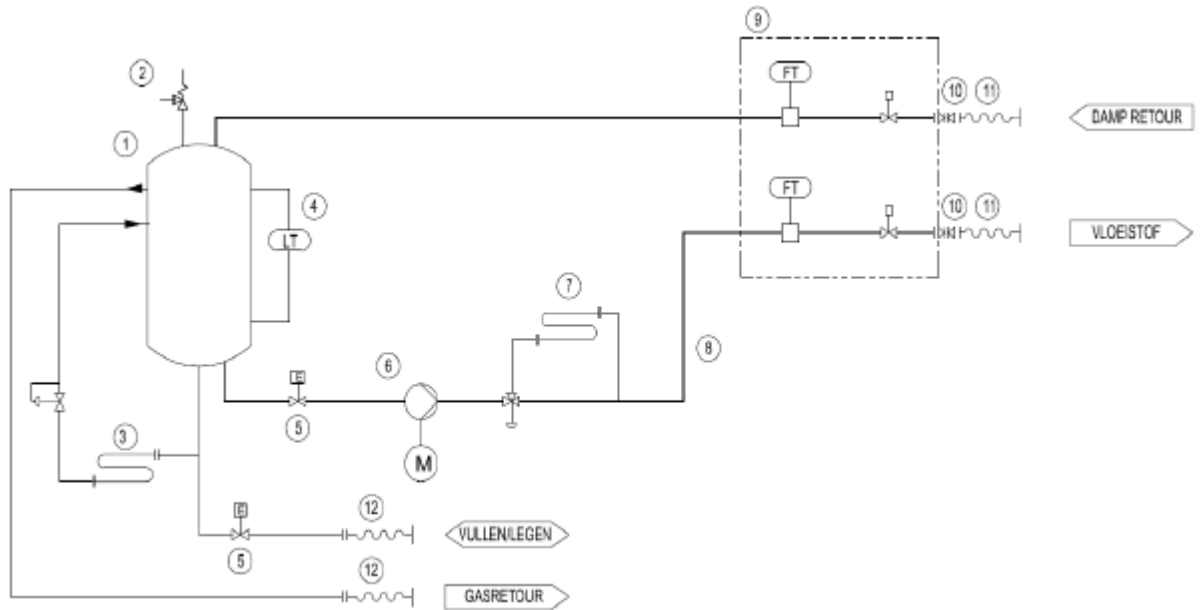
Afbeelding 4.5 Herkenbaarheid LNG



Afbeelding 4.6 Opslagtanks met verdamper

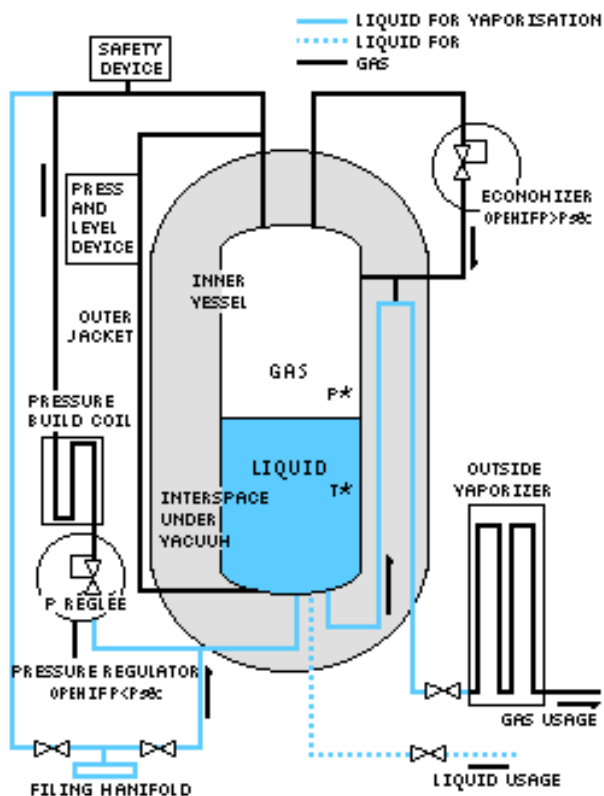


Abbeelding 4.7 Schema van een basis LNG-afleverinstallatie (uit PGS 33-1)



1. LNG-opslagtank, 2. veiligheidsventielen, 3. drukopbouwverdamer, 4. niveaumeting, 5. afsluiter, 6. pomp, 7. naverwarmer, 8. leidingsysteem, 9. afleverzuil (dispenser), 10. breekkoppelingen, 11. afleverslangen, 12. vul-, losslang of vularm, E. afsluiter, FT. flowmeter, M. motor (van de pomp), LT. niveaumeter.

Abbeelding 4.8 Schematische voorstelling van een cryogene tank

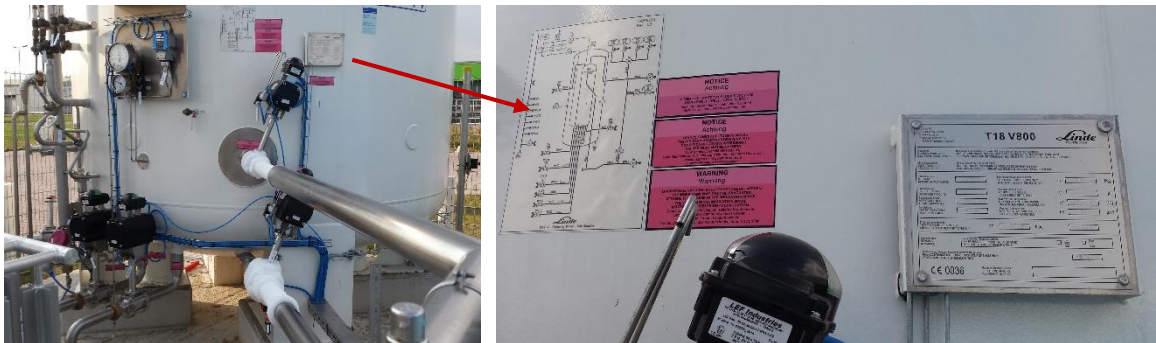


Een basis LNG-afleverinstallatie bestaat uit de volgende onderdelen.

LNG-opslagtank

In een LNG-opslagtank wordt een voorraad LNG opgeslagen. Een typische tank heeft een volume van 30 tot 80 m³. Deze opslag tanks zijn drukvaten met een werkdruk van 3 tot 20 bar. De tank is goed geïsoleerd. Conventionele isolatie met schuim is mogelijk, maar meestal zal een vacuüm-geïsoleerd vat worden toegepast. Een vacuüm-geïsoleerd vat is dubbelwandig, waarbij de tussenruimte tussen de wanden vrijwel volledig vacuüm is. Daarnaast wordt de tussenruimte nog gevuld met het isolatiemateriaal perliet¹⁶, wat het isolatieverlies beperkt als het vacuüm verloren gaat. Het binnenvat is van roestvast staal omdat dit goed bestand is tegen lage temperaturen. Het buitenvat is vaak van het sterke koolstofstaal en op de plaatsen waar leidingen worden doorgevoerd van RVS. Een opslag tank kan staand of liggend worden uitgevoerd. Drukmeting in de tank wordt normaal gesproken gedaan aan de bovenzijde van de tank.

Afbeelding 4.9 LNG opslagtank met uitvergroot specifieke gegevens van de tank



Vullen van de tank gebeurt vanuit een LNG-tankwagen of vanuit een bunkerschip, met behulp van een los slang of losarm. Het vullen kan aangedreven worden door een pomp, maar ook door drukverschil. Het nieuw geleverde LNG is vaak kouder dan wat er nog in de tank zit. Hierdoor zal de druk in de tank veelal dalen. Als de druk niet daalt, dan kan met behulp van een dampretour de druk in het leverende insluitsysteem worden verhoogd. Een opslag tank is verplicht ontworpen met twee onafhankelijk werkende niveaumeters, drukmeters en veiligheidsvoorzieningen die voorkomen dat de maximale vullingsgraad wordt overschreden; deze staat vermeld op de tank. De tank staat opgesteld op een onbrandbare ondergrond en de draagconstructie is minimaal 60 minuten bestand tegen brand.

Veiligheidsventielen (drukontlastingsapparatuur)

Drukontlastingsapparatuur voorkomt dat de druk in de opslag tank te hoog wordt. Dit zijn overdrukbeveiligingen of afblaasveiligheden; hier vindt uitstoot van gas plaats via de afblaaspijp. Hoofdstuk 8 gaat specifiek in op de veiligheidsvoorzieningen.

Afbeelding 4.10 Afblaaspijp afleverinstallatie



¹⁶ Zie voor meer informatie over perliet paragraaf 5.2.2.

De centrale afblaasvoorziening moet aan specifieke eisen voldoen. De voorziening kan niet worden afgesloten, er kan zich geen water verzamelen en de afblaasrichting is verticaal. Daarnaast mag de warmtestraling van een fakkel uit deze voorziening niet hoger zijn dan 35 kW/m² op bepaalde afstanden (zie ook hoofdstuk 8) en op grondniveau niet hoger dan 3 kW/m². Ook mag er geen plas ontstaan.

Drukopbouwverdamer

Met een drukopbouwverdamer wordt vloeibare fase uit de tank in gas omgezet en terug in de tank gebracht, waardoor de druk in de tank kan worden opgevoerd. Een drukreducereventiel regelt op deze manier vanzelf de druk in de tank. Als alternatief wordt soms een automatische klep gebruikt, gestuurd door een drukschakelaar.

Niveaumeting

De niveaumeting in de tank wordt normaal uitgevoerd met een drukverschilmeting over de vloeistofhoogte. Het maximale vloeistofniveau van de tank is 95 procent. Bij horizontale tanks is de vulgraad van de tank niet gelijk aan de vulhoogte. Niveaumeting is afhankelijk van de dichtheid van LNG; bij hogere temperatuur wordt de dichtheid lager. Daardoor kan de hoogte van warme LNG in horizontale tanks te laag gemeten worden, met als gevolg dat de tank overvuld kan worden. Daarom hebben verticale tanks de voorkeur.

Afsluiter

Om te voorkomen dat de opslagtank leegloopt bij calamiteiten zijn alle vloeistofaansluitingen aan de tank voorzien van afsluiters. Deze afsluiters kunnen een dubbele functie hebben. Enerzijds als procesafsluiter, de afsluiter wordt dan toegepast in het normale bedrijfsproces, en anderzijds als veiligheidsafsluiter, de afsluiter grijpt dan in bij onbedoelde situaties. Daarnaast zijn er handbediende afsluiters voor onderhoudsdoeleinden.

Pomp

De opvoerdruk voor het vullen van een voertuigtank kan geleverd worden door een pomp. Voor het starten van de pomp moet deze eerst worden afgekoeld naar gebruikstemperatuur. Dit gebeurt door het vullen van het pompcircuit met de vloeibare fase uit de tank. Deze pomp is altijd lager geplaatst dan het vloeistofniveau in de tank. Dit zorgt ervoor dat de koude vloeistof gebruikt kan worden om de pomp te koelen zonder dat de pomp gestart hoeft te worden omdat de vloeistof naar beneden kan stromen onder invloed van de zwaartekracht.

Naverwarmer

Druk en temperatuur van LNG in de opslagtank zijn laag. In de voertuigtank is een hogere druk noodzakelijk om de brandstoftoevoer naar de motor te garanderen. LNG moet daarom worden verwarmd (waardoor de druk ook verhoogd), om te voorkomen dat de druk in de voertuigtank snel daalt. Hiervoor kan een naverwarmer worden geplaatst die gebruik maakt van de omgevingswarmte. Een andere mogelijkheid is om LNG in de opslagtank op de juiste temperatuur en druk te brengen; een naverwarmer is dan niet nodig.

Leidingsysteem

LNG wordt via leidingen getransporteerd. Het meest gebruikte materiaal is RVS met een speciale legering. Dit is zeer geschikt voor de heersende temperaturen. Flensverbindingen zijn mogelijk, maar lasverbindingen zijn betrouwbaarder bij wisselende temperaturen.

Afbeelding 4.11 Leidingwerk



Het is ook mogelijk dat in plaats van LNG een ander koelmiddel, zoals stikstof, gebruikt wordt om het opgewarmde LNG weer af te koelen. In dat geval is een opslagtank voor het koelmiddel (vaak door koude vloeibaar gemaakte stikstof) en het bijbehorende leidingsysteem aanwezig op het tankstation.

Afleverzuil (dispenser)

De afleverzuil is voorzien van afleverslangen, doorstroommeters, een noodknop en overige instrumenten. Soms is een bypass aangelegd om leidingen voor te koelen voordat het voertuig wordt gevuld. De afleverzuil is zodanig uitgevoerd dat de druk in de slang niet hoger wordt dan de veiligheidsdruk van de voertuigtank. Ook wordt de aflevering automatisch gestopt als de voertuigtank volledig gevuld is. De afleverzuil is beveiligd tegen aanrijden en voorzien van een bedieningsinstructie en een noodstop.

Afbeelding 4.12 en 4.13 Twee soorten afleverzuilen met noodknop (rode pijl)



LNG-afleverstations worden vanaf afstand bewaakt (BBA: beveiliging en beheer op afstand). Bij incidenten op deze afleverstations kan de brandweer via de aanwezige intercom contact opnemen met de exploitant van het station. Via deze weg is een installatiedeskundige snel in

te schakelen. Ook kan de beheerder op afstand procesparameters van de installatie, zoals druk en temperatuur, aflezen en zijn videobeelden steeds beschikbaar.

Brekkoppelingen

Brekkoppelingen in de afleverslangen voorkomen dat de installatie wordt beschadigd of grote hoeveelheden gas verloren gaan als een voertuig wegrijdt terwijl de slangen nog aangekoppeld zijn. Brekkoppelingen zijn voorzien van een afsluitklep.

Afleverslangen

De afleverslang is voorzien van een vulaansluiting die pas na het aankoppelen aan het voertuig kan worden geopend. Dit is een snelkoppeling die bij loskoppelen sluit waardoor vrijwel geen (L)NG verloren gaat. Via deze koppeling worden potentiaalverschillen opgeheven. Dit voorkomt dat na opbouw van statische elektriciteit ontsteking plaatsvindt door ontlading. Zie ook afbeelding 7.4 voor een inkijk in zo'n koppeling en paragraaf 7.2 voor verdere uitleg.

Daarnaast zijn de afleverslangen voorzien van een 'dry break'/break-away'-koppeling: deze wordt geactiveerd bij een trekkracht van maximaal 50 kilogram, met als doel het ontsnappen van LNG te voorkomen.

Vul-, losslang of laadarm

De toeleverende LNG-tankwagen vult de LNG-opslagtank via een losslang/arm.

5 Transport van LNG

LNG wordt getransporteerd via het water met speciale LNG-(bunker)schepen/vaartuigen (paragraaf 5.1) en via land met LNG-tankwagens (paragraaf 5.2). Beide wijzen van transport zullen in dit hoofdstuk besproken worden.

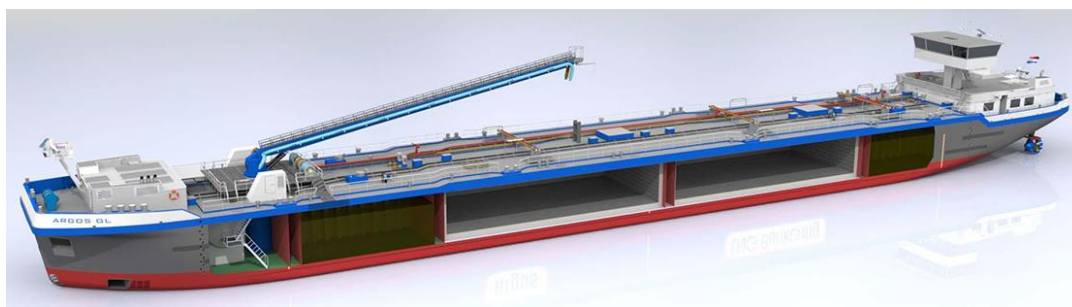
5.1 LNG in (bunker)schepen/vaartuigen

Speciale LNG-bunkerschepen brengen LNG vanaf de productielocatie de wereld rond. LNG-bunkerschepen beschikken over opslagtanks van 500-1500 m³. In de toekomst kan dit oplopen tot 20.000 m³. Voor een binnenvaarttanker is het verwachte maximale volume 3.000 m³. De definitie van LNG bunkeren is de 'small scale' verlading van LNG in schepen die LNG als brandstof gebruiken. LNG bunkeren vindt plaats in havens of andere beschermde locaties aan rivierkades.

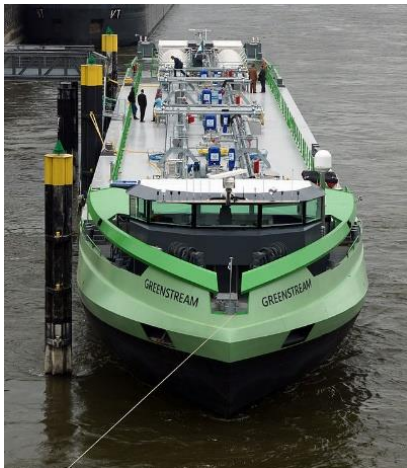
Om de kans op lekkage te verkleinen en isolatie mogelijk te maken, zijn deze schepen meestal dubbelwandig uitgevoerd. De wanden van opslagtanks zijn zo ontworpen dat tijdens het transport zo min mogelijk LNG verdampst. Conventionele LNG-bunkerschepen gebruiken damp geproduceerd door de LNG-lading ('boil off') als brandstof. De eisen voor afleverinstallaties voor LNG voor vaartuigen zijn vastgesteld in de PGS 33-2. De schepen zelf zijn voorzien van veiligheidsvoorzieningen, zoals een automatische noodstop. De noodstop kan leiden tot het afsluiten en het ontkoppelen van de laad-/losarm (zie verder Hoofdstuk 8).

Onderstaande afbeeldingen geven een indruk van het transport van LNG in schepen. Bunkerschepen worden gebruikt voor bulktransport van LNG, bijvoorbeeld van de productielocatie naar een grote terminal. Let vooral op de omvang van deze bulkschepen. LNG-bunkerschepen zijn bedoeld om schepen die LNG als brandstof gebruiken onderweg te laten tanken, ook wel ship-to-ship verlading genoemd.

Afbeelding 5.1 Argos LNG-bunkerschip met membraantanks i.p.v. vacuüm geïsoleerde tanks (in aanbouw in 2015)



Afbeelding 5.2 Binnenvaarttanker die elektrisch aangedreven wordt door stroom van op LNG werkende generatoren



Afbeelding 5.3 LNG-bunkerschip voor bulktransport LNG



Afbeelding 5.4 Binnenvaart LNG-bunkerschip die een op LNG varende zee containerschip bunkert met LNG



Gedetailleerde informatie over het transport van LNG in binnenvaartschepen is beschikbaar in het LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau, Sub-activiteit 2.4, Richtlijnen en aanbevelingen voor hulpverleningsorganisaties [18].

5.2 LNG in tankwagens

Naast transport over zee en binnenvaart kan LNG ook over land getransporteerd worden. Hiervoor worden naast treinen ook zogenaamde LNG-tankwagens of tankcontainers gebruikt. Deze tankwagens of tankcontainers vervoeren dus LNG, maar zullen meestal zelf op een andere brandstof rijden als gevolg van de bepalingen in het ADR. Let daarom goed op de oranje borden!

Afbeelding 5.5 Voorbeeld van een LNG-tankwagen



Afbeelding 5.6 Tankcontainers



LNG-tankwagens en tankcontainers hebben de volgende kenmerken.

- > LNG-tankwagens zijn dubbelwandige, geïsoleerde vaten, te vergelijken met een grote thermosfles waarin cryogene, door koude vloeibaar gemaakt gas (-162 °C) wordt vervoerd.
- > Een LNG-tankwagen is een drukhouder. Omdat LNG continu een beetje verdampt, loopt de druk in het afgesloten vat op:
 - > de druk kan variëren tussen 1-20 bar en is afhankelijk van de temperatuur van de vloeibare fase
 - > tijdens het vervoer van LNG is de druk ongeveer 2 bar.
 - > bij een niet-gebruikte, stilstaande lading kan de druk in de tankwagen langzaam oplopen tot een hoge druk die net zo hoog is als de waarde waarop de afblaasveiligheid is ingesteld. Dit kan wel 8 bar zijn, wat overeenkomt met ± -120 °C. De lading blijft voor een bepaalde tijd stabiel en veilig, dit wordt ook wel de holding time genoemd. De holding time is afhankelijk van het type tank.
- > Er bestaan diverse uitvoeringen van tankwagens. De belangrijkste verschillen zijn:
 - > opbouw tank:
 - twee lagen roestvast staal, met daartussen vacuüm eventueel gevuld met perliet (zie ook paragraaf 5.2.2)
 - binnentank staal, buitenwand aluminium met daartussen polyurethaan
 - > locatie bedieningskast voor het bedienen van het laad/lossysteem van de tank door de chauffeur. Deze kast kan aan de zijkant of achterop de tankwagen zitten.
 - > inhoud tankwagen (varieert van 8-30 ton, 17-66 m³), vullingsgraad: $\pm 95\%$.

- > onderscheid in een tanker, een tankcontainer (die op een vrachtwagen vervoerd wordt) en een trailer. Tankers en tankcontainers vervoeren ongeveer 21 ton of 46 m³ LNG en een trailer kan tot 30 ton of 66 m³ LNG vervoeren. Tankcontainers zijn voorzien van een speciaal pompsysteem en een meetsectie. De binnenste en buitenste tank, delen van het frame en de pijpenaansluitingen zijn van roestvrij staal. Vanwege de hogere uitlaatdruk kan er sneller gelost worden. Het meetgedeelte maakt nauwkeurige metingen van de inhoud mogelijk. Tankcontainers worden door een vrachtwagen met oplegger vervoerd, maar kunnen ook per spoor vervoerd worden (zie afbeelding 5.6).

Afbeelding 5.7 LNG-tankwagen met bedieningskast achterop



Afbeelding 5.8 Tankcontainer op trailer met bedieningskast aan de zijkant

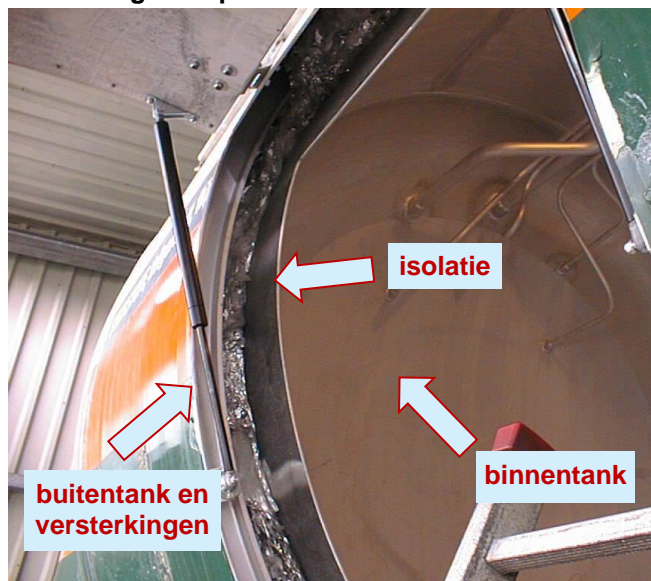


5.2.1 Opbouw tanks

Tankwagens worden steeds meer gebouwd naar de wensen van de klant. Dit uit zich vooral in de bediening van de systemen. Deze paragraaf geeft een indruk van de opbouw van een tankwagen.

Een tankwagen bestaat uit een binnentank van RVS en een buitentank van staal of aluminium. Tussen de buiten- en binnenwand is een vacuüm gecreëerd en is isolatiemateriaal aangebracht (zie ook paragraaf 5.2.2).

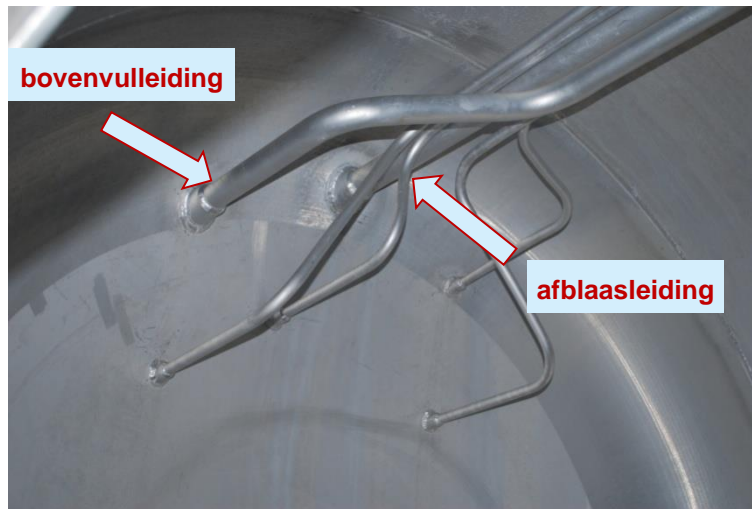
Afbeelding 5.9 Opbouw van een tank



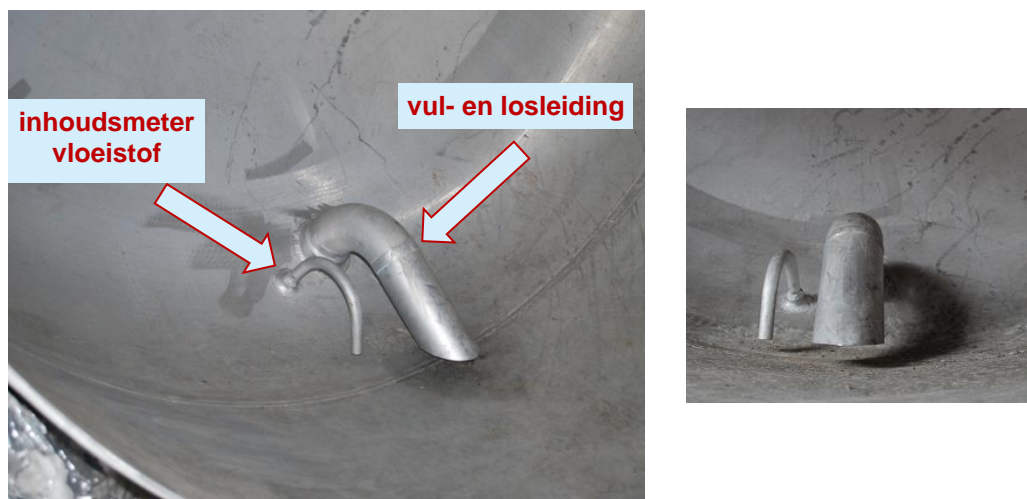
Door de binnentank lopen leidingen voor het vullen van de tank, dampretour, het bepalen van de inhoud of het niveau (vullingsgraad) en het beveiligen tegen overdruk (naar

afblaasventiel). De leidingen lopen door de binnenste tank heen, om zo geen warmteoverdracht te krijgen van buiten.

Afbeelding 5.10 Voorbeeld van een binnentank met daarin een bovenzulleiding en afblaasleiding



Afbeelding 5.11 Voorbeeld van een binnentank, met daarin een ondervulleiding en inhoudsmeter op de bodem van de tank

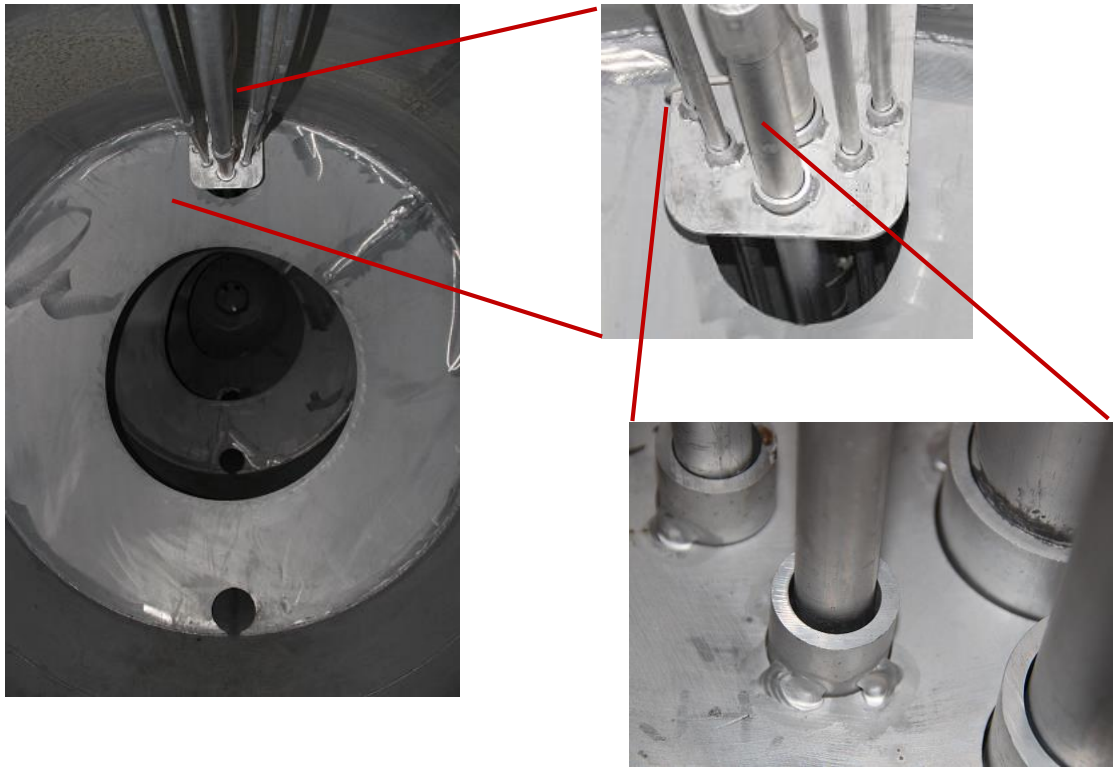


Overigens wordt voor het vullen meestal een bovenzulleiding gebruikt omdat de koude vloeistof bij het 'neervallen' het aanwezige gas in de tank afkoelt.

In de tank bevinden zich slingerschotten (zie afbeelding 5.12) om ongewenste bewegingen in de vloeibare fase, bijvoorbeeld bij plotseling remmen, tegen te gaan. Zonder slingerschotten kan de inhoud van de tank gaan slingeren of schommelen, waardoor de tankwagen niet meer stabiel op de weg ligt en zou kunnen kantelen omdat het zwaartepunt verandert. De leidingen gaan naar de voorkant van de binnentank en zitten daar vast. De leidingen zijn los door de schotten gevoerd om zo uitzetten en krimpen mogelijk te maken. Over de totale lengte kan de tank 8-12 cm variëren in lengte als gevolg van uitzetten en krimpen door temperatuurverschillen.

De binnenste tank is, net zoals bij een thermosfles, aan één kant bevestigd. De voorkant van de binnentank hangt aan vier trekstangen en is zo flexibel opgehangen. De vier trekstangen komen bij elkaar in het fixeerpunt. De bevestiging is 'beweegbaar' of flexibel (zie afbeelding 5.13).

Afbeelding 5.12 Slingerschotten in de tank: links het slingerschot en rechts uitvergrotingen van de doorvoering van leidingen door de schotten



Afbeelding 5.13 In deze tankwagen is voor oefendoeleinden het fixeerpunt zichtbaar gemaakt



In afbeelding 5.14 is een vergroting van het fixeerpunt, dus aan de voorkant van de binnentank, weergegeven. De koperen ringen verminderen warmteoverdracht en spanningscorrosie.

Afbeelding 5.14 Vergroting van het fixeerpunt met de bevestiging van de bovenste twee trekstangen; in de normale situatie zijn er vier trekstangen bevestigd



Afbeelding 5.15 Isolatiemateriaal tussen de binnen- en buitentank



5.2.2 Isolatie

De binnentank is bekleed met (vele lagen) aluminium- en papiervellen. Als isolatiemateriaal kan ook perliet in plaats van papier toegepast worden. Perliet is een wit poeder dat zorgt voor de isolerende werking. Perliet wordt ook gebruikt als hittebestendig isolatiemateriaal voor smelterijen en als isolatie in installaties die bij extreem lage temperaturen werken (cryogene installaties). Het behoudt de isolerende werking ook na opwarmen en beschadiging van de buitentank. Tanks met een aluminium buitentank kunnen voorzien zijn van (het brandbare) polyurethaan (PUR) als isolatiemateriaal.

Als de buitentank of -wand beschadigd raakt kan ook de isolatie beschadigd raken, met als mogelijk gevolg dat de tank versneld opwarmt. Deze versnelde opwarming is te herkennen aan ijsvorming aan de buitenkant van de tank (te vergelijken met de ijsvorming op de koppeling van een ademluchtfles, zie afbeelding 5.16).

Afbeelding 5.16 Beschadiging isolatie is te herkennen aan ijsvorming aan de buitenkant



Bij ernstige beschadiging van de buitentank kan het voorkomen dat het isolatiemateriaal perliet vrijkomt. Dit valt als wit poeder op de grond. Als de binnentank ook beschadigd is, zal door het snelle opwarmen en wegvallen van de isolatie de sterk gekoelde vloeibare fase vrijkomen en verdampen. Dit proces is te zien in afbeelding 5.17 (het gaat om een andere cryogeen gas dan LNG, maar het principe is hetzelfde). Het wegvallen van het vacuüm tussen de binnen- en de buitentank is ook te herkennen aan het loszitten van de blow-off disc (zie hiervoor paragraaf 8.3).

Afbeelding 5.17 Vrijkomen van perliet (wit poeder op de grond) en snel verdampende vloeibare fase (vormen van witte nevel) van een cryogeen gas



5.2.3 Bedieningskast

De bedieningskast van een LNG-tankwagen bevat een laad/losinstallatie die bediend wordt door de chauffeur van de tankwagen. Bedieningskasten of -kabinetten kunnen zeer verschillend uitgevoerd zijn. Als brandweer zullen we daarom hooguit een noodstop (altijd te herkennen aan de rode kleur) bedienen of alleen handelingen uitvoeren na uitleg van een deskundige.

Afbeelding 5.18 Voorbeelden van bedieningskasten



5.2.4 Veiligheidsvoorzieningen

Om te voorkomen dat de druk en temperatuur in de tank oploopt en de inhoud van de tank ongewild vrijkomt, zijn tankwagens voorzien van veiligheidsvoorzieningen zoals afblaasveiligheden en een blow-off disc. Deze veiligheidsvoorzieningen worden in hoofdstuk 8 besproken, tezamen met de veiligheidsvoorzieningen- en eisen van installaties en vaartuigen.

6 LNG als brandstof

Voertuigen met een alternatieve aandrijving zijn steeds vaker aanwezig op de Nederlandse wegen. Gedacht kan worden aan elektrische voertuigen, hybride voertuigen, voertuigen met een brandstofcel (waterstof) en voertuigen die aardgas (CNG of LNG) gebruiken als brandstof. LNG is een sterk opkomende brandstof voor de transportsector. Het wordt vooral toegepast in vrachtwagens en bussen (paragraaf 6.1) en in schepen (paragraaf 6.2). In de laatste paragraaf (6.3) wordt de mate van 'schoonheid' van LNG vergeleken met andere brandstoffen.

6.1 Vrachtwagens en bussen

Als LNG gebruikt wordt als brandstof, gelden de volgende algemene kenmerken.

- > Vervoermiddelen zijn *niet* duidelijk herkenbaar als LNG-aangedreven, hier zijn geen stickers, etiketten, et cetera voor vastgesteld. Vaak is het wel zichtbaar aan de buitenkant door opschriften. Zie voor meer informatie de volgende deelparagraaf.
- > Vervoermiddelen met LNG als brandstof gebruiken LNG vaak in combinatie met een andere brandstof, zoals diesel of CNG (de inhoud van de brandstoftanks varieert). Zie afbeelding 6.1.
- > De LNG-brandstoftanks zijn drukhouders (6-24 bar).
- > De inhoud van een brandstoftank is maximaal 1500 liter vloeibaar LNG (= ±750 kg).
- > Tanks zijn vaak geplaatst aan de zijkant van de vrachtwagen of geheel ingebouwd tussen de voor- en achteras van de trekker.
- > De tanks zijn voorzien van afblaasveiligheden. Er zijn verschillende uitvoeringen van afblaasveiligheden mogelijk, zowel direct op de tank als bovenin bij de spoiler. Vaak worden beide toegepast.
- > Er bestaat een kans op versneld afblazen bij uitwendige beschadiging omdat dan het vacuüm tussen de binnentank en buitentank verloren gaat en versnelde opwarming plaatsvindt. De opwarming kan zo snel gaan dat afblaasveiligheden de verhoogde druk niet meer voldoende kunnen afdrukken met falen van de brandstoftank (BLEVE) tot gevolg.
- > Als een voertuig stilstaat, wordt geen brandstof verbruikt en bouwt de temperatuur langzaam op. Na maximaal drie weken stilstand (maar vaak al na een paar dagen) zal de tank gedurende korte tijd afblazen. Dit een normaal proces, dat nodig is om de opslag op een lage temperatuur te houden; hierbij komt wel een kleine hoeveelheid aardgas (BOG) vrij.

Afbeelding 6.1 Alle soorten vrachtwagens, van links naar rechts: Iveco, Scania, Volvo duelfuel methaan diesel, Mercedes



6.1.1 Herkenbaarheid LNG vrachtwagen

Aan de buitenkant van een voertuig is meestal niet te zien door welke brandstof het voertuig wordt aangedreven. Om een indicatie te krijgen kan gelet worden op uiterlijke kenmerken.

Een vrachtwagen die LNG als brandstof gebruikt, kan bijvoorbeeld herkend worden aan de:

- > uitvoering van de brandstoftank (zie afbeelding 6.2)
- > vulpunt op achterkant tank (zie nr. 1 in afbeelding 6.2 rechts)
- > afblaasleidingen/-ventielen/-pijpen (zie afbeelding 6.3)
- > drukmeters en
- > stickers (met aanduidingen zoals 'LNG', zie afbeelding 6.4).

Informatie over de aandrijving is uiteraard ook terug te vinden in het Crash Recovery System en ADAC (systeem van de Duitse ANWB). Zie ook onderstaande afbeeldingen voor meer voorbeelden waar een LNG aangedreven voertuig aan te herkennen is.

Afbeelding 6.2 toont een LNG-brandstoftank aan de zijkant van een vrachtwagen. In het linkerdeel, onder de klep, zitten één of meer afblaasventielen.

Afbeelding 6.2 LNG-brandstoftank: rechts bij 1: aansluiting voor LNG-slang (tanken); 2: drukontlasting voor tanken; 3: leiding richting afblaaspijp; 4: leiding richting motor



Afbeelding 6.3 Verschillende uitvoeringen van afblaaspijpen (o.a. bij spoiler cabine)



Afbeelding 6.4 Herkenbaarheid, specificaties van LNG-tank en contactgegevens exploitant op brandstoftank



Ook zijn nog oudere LNG-brandstoftanks in omloop die slecht geïsoleerd zijn en soms al na enkele uren af kunnen blazen (zie afbeelding 6.5). Deze tanks zijn herkenbaar aan hun 'vierkante' uiterlijk. Deze tanks worden niet meer toegepast, maar kunnen nog wel voorkomen op de Nederlandse wegen.

Afbeelding 6.5 LNG-tank met een vierkante buitentank en een lagere isolatiewaarde



Afbeelding 6.6 Gecombineerd gebruik CNG (links) en LNG (rechts) als brandstof in dezelfde trekker



6.2 Scheepvaart

Ook in de scheepvaart wordt LNG toegepast als brandstof; het BOG wordt hiervoor meestal gebruikt. LNG kan in verschillende typen verbrandingsmotoren worden toegepast, zo kan het in combinatie met diesel worden gebruikt en in de gas of vloeibare fase. Maar ook combinaties met elektromotoren zijn als bekend. Zie ook afbeelding 5.2.

Het volume LNG in de brandstoftank van een binnenvaartschip ligt tussen de 40 – 160 m³. De tanks worden zowel boven- als benedendecks geplaatst.

Afbeelding 6.7 Schip dat LNG gebruikt als brandstof wordt getankt vanuit een LNG-bunkerschip

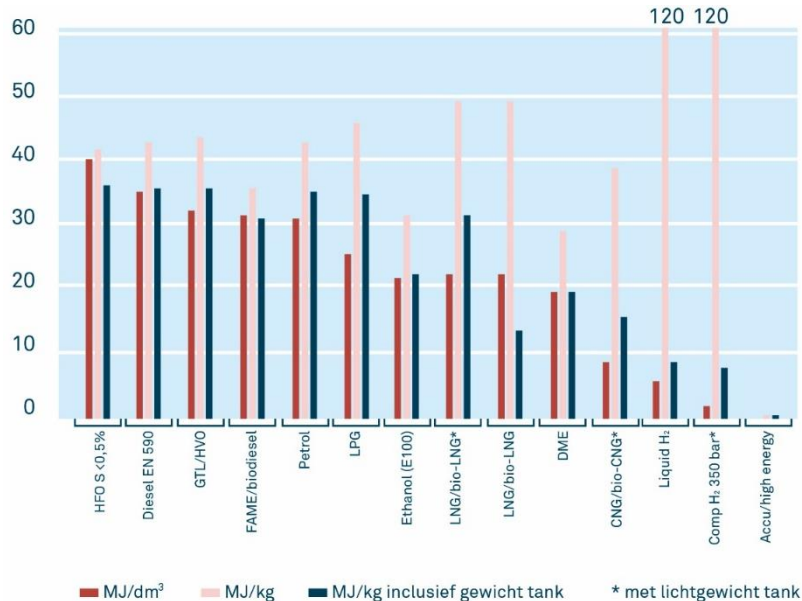


Gedetailleerde informatie over LNG als brandstof in binnenvaartschepen is beschikbaar in het LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau, Sub-activiteit 2.4, Richtlijnen en aanbevelingen voor hulpverleningsorganisaties [18]. Hierin vindt u ook gedetailleerde informatie over het ontwerp van verschillende typen brandstoftanks.

6.3 LNG als schone brandstof

LNG heeft een relatief hoge energiedichtheid en relatief lage uitstoot aan luchtvervuilende stoffen, zoals CO₂, NO_x en SO₂. Afbeelding 6.8 laat de energiedichtheid voor verschillende soorten brandstoffen zien.

Afbeelding 6.8 Energie-inhoud brandstoffen per liter en per kilogram



Als gevolg van de strenge emissie-eisen¹⁷ is de uitstoot van vervuilende deeltjes nagenoeg gelijk voor LNG en benzine en diesel. Voor waterstof en elektrisch-aangedreven is deze emissie 0. Het gebruik van waterstof als brandstof heeft dus eigenlijk positievere effecten dan LNG. Door de hoge veiligheidseisen die gelden voor waterstoftankstations gaat deze ontwikkeling anno september 2015 echter veel minder snel. Het is niet rendabel om aardgas om te zetten in waterstof en vervolgens te gebruiken als brandstof, tenzij waterstof bijvoorbeeld uit biomassa gewonnen wordt. Voor rijden op elektriciteit is verdere ontwikkeling nodig op het gebied van energieopslag in compacte, lichte en goedkope accupacks omdat de actieradius voor de transportsector nog te laag is. Overigens gelden de positieve effecten alleen als waterstof en elektriciteit met duurzame stroom worden geproduceerd. Is dat niet het geval, dan neemt vooral de CO₂-emissie, maar ook het energieverbruik sterk toe door het stroomverbruik.

TNO heeft een analyse gemaakt van de energieketen van verschillende brandstoffen. Het totaal van de energielevenscyclus wordt aangeduid met Well-to-Wheel-analyse (WTW-analyse). Een samenvatting van de resultaten is opgenomen in tabel 6.9.

¹⁷ Eisen met betrekking tot de maximale uitstoot van schadelijke stoffen.

Tabel 6.9 Resultaten van well-to-wheel analyse

Transport	Broeikasgas-emissies	Energie-verbruik	Vervuilende emissies (NO _x , SO ₂ , fijnstof)	Opmerkingen
CNG in personenauto	-17%	3%	o+	Referentie: benzine
CNG in lichte bestelauto's	-12%	11%		
Batterij elektrische auto's	-55%	-45%	++	Referentie: benzine
Waterstof elektrische auto's	-33%	-12%	++	
Batterij elektrische trucks en bussen	-15% tot -25%	-5% tot 5%	++	
Waterstof in trucks en bussen	-8%	20%	++	
Aardgas in trucks en bussen	0% tot -19%	0% tot 14%	o	Dit type motoren is mogelijk onvoldoende beschikbaar
LNG in binnenvaartschepen	0	4%	+	Als de methaanemissie laag is, is een afname tot -20% in broeikasgasemissie mogelijk
LNG in zeeschepen	0% tot -20%	5%	++	Als de methaanemissie laag is, is een afname tot -20% in broeikasgasemissie mogelijk
LNG in vliegtuigen	-13%	11%	o	Referentie is kerosine: geen toepassing verwacht i.v.m. veiligheid

De resultaten in de tabel zijn grotendeels indicatief en geschat op basis van realistische aannames; een + bij vervuilende emissies betekent reductie; referentie is diesel tenzij anders vermeld.

Een WTW-analyse is een analyse van de bron tot de wielen, ofwel van de winning primaire energiedrager ("well") – transport – brandstofproductie – brandstof distributie – gebruik in het voertuig ("wheel"). Criteria bij een WTW-analyse zijn energiedichtheid, uitstoot broeikasgassen (voornamelijk CO₂) en uitstoot NO_x en fijnstof. Opvallend is dat het percentage fijnstof dat vrijkomt bij het rijden over de weg voor alle brandstoffen voor het grootste deel veroorzaakt wordt door de banden, remmen en het wegdek en in mindere mate door de aandrijving door de motor. Opvallend is ook dat in het algemeen de energiedichtheid van CNG en LNG lager is dan die van benzine en diesel. Dit betekent dat van CNG en LNG meer verbrand moet worden om dezelfde hoeveelheid energie te leveren, vergeleken met diesel en benzine.

Onderstaande tabel laat zien dat het energieverbruik voor de verschillende transportmogelijkheden in alle gevallen toeneemt bij vervanging door LNG.

Tabel 6.10 Scenario resultaten: procentuele effecten van de toepassing van LNG als vervanging voor diesel in 2025 per segment

	WTW energieverbruik	WTW broeikasgasemissies	NO _x -emissies	PM ₁₀ -emissies ¹⁸	SO _x -emissies
Distributietruck	1%	-19%	-2%	-8%	
Trekker-oplegger	5%	-13%	-3%	-14%	
Binnenvaartschip	4%	-1%	-1%	-52%	-87%
Kustvaartschip	7%	0%	1%	-37%	-93%
Diepzeeschip 5.500 TEU ¹⁹	9%	-4%	-77%	-57%	-100%
Diepzeeschip 15.000 TEU	6%	-12%	-46%	-55%	-95%

Vooraf het milieubeleid om de CO₂-uitstoot te verlagen en het affakkelen van aardgas (als restant van oliewinning) te verminderen, zorgt voor het in opmars zijn van LNG als schone brandstof. Daarnaast worden subsidies verstrekt voor de ontwikkeling. De ambitie van het Rijk is om in 2025 2,5 miljoen ton LNG als brandstof te gebruiken. Dit is een vervanging van 10-15 procent van het dieselgebruik.

Voertuigen en schepen die door aardgas aangedreven worden, zijn duurder in aanschaf. De brandstofkosten van LNG (en CNG) zijn echter veel lager dan van fossiele brandstoffen. Dit wordt deels veroorzaakt door de lagere belasting op LNG. Bij scheepvaart en luchtvaart wordt brandstof niet belast en is het verschil in prijs dus minder groot.

¹⁸ Dit is een emissienorm voor fijnstof van deeltjes kleiner dan 10 micrometer.

¹⁹ Twenty feet Equivalent Unit. 1 TEU is een container van 20 voet lang, 8 voet breed en meestal 8,5 voet hoog. In het metrieke stelsel uitgedrukt is een TEU 6,10 meter lang, 2,44m breed en 2,59m hoog. Een container van 40-voet lang geldt als 2 TEU. Het externe volume van 1 TEU is 1360 kubieke voet, dit is 38,51 kubieke meter. De meest voorkomende containers, die worden gebruikt voor het vervoer op containerschepen en op vrachtwagens, zijn 2 TEU.

7 Laden en lossen van LNG

Laden en lossen van LNG is eigenlijk het verpompen van de ene tank naar de andere tank. Dit kan op veel verschillende soorten locaties plaatsvinden, zoals:

- > bij een grote LNG zeehaven-terminal, vanuit een bunkerschip voor bulktransport naar een grote opslagtank
- > bij een LNG-terminal, vanuit een opslagtank naar een tankwagen
- > bij een bunkerinstallatie of LNG-tankstation, vanuit een tankwagen naar de opslagtank van de installatie
- > bij een LNG-tankstation, via de afleverzuil naar de brandstoftank van een vrachtwagen
- > vanuit een tankwagen naar de brandstoftank van een schip, et cetera.

In dit hoofdstuk wordt een onderscheid gemaakt in het verpompen van LNG van opslagtank naar opslagtank (paragraaf 7.1) en het afleveren van LNG naar een brandstoftank, het tanken (paragraaf 7.2). Het hoofdstuk sluit af met de bespreking van 'mobiele' tankstations (paragraaf 7.3).

7.1 Verpompen van LNG

Omdat LNG een cryogeen gas is, verdampt het relatief snel. Het verdampen van een kleine hoeveelheid LNG bij het verpompen van de ene in de andere tank is daarom nauwelijks te voorkomen. Laad-/losinstallaties of -locaties zijn beveiligd tegen het vrijkomen van grotere hoeveelheden LNG, bijvoorbeeld door gasdetectie, hitte- en koudedetectie en sprinklersystemen of waterschermen. Ook zijn diverse veiligheden ingebouwd om het laad-/losproces direct te kunnen stoppen, zoals noodstopvoorzieningen. De veiligheidsvoorzieningen die toegepast worden in installaties, opslagvoorzieningen en vervoermiddelen worden beschreven in hoofdstuk 8.

Installatieonderdelen die LNG bevatten, zoals leidingen, losslangen en koppelingen, zijn erg koud. Als deze koude delen in contact staan met lucht, zal de waterdamp, die altijd in lucht aanwezig is, condenseren tot een witte mist. Bij het laden en lossen van LNG speelt dit een belangrijke rol, omdat LNG gaat stromen door installatieonderdelen die nog niet koud zijn en heel snel afgekoeld worden. Dit betekent dat bij het laden en lossen van LNG *altijd* witte mist (waterdamp) gevormd wordt. Daarnaast zal ijsvorming op de afgekoelde installatieonderdelen plaatsvinden (te vergelijken met de ijsvorming op de koppeling van een ademluchtfles).

De witte mist en het gevormde ijs bestaan dus niet uit LNG maar uit water. Omdat het lijkt of er lekkage is, wordt nogal eens een melding gedaan door een voorbijganger, waardoor de brandweer onnodig gealarmeerd wordt. Afbeelding 7.1 toont foto's van een LNG-tankstation in Tilburg in de vroege ochtend, nadat een lossing van LNG heeft plaatsgevonden. De witte mist is dus geen LNG. Om te voorkomen dat er loze meldingen worden gedaan door voorbijgangers wordt zoveel mogelijk in de vroege uren gelost. Ook voor de brandweer blijft deze situatie lastig in te schatten (zie hoofdstuk 9, scenario 1).

Afbeelding 7.1 LNG-tankstation na het lossen van LNG in de vroege ochtend



Afbeelding 7.2 Lossen van LNG met condensvorming



Afbeelding 7.3 IJsvorming op slangen tijdens het lossen



Om te lossen vanuit de tankwagen naar bijvoorbeeld een opslagtank bij een LNG-tankstation, wordt LNG in de koude vloeibare fase door leidingen via de drukopbouwverdamp(er) buitenom de tank geleid. Hierbij warmt de vloeibare fase op en neemt de druk toe. De opgewarmde LNG wordt teruggeleid in de tankwagen, waardoor de druk in de tank toeneemt en LNG uit de tank in de losslang wordt geperst.

Afbeelding 7.4 Laadpunt met aardkabel voor het lossen bij een LNG-tankstation



Afbeelding 7.5 LNG-afleverzuil met afleverslang en koppeling



Bij het lossen moet de tankwagen uiteraard geaard worden om statische oplading en ontlading te voorkomen (zie afbeelding 7.4). Het lossen van cryogene gassen, dus ook LNG wordt aangedreven door een centrifugaal pomp. De werking van zo'n pomp heeft een kenmerkend geluid: hoog en monotoon > 80 dB(A). Het hoge geluid en de witte nevel kunnen leiden tot onrust bij voorbijgangers en loze meldingen tot gevolg hebben.

7.2 Tanken van LNG

Het tanken van LNG vindt plaats via een afleverzuil, zoals ook gebruikelijk is voor andere brandstoffen.

De rood-oranje afleverslang wordt aangekoppeld aan de inlaat van de brandstoftank, waarna LNG verpompt kan worden naar de brandstoftank. De grijze slang wordt aangekoppeld om de damp terug te leiden in de installatie, de zogenaamde dampretour.

Afbeelding 7.6 Aansluiting aflever slang op tank



7.3 'Mobiel' tankstation

Een 'mobiel' tankstation is een tankstation waarbij LNG wordt opgeslagen in een LNG-tankwagen of tankcontainer. In dit geval wordt LNG dus niet eerst gelost in een opslagtank, de tankwagen wordt namelijk aangekoppeld aan de afleverinstallatie. Als de tankwagen leeg is, kan deze worden afgekoppeld en getransporteerd naar een opslagtank waar de tankwagen opnieuw gevuld kan worden. Maar vaak wordt de tankwagen die als opslag dient niet verplaatst maar gevuld op de locatie vanuit een andere tankwagen zoals dat ook bij het lossen in een vaste opslagtank gebeurt. Voorbeelden van dit type mobiele tankstations zijn weergegeven in onderstaande afbeeldingen.

Afbeelding 7.7, 7.8 en 7.9 Mobiel tankstation



Het tanken van LNG als brandstof voor schepen kan rechtstreeks plaatsvinden uit een LNG-tankwagen naar de brandstoftanks van schepen. In afbeelding 7.10 ziet u dit proces.

Afbeelding 7.10 Tanken van LNG vanuit een tankwagen naar de brandstoftanks van een binnenvaartschip



8 Veiligheidsvoorzieningen en -eisen

Alle afgesloten tanks in opslag- en transportmiddelen zijn standaard uitgerust met veiligheidsvoorzieningen om verhoogde druk in de tank te voorkomen. Bij de opslag en het transport van LNG worden de volgende voorzieningen toegepast:

- > vloeistofniveaumeter, die de vullingsgraad aangeeft
- > drukmeter
- > goede isolatie rondom de tank, die vanzelfsprekend ook goede bescherming biedt bij brand
- > er is een handbediende onderhoudsklep geplaatst tussen de tank en de pneumatische afsluiter (aangedreven door luchtdruk), zodat onderhoud of vervanging van de pneumatische afsluiter eenvoudig uitgevoerd kan worden
- > alle kleppen zijn tijdens transport gesloten
- > er wordt gebruikgemaakt van standaardkoppelingen voor de tank en slangen
- > brand- en explosiegevaarlijke zones moeten worden vastgesteld en aangeduid.

In dit hoofdstuk worden de veiligheidsvoorzieningen en -eisen van LNG-aflever- en bunkerinstallaties besproken (paragraaf 8.1) en van LNG-vaartuigen (paragraaf 8.2) en -tankwagens (paragraaf 8.3). In de laatste paragraaf is er aandacht voor noodstopvoorzieningen (paragraaf 8.4). Veiligheidsvoorzieningen en -eisen worden overigens bepaald door wet- en regelgeving. Deze wet- en regelgeving wordt in bijlage 1 nader toegelicht.

8.1 LNG-aflever- en bunkerinstallaties

De veiligheidsvoorzieningen en -eisen die gelden voor LNG-aflever- en bunkerinstallaties zijn vergelijkbaar voor beide installaties. De Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS) 33-1 (voor motorvoertuigen) of 33-2 (voor vaartuigen) is van toepassing. Hierin zijn onder andere de volgende eisen opgenomen.

- > Ontwerpeisen die worden gesteld aan de installatie, de toegepaste componenten en de gebruiksomstandigheden, zoals:
 - > primair en secundair insluitsysteem
 - > productopvang
 - > te gebruiken constructiematerialen
 - > brandpreventieve voorzieningen.
- > Interne en externe risico's en veiligheidsafstanden ter voorkoming van domino-effecten: de shop moet bijvoorbeeld altijd minimaal 15 meter verwijderd zijn van het afleverpunt, de afstand tussen tankwagens en vulpunt mag maximaal vijf meter zijn.
- > Eisen aan de LNG-afleverinstallatie zijn:
 - > afscherming tegen onbevoegden en toezicht (24/7 bewaking en beheer op afstand)
 - > aanwezigheid beveiliging ter voorkoming van beschadiging door aanrijding door voertuigen
 - > aanwezigheid van industrieel management systeem, zoals camerasysteem, monitoring veiligheid

- > aanwezigheid van brand- en gasdetectie: gasdetectiesensoren, temperatuursensoren (hoog /laag)
- > eisen aan de elektrische installatie, ATEX-zonering, continue gas- en temperatuurdetectie, beveiliging tegen blikseminslag, et cetera.
- > noodstopvoorzieningen (zie paragraaf 8.4). Het systeem wordt automatisch gestopt bij:
 - over- of overschrijding van temperatuurgrenzen -30 °C - +70 °C
 - detectie van lage temperaturen
 - indrukken van de noodstopvoorziening
 - maximale niveaubewaking (is afhankelijk van de tank en kan variëren van 72 - 95%). Dit gaat op de locatie zelf gepaard met een akoestisch en optisch signaal en een direct signaal naar de beheerder van de inrichting.
- > De emissie van boil-of-gas (BOG) is niet toegestaan (zie ook hoofdstuk 9, scenario 1). BOG vormt zich bij elke opslag van LNG, dit is een natuurlijk proces. Het BOG wordt opgevangen en vaak omgezet in CNG. Het vrijkomen van (L)NG uit de opslag moet dus voorkomen worden.
- > Procedures voor bevoorrading en het afleveren van LNG:
 - > tijdens het vullen van de LNG-opslagtank moet de chauffeur van de LNG-tankwagen aanwezig zijn. Hij/zij moet elke drie minuten de aanwezigheidsknop (op de offloadbox, zie afbeelding 8.1) indrukken om aan te tonen dat het losproces gecontroleerd wordt, doet hij/zij dat niet, dan stopt het vulproces automatisch
 - > bij verlading/pomping moeten transportmiddelen zo opgesteld worden dat het transportmiddel in geval van nood weg kan rijden zonder te manoeuvreren
 - > binnen 25 meter mag geen bulkverlading van andere motorbrandstoffen plaatsvinden.

Afbeelding 8.1 Aanwezigheidsknop



Om de risico's van bunkerinstallaties voldoende te beheersen, gelden hiervoor de volgende aanvullende eisen:

- > er moet een direct afleesbare niveau-indicatie zijn, zodat personeel het vulproces kan volgen en indien nodig nog op tijd kan ingrijpen
- > er moeten meerdere noodstopvoorzieningen zijn (zie paragraaf 8.4), zowel automatisch als handmatig bediend door personeel
- > bij bunkering moeten het vul- en het lospunt geaard worden voordat bunkering start
- > de vulleiding moet voorzien zijn van een afsluiter aan de kant van het vulpunt
- > personen die werkzaamheden aan de installatie verrichten, moeten persoonlijke gasdetectie gebruiken
- > er zijn geen interne veiligheidsafstanden bepaald, dit is maatwerk

- > bij calamiteiten moet de vaarwegbeheerder of havenautoriteit gealarmeerd worden
- > noodplannen en alarmeringsinstructies moeten afgestemd worden met de lokale en regionale hulpverleningsdiensten: het primaire doel bij brand in de omgeving is het beschermen van de LNG-installatie.

8.2 LNG-vaartuigen

Op schepen worden locaties waar lekkage mogelijk is, bijvoorbeeld door laden en lossen, meestal gesprinklerd. Het doel hiervan is kleine lekkages snel te laten verdampen. Zo wordt voorkomen dat LNG in contact komt met het schip of installaties. Dit kan namelijk mogelijk leiden tot beschadigingen en scheuren. Ook wordt gebruikgemaakt van opvangvoorzieningen; hierin kan LNG in de vloeibare fase worden opgevangen of het gas kan worden opgeslagen als CNG.

Veiligheidseisen en –voorzieningen voor vaartuigen hebben betrekking op:

- > Ontwerp van (brandstof)tanks en installaties
- > Maximale werkdruk
- > Mogelijkheden voor het veilig ontkoppelen van systemen
- > Veilige afstanden tussen de tank en de wanden/bodem en de tanklocatie
- > Lekbakken bij tanks op open dek
- > Afscherming van de leefverblijven, service- en opslagruimten, machine- en bedieningskamers
- > Eisen aan machinekamers
- > Aanduidingen voor explosiegevaarlijke zones 0 t/m 2 (conform de ATEX)
- > Noodstopvoorzieningen en afblaasveiligheden. Een noodstop kan leiden tot het afsluiten en het ontkoppelen van de laad-/losarm, dit worden PERC's genoemd: Power Emergency Release Couplers.
- > sprinklersystemen voor het koelen van de lading, opslagtanks en installaties
- > blusvoorzieningen met poeder.

Gedetailleerde informatie over de veiligheidsvoorzieningen op binnenvaartschepen is beschikbaar in het LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau, Sub-activiteit 2.4, Richtlijnen en aanbevelingen voor hulpverleningsorganisaties [18].

8.3 LNG-tankwagens

De veiligheidsvoorzieningen op een LNG-tankwagen zijn:

- > afblaasveiligheden: er zijn meerdere uitvoeringen mogelijk, waarbij de hoofdveiligheden direct op de tank zijn geplaatst
- > veiligheidsvoorzieningen om het losproces bij lekkage direct te kunnen stoppen, noodstopvoorzieningen (zie paragraaf 8.4)
- > een blow-off disc op de tankwagen (zie afbeelding 8.2), die los gaat zitten als het vacuüm tussen de binnen- en buitentank wegvalt. De Blow-off disc is een schijf aan de buiten- of bovenzijde van de tankwagen en wordt door het vacuüm naar binnen getrokken. Als het vacuüm wegvalt komt de schijf los te zitten: dit is dus een indicatie dat er geen vacuüm meer heerst en dat versnelde opwarming optreedt.

Afbeelding 8.2 Blow-off disc



8.4 Noodstopvoorzieningen

De noodstopvoorzieningen die toegepast worden, moeten geschikt zijn voor de capaciteit (inhoud en doorzet) van de installaties. Noodstopvoorzieningen kunnen in geval van nood geactiveerd worden door één of meer van de onderstaande bronnen.

- > Gasdetectie.²⁰
- > Branddetectie.
- > 'Break away'-detectie (treedt bijvoorbeeld in werking bij het losschieten van een loslang).
- > Stroomstoring.
- > Detectie van te hoog vloeistofniveau in de brandstoftank(s).
- > Hoge-drukdetectie: afblaasvoorziening, veiligheidsventiel, veiligheidsklep
Een afblaasvoorziening bevindt zich op een afgesloten installatieonderdeel zoals op een tank(wagen). Dit is bijvoorbeeld een afblaaspijp/ventiel aan de boven- en/of achterzijde van de tank die opent als de druk in de tank boven een bepaalde waarde stijgt. Er opent dan een klepje, waardoor een beperkte hoeveelheid gas kan ontsnappen en de druk in de tank weer afneemt. Het klepje sluit weer als de druk lager is dan de openingsdruk van het klepje. Door het ontsnappen van het gas, koelt de inhoud van de tank af en wordt de druk lager. Als de temperatuur van de inhoud vervolgens weer oploopt (omdat de omgeving van de tank altijd warmer is), neemt de druk ook toe. Als de openingsdruk van het klepje bereikt is, zal dit weer openen.
Let op: bij cryogene installaties is periodiek afblazen dit een normaal proces, dat nodig is om de opslag op een lage temperatuur te houden. Dit proces treedt dus altijd kortstondig op. Bij dit proces komt dus wel gas vrij, het zogenaamde Boil-Off-Gas (BOG, zie afbeelding 8.3)! Veilige afstand is 10 meter. Bij bijvoorbeeld aanstraling of bij aangetaste isolatie wordt dit proces versneld: het is dan geen normale situatie meer en de afblaasvoorziening gaat werken als overdrukbeveiliging.
- > Detectie van te grote stroom van LNG.
- > Detectie dat de laadarm buiten zijn veilig werkgebied komt.
- > Handmatig activeren noodstop: wordt bewust geactiveerd door een persoon, waardoor alle hoofdcomponenten van de installatie in de veilige modus worden gebracht,

²⁰ Vloeibaar gemaakt LNG volgt het zwaar gasmodel, dat betekent dat het gas zich laag bij de grond verspreidt. Dit vereist detectie op maaiveld/laag bij de grond. Daarnaast ligt in de regelgeving de focus op snelle sluittijden van de veiligheidskleppen maar wordt geen aandacht besteed aan de snelheid (of eigenlijk de traagheid) van het aanspreken van detectiesystemen in relatie tot die sluittijden. De onderwerpen plaatsing/locatie en snelheid van detectievoorzieningen bij een LNG-tankstation vragen daarom extra aandacht bij vergunningverlening/adviesing.

vloeistofleidingen worden ingeblokt en aan- en afvoerleidingen worden afgesloten. De noodstop heeft meestal een rode kleur (zie afbeelding 8.4)!

Afbeelding 8.3 Afblaasventiel in werking (vorming BOG) = normaal proces



Afbeelding 8.4 Handbediende noodstop



9 Scenario's LNG-incidenten

In dit hoofdstuk staan mogelijke scenario's waarbij LNG kan vrijkomen centraal. Het hoofdstuk begint met een overzicht van waargebeurde scenario's (paragraaf 9.1), waarna mogelijke scenario's worden besproken (paragraaf 9.2). Vervolgens wordt een overzicht gegeven van berekende effectafstanden (paragraaf 9.3). In de laatste paragraaf wordt de geloofwaardigheid van de scenario's toegelicht (paragraaf 9.4)

9.1 Waargebeurde scenario's

Om een indruk te krijgen welke scenario's met LNG daadwerkelijk zijn voorgevallen, behandelen we er hier enkele kort.

1944

In 1944 heeft een fatale explosie van een opslagtank met 128 doden plaatsgevonden in Cleveland: via een lasverbinding in de tank werd LNG naar buiten geperst. Het ongeval werd veroorzaakt door het gebruik van ongeschikt, goedkoop, bros staal. Dit als gevolg van de economische situatie in de oorlog.

2002

Een tankwagencrash 56 m³ (met een vullingsgraad van 85%) in Spanje. Na de crash ontstond er direct brand, vermoedelijk gevoed door diesel uit de tank en afgeblazen LNG. De isolatie bestond uit PUR²¹ en is beschadigd geraakt. Na 20 minuten vond er een lichte explosie plaats, vermoedelijk doordat een kleine scheur ontstond in de tank. Deze werd gevolgd door een sterke fluittoon en een zware explosie (catastrofaal falen). Daarna verdween de brand. Er ontstond een witte wolk en onmiddellijke ontsteking, met als resultaat een vuurbal van 150 meter. De schade was zichtbaar tot 300 meter. Achteraf is berekend dat de hittestraling 16 kW/m² op 200 meter bedroeg. Van een huis dat zich op 125 meter van de explosie bevond (in de rode cirkel in de afbeelding 9.1) zijn de ramen nadien nog heel. Dit betekent dat de piekoverdruk relatief laag is geweest (< 0,03 barg⁹). Fragmenten van de voor- en achterkant van de tankwagen zijn gevonden op een horizontale lijn, dus in de lengterichting van de tank. De motor is 257 meter weggeslingerd. Belangrijk hierbij is dat het om een enkelwandige tankwagen ging; deze zijn in Nederland verboden.

Afbeelding 9.1 Tankwagencrash in Spanje, 2002



²¹ PUR = brandbaar isolatiemateriaal toegepast tussen de binnentank van staal en de buitenwand van aluminium.

2011

Wederom een tankwagencrash in Spanje. Direct na de crash ontstond er brand (zie afbeelding 9.2, links), waarschijnlijk omdat een leiding (zonder interne klep) is afgebroken. Daardoor lekte en brandde er LNG. Door het langdurig aanstralen van de tank door de brand (inzet brandweer op ontruiming) en beschadiging van isolatie, trad na 70 minuten een explosie op. Deze werd voorafgegaan door schrille fluittoon en oplaaien van de brand. Hittestraling tot 90 meter en fragmenten tot 200 meter (zelfs slingerschotten tot op 150 meter). Ook hier fragmenten vooral in lengterichting horizontale tank. En ook hier ging het om een (in Nederland verboden) enkelwandige tankwagen.

Afbeelding 9.2 Tankwagencrash in Spanje, 2011



2014

Op 31 maart vond een explosie plaats bij een LNG-opslagtank op de Williamsplant in Plymouth. De oorzaak van de explosie is onduidelijk. Op de afbeelding 9.3 en 9.4 (rechts, rode pijl) is zichtbaar dat LNG in de vloeibare fase uitstroomt uit de tank terwijl op de rechterfoto een gasbrand zichtbaar is. Bij dit incident bestonden beide fasen naast elkaar, zonder dat het incident verder escaleerde (bijvoorbeeld tweede explosie).

Afbeelding 9.3 en 9.4 Uitstroom LNG en gasbrand



2015

In de haven van Barcelona heeft op 16 juli een eerste serieuze lekkage van LNG plaatsgevonden. Hierbij is de tank aan boord van het schip overvuld geraakt, mogelijk door een niet (goed) functionerende klep. LNG is via het hoofddek naar zee gestroomd (zie afbeelding 9.5).

Afbeelding 9.5 LNG stroomt uit op water



Bij een aanvaring tussen een LNG-zeetanker en een vrachtschip voor de kust van Zeebrugge op 6 oktober is de LNG-tanker nauwelijks beschadigd. Het vrachtschip is echter op een zandbank vastgelopen en lekt olie.

9.2 Scenario's LNG

Deze paragraaf geeft een overzicht van mogelijke scenario's in tabelvorm. Zoals in het voorwoord al is aangegeven, vindt nader onderzoek plaats naar geloofwaardige, maatgevende scenario's met LNG. De resultaten kunnen invloed hebben op de uitwerking in de tabellen. In de tabellen wordt voor de volledigheid ook aangegeven wat het handelingsperspectief voor het optreden bij dit type scenario is. Het volgende hoofdstuk geeft een nadere uitwerking van het algemene handelingsperspectief.

Tabel 9.6 Scenario 1

Boil-off gas (BOG) en puf uit tank (tankwagen, brandstoftank of installatieonderdeel)	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none">> normaal bedrijfsproces, geen incident!> wel vrijkomen van LNG> puf is zichtbaar als witte nevel
Oorzaak	LNG is opgeslagen in de 'kokende' vloeibare fase in thermisch-geïsoleerde tanks. Toevoer van warmte uit de omgeving in de tank (inlekken warmte) veroorzaakt verdamping van een kleine hoeveelheid LNG uit de vloeibare fase naar gas. Dit noemen we boil-off gas (BOG).
Gevolg	Het BOG (flash, puf) wordt uitgestoten door de afblaasveiligheid als de druk groter wordt dan de instelling van de afblaasveiligheid. Het uitstoten van BOG is noodzakelijk om de temperatuur in de opslagtank voldoende laag te houden (= normaal proces). De druk in de opslagtank verlaagt. Een deel van het LNG verdampt, waardoor de temperatuur daalt tot onder het kookpunt bij de heersende druk. Dit noemen we ook koudkoken.
Kenmerken	De samenstelling van het BOG is niet dezelfde als die van LNG; de stoffen met het laagste kookpunt zullen het eerst ontwijken. In BOG kunnen relatief hoge concentraties stikstof voorkomen. Door de lage temperatuur is dit gas zwaarder dan lucht. NB: het kortstondig afblazen van een kleine hoeveelheid BOG is een normaal proces nadat de holding time (de tijd dat de lading stabiel en veilig is) verstreken is! Als de holding time verstreken is, kan het afblazen frequenter of langduriger worden, dan is sprake van scenario 4.
Optreden	<ul style="list-style-type: none">> raadpleeg deskundigen

- > zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds
- > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog)
- > ontruim zo nodig onveilig gebied en zet gebied af
- > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren
- > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige
- > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.7 Scenario 2

Beschadigde tank(wagen) of installatie(onderdeel)	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > mechanische impact > bij start incident geen lekkage
Oorzaak	externe invloed zoals een aanrijding of botsing leidt tot beschadiging van een tank/installatie
Gevolg	diverse soorten beschadigingen, zichtbaar maar ook onzichtbaar, te herkennen aan bv. deuken, breuken in isolatie, verdwenen vacuüm
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > in eerste instantie <i>geen</i> lekkage maar na verloop van tijd kan lekkage van LNG plaatsvinden (zie scenario 3) > wegvallen vacuüm zorgt voor versneld opwarmen: kans op escalatie, koude BLEVE (zie scenario 7)
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > ontruim zo nodig onveilig gebied en zet gebied af > bepaal de aard van de beschadiging (kans op versnelde drukopbouw, activering afblaasveiligheid) > voorkom escalatie (controleren druk, tank, installatie, afblaasveiligheden) > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige > ondersteun berging / THV > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en / of tankwagen).

Tabel 9.8 Scenario 3

Lekkage (geen brand)	
Type scenario	> brandbare fakkel of gaswolk bij uitregenen / uitstromen: koudgekookte plas.
Oorzaak	Lek in tank/installatiedeel door externe invloed zoals een aanrijding/foute bediening of door een niet goed functionerend installatie-onderdeel zoals een klep, flens, losschieten laad/losslang
Gevolg	Gaswolk en/of straal/stroom/spray afhankelijk van grootte lek, locatie (vloeibare/gasfase), type lekkage, omstandigheden en mogelijk ontstaan van brand (zie scenario 5)
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > vrijkomen vloeibare fase die snel verdampt vanaf start incident (zichtbaar als witte wolk/nevel laag bij de grond) > ijsvorming, schade door contact koude vloeibare fase

	<ul style="list-style-type: none"> > in eerste instantie verdampt het gas onmiddellijk, maar na verloop van tijd koelt de omgeving af en kan zich een (soms zichtbare) koudgekookte plas vormen
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds > controleer of er sprake is van lekkage of van boil-off (normaal bedrijfsproces waarbij een kleine hoeveelheid gas (BOG) vrijkomt) > druk noodknop in (indien aanwezig) > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog) > ontruim onveilig gebied en zet gebied af > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren > controleer het lek met warmtebeeldcamera > eerst ventileren als gemeten concentratie met explosiegevaarmeter > 10%LEL > voorkom contact vloeibaar LNG met water! bij contact wordt het verdampen versneld en het effectgebied groter > stop continue, langdurige lekkage als dat veilig kan, lek NIET dichten: dit kan leiden tot gevaarlijke drukopbouw, gebruik vonkarm en intrinsiek veilig gereedschap > tank koelen heeft geen zin want deze is koud en geïsoleerd, bovendien bij contact met water kans op bevriezen van afblaasveiligheden en dat wil je vermijden > voorkom verspreiding van LNG, leg dammen aan > voorkom ontstaan brand, controleer tank en omgeving > laat LNG verdampen en verdun of meng gaswolk op met een sproeistraal water (vloeibare LNG niet in contact met water!) > voorkom binnentreding van besloten ruimten door personen, ventileer als dat veilig kan (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor!) > bij ontstaan brand: <ul style="list-style-type: none"> > LNG-brand <i>niet</i> blussen, gebruik geen water > als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen > andere branden in de omgeving wel blussen > alarmeer waterbeheerder als LNG in water of riool terecht is gekomen > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige > ondersteun berging / THV (let op mogelijk verplaatsen van het emissiepunt) > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.9 Scenario 4

Afblazen van opslagtank/tankwagen	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > meerdere keren puf brandbaar gas met toenemende frequentie > puf is zichtbaar als witte nevel > wel lekkage, geen brand
Oorzaak	drukopbouw in een tank door onvoldoende koelend vermogen, door aanstralen of niet goed functioneren van het systeem (bv. door weinig gebruik)
Gevolg	afblaasveiligheid in werking (blaast af) door een te hoge druk in tank

Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > vergelijkbaar met een lekkage (zie scenario 3) maar via een afblaasvoorziening > vrijkomen van kleine hoeveelheid gas > piepend of grommend geluid > ijsvorming > bij langdurig afblazen (> 10 min) kan een fakkelbrand ontstaan als deze ontstoken wordt door een externe brand (zie scenario 5).
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds > druk noodknop in (indien aanwezig) > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog) > ontruim onveilig gebied en zet gebied af > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren > voorkom escalatie (controleren druk, tank, installatie, afblaasveiligheden) > tank koelen heeft geen zin want deze is koud en geïsoleerd, bovendien bij contact met water kans op bevriezen van afblaasveiligheden en dat wil je vermijden > voorkom binnentreding van besloten ruimten door personen, ventileer als dat veilig kan (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor!) > bij ontstaan brand: <ul style="list-style-type: none"> > LNG-brand niet blussen, gebruik geen water > als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen > andere branden in de omgeving wel blussen > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige > ondersteun berging / THV (let op mogelijk verplaatsen van het emissiepunt) > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.10 Scenario 5

Brand	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > wolkbrand > bij drukopbouw/insluiten gas: gaswolkexplosie > fakkelbrand > bij uitregenen / uitstromen en ontsteking: plasbrand
Oorzaak	ontsteking van vrijgekomen brandbaar gas in de gas- of de vloeibare fase
Gevolg	<ul style="list-style-type: none"> > ontsteking van gas dat uitstroomt: fakkelbrand > ontsteking van uitgestroomd gas, de gaswolk: wolkbrand en/of bij mogelijke drukopbouw gaswolkexplosie > ontsteking van vloeibare/plas: plasbrand (brandsnelheid voor LNG: 14 mm/min of 0,11 kg/m²/s)
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > vrijkomen gas vanaf start incident > uitstromende gas wordt ontstoken en leidt tot: <ul style="list-style-type: none"> > fakkelbrand die blijft branden totdat tank leeg is > een kortdurende vlammenzee: wolkbrand > mogelijk een drukgolf met effecten beperkt tot omvang gaswolk: gaswolkexplosie

	<ul style="list-style-type: none"> > plasbrand die blijft branden tot de tank leeg is en de plas opgebrand > bepalende factoren hittestraling in combinatie met blootstellingsduur.
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > druk noodknop in (indien aanwezig) > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog) > ontruim (zo nodig) onveilig gebied en zet gebied af > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren > LNG-brand NIET blussen, gebruik geen water als blusmiddel maar droog poeder (overigens is LNG mogelijk al verdampt) > als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen > andere branden in omgeving wel blussen / koelen omgeving / voorkomen escalatie > bepaal de aard van de beschadiging (kans op versnelde drukopbouw, activering afblaasveiligheid, ontbreken vacuüm van de tank) > koel een aangestraalde, niet-geïsoleerde tank of beschadigde installatie(delen) niet met water: de inhoud is al erg koud en warmt dus alleen maar op > koelen/afschermen van de niet-beschadigde delen heeft wel zin als de isolatie intact is (10 liter/m²/min) > spuit geen water op veiligheidskleppen of afblaasventielen: voorkom dichtvriezen van veiligheden > controleer met warmtebeeldcamera de omgeving en de hittestraling (brand is slecht zichtbaar) > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige > ondersteun berging/THV > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.11 Scenario 6

Aanstralen van tank(wagen)/installatie(onderdelen) door brand in de omgeving	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > meerdere puffen brandbaar gas (zichtbaar als witte nevel) > bij langdurig afblazen (> 10 min) / open blijven afblaasveiligheid: mogelijk ontstaan fakkelbrand > mogelijk BLEVE met ontsteking: vuurbal (zie scenario 7)
Oorzaak	opwarmen van een installatie of tank door brand in de omgeving (aanstraling)
Gevolg	<ul style="list-style-type: none"> > drukverhoging door opwarming van het aangestraalde deel van de installatie (kans op BLEVE!). Een onbeschadigde LNG-tank is echter lang bestand tegen brand, want de vloeibare fase is koud en de tank geïsoleerd. > afblazen via afblaasveiligheid: steeds hogere fluittoon
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > (niet-zichtbare) opwarming en drukopbouw > vrijkomen grote hoeveelheden gas via de afblaasveiligheid, mits deze aanwezig is
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > druk noodknop in (indien aanwezig)

- > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog)
- > ontruim onveilig gebied en zet gebied af
- > ontstekingsbronnen verwijderen en / of controleren
- > LNG-brand NIET blussen, gebruik geen water als blusmiddel maar droog poeder (overigens is LNG mogelijk al verdampt)
- > als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen
- > andere branden in omgeving wel blussen / koelen omgeving / voorkomen escalatie
- > bepaal de aard van de beschadiging van de aangestraalde delen (bv. ontbreken vacuüm van de tank)
- > koel een aangestraalde, niet-geïsoleerde tank of beschadigde installatie(delen) niet met water: de inhoud is al erg koud en warmt dus alleen maar op
- > koelen/afschermen van de niet-beschadigde delen heeft wel zin als de isolatie intact is (10 liter/m²/min)
- > spuit geen water op veiligheidskleppen of afblaasventielen: voorkom dichtvriezen van veiligheden
- > controleer met warmtebeeldcamera de omgeving en de hittestraling (brand is slecht zichtbaar)
- > houd bij *langdurige* aanstraling rekening met gevaar voor BLEVE; ontruim mogelijk onveilig gebied tot 350 meter (zie Scenario 7)
- > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige
- > ondersteun berging / THV
- > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.12 Scenario 7

(Warme) BLEVE	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > BLEVE met ontsteking: vuurbal > mogelijke effectafstand: 350 meter
Oorzaak	aanstralen van een gesloten container door een externe warmte, bv. brand
Gevolg	<ul style="list-style-type: none"> > drukopbouw door opwarming, eventueel aanwezige afblaasveiligheid in werking > vloeistofniveau neemt af en de tankwand in de gasfase wordt opgewarmd > bezwijken van de tank door drukopbouw/instantaan falen > ineens vrijkomen van de totale inhoud: overdruk, scherfwerking > brandbare gassen ontsteken meestal direct: hittestraling
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > hittestraling is bepalend voor het slachtofferbeeld > BLEVE is nog niet bewezen voor LNG omdat installaties al falen bij lage drukken en goed geïsoleerd zijn. De warmtetoevoer wordt door de isolatie sterk afgeremd, zodat drukveiligheden hun werk kunnen doen. Het komt voor dat installaties al op een druk van 8 tot 15 barg staan, zodat de effecten bij bezwijken toch BLEVE-achtig zijn. Ook bij de warme BLEVE zullen de effecten milder zijn doordat de plas relatief snel koudgekookt is. > bij een koude BLEVE zijn de effectafstanden aanzienlijk minder, berekende afstanden tot 60 meter (en voor warm 350 meter).
Optreden	> raadpleeg deskundigen

- > ontruim onveilig gebied en zet gebied af tot 350 meter
- > laat tank/installatie veiligstellen door deskundige
- > ondersteun berging / THV
- > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen)

Tabel 9.13 Scenario 8

Rollover	
Type scenario	<ul style="list-style-type: none"> > brandbare instantane gaswolk (puf) > grote hoeveelheid gas
Oorzaak	<ul style="list-style-type: none"> > ontstaan van lagen in de opslagtank met verschillende dichtheden, samenstellingen > door toevoer van externe warmte wordt de dichtheid van de lagen gelijk > de lagen gaan spontaan mengen > er komt warmte vrij en de druk loopt op
Gevolg	<ul style="list-style-type: none"> > ontlastkleppen openen > vrijkomen van grote hoeveelheden gas uit een LNG-opslagtank in een korte periode
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > uitblijven van de uitstoot van BOG wijst erop dat een opslagtank warmte opslaat en is een indicatie voor een mogelijk ophanden zijnde rollover²²
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds; treedt DEFENSIEF op > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog) > ontruim onveilig gebied en zet gebied af > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren > laat tank veiligstellen door deskundige > ondersteun berging / THV > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Tabel 9.14 Scenario 9

Snelle faseovergang/Rapid Phase Transition (RPT)	
Type scenario	brandbare instantane gaswolk (puf)
Oorzaak	<ul style="list-style-type: none"> > twee vloeibare fasen met zeer sterk uiteenlopende temperaturen komen met elkaar in contact > de temperatuur van de vloeibare fase met de laagste temperatuur loopt zo snel op dat die vloeibare fase verdampt en er gasbellen in de vloeibare fase ontstaan > tijdens het verdampen van LNG op water ontstaat een gasfilm tussen LNG en water

²² Rollover kan voorkomen worden door goede mixing, vergelijkbare batches LNG bij elkaar opslaan, het stikstofgehalte lager dan 1% houden en monitoren van uitstoot BOG.

	<ul style="list-style-type: none"> > de lichtste fracties zullen eerst verdampen, waardoor de samenstelling van het achterblijvende LNG meer zwaardere koolwaterstoffen bevat > op een gegeven moment zakt dit 'zware' LNG in het water, waardoor het explosief kan verdampen; dit is de RPT
Gevolg	<ul style="list-style-type: none"> > door de snelle verdamping en daarmee de toename in volume ontstaat plaatselijk drukverhoging > er ontstaan schokgolven met explosie-achtige verschijnselen (zonder brand), een dergelijke snelle faseovergang kan voorkomen als LNG in contact komt met water > effecten variëren van kleine puf tot beschadigen van lichte constructies
Kenmerken	<ul style="list-style-type: none"> > contact tussen twee vloeibare fasen met zeer sterk uiteenlopende temperaturen > dit proces treedt ook op bij het in contact komen van LNG met de 'warme' bodem of water! Door het optreden van RPT geeft contact met water zo'n heftige reactie (zie Afbeelding 2.10) > vooral LNG met relatief veel zwaardere koolwaterstoffen is gevoelig voor RPT. Bestaat LNG voornamelijk uit methaan (bijv. >98%), dan zal een RPT niet optreden.
Optreden	<ul style="list-style-type: none"> > raadpleeg deskundigen > zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds; treedt DEFENSIEF op > bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog) > ontruim onveilig gebied en zet gebied af > ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren > laat tank veiligstellen door deskundige > ondersteun berging/THV > na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwag).

In het LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau, Sub-activiteit 2.4, Richtlijnen en aanbevelingen voor hulpverleningsorganisaties [18] is een uitgebreide risicobeoordeling en scenarioselectie opgenomen voor mogelijke LNG-scenario's met binnenvaarttankers. Dit heeft geresulteerd in operationele aandachtscaroten en handelingsperspectieven voor vier scenario's, dit zijn:

- > botsing van LNG aangedreven binnenvaartschip met een brug, 40 m³ brandstoftank bovendeks, falen van leiding, continue uitstroom LNG, gaswolk, geen ontsteking
- > laden van een LNG aangedreven binnenvaartschip vanuit een tankwagen, 50 m³ brandstoftank benedendeks, slang gebroken, vrije uitstroom LNG op water, RPT, cryogene schade aan schip, geen ontsteking
- > binnenvaart LNG tanker/bunker schip met LNG cargo tanks (2x 1870 m³), container valt van het gebunkerde schip bovenop het bunkerende schip, korte continue uitstroming LNG, vrije uitstroom in water, RPT, vertraagde ontsteking LNG
- > LNG aangedreven binnenvaartvrachtschip (met 2x 40m³ brandstoftanks en 6x 500m³ cargo tanks (benzine), botsing met een ander schip, directe ontsteking (cargo), secundaire brand (benzine cargo), blootstelling LNG-brandstoftanks aan hittestraling, escalatie bij aanhouden hittestraling, koeling vereist binnen 15 minuten.

De uitwerking van deze scenario's is opgenomen in bijlage 2 van het LNG Masterplan.

9.3 Overzicht van berekende effectafstanden

Voor het vrijkomen van LNG uit een LNG-tankwagen zijn effecten van de mogelijke scenario's berekend met het softwarepakket Effects (versie 9.0.16 en 19). Tabel 9.15 geeft een samenvatting van de resultaten voor de scenario's koude en warme BLEVE, fakkelbrand, plasbrand en een wolkbrand. Bij de scenario's BLEVE, fakkelbrand en plasbrand is rekening gehouden met de slachtoffers buitens- en binnenshuis, omdat de bebouwing slachtoffers beschermt tegen de effecten. Bij de wolkbrand wordt rekening gehouden met de mate van verstedelijking van het getroffen gebied. Verder wordt onderscheid gemaakt in de gebruikelijke categorieën slachtoffers, namelijk: overleden (†), T1, T2 en T3.

Tabel 9.15 Effectafstanden in meters: Tankwagen LNG 55m³ = 22.000 kilo (bron: Scenarioboek Externe veiligheid)²³

	(Warme) BLEVE				Fakkel- brand	Plas- brand	Wolk- brand stedelijk gebied	Wolk- brand verstedel- ijkt gebied	Wolk- brand dun landelijk gebied
100% letaal	Slachtoffers buitenshuis				Slachtoffers binnenshuis				Kenmerken
	† 100	T1 0	T2 0	T3 0	† 10	T1 20	T2 20	T3 50	Onherstelbare schade: alle brandbare materialen gaan branden
Afstand [meters]	≤ 5		≤ 90		≤ 30	≤ 30	40 x 10	35 x 15	55 x 15
Stralingswarmte [kW/m²]	≥ 190		≥ 140		≥ 30	≥ 40			
1% letaal	Slachtoffers buitenshuis				Slachtoffers binnenshuis				Kenmerken
	† 50	T1 20	T2 20	T3 10	† 1	T1 5	T2 10	T3 25	Schade: brandhaarden, vervorming van hout en kunststof
Afstand [meters]	5-30		90-220		30-50	30-70	>40 x >10	>35 x >15	>55 x >15
Stralingswarmte [kW/m²]	190-70		140-30		30-9	40-10			
Eerstegraads brandwonden	Slachtoffers buitenshuis				Slachtoffers binnenshuis				Kenmerken
	† 0	T1 0	T2 0	T3 20	† 0	T1 0	T2 0	T3 1	Lichte schade: geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuring
Afstand [meters]	30-60		220-350		50-70	70-100			
Stralingswarmte [kW/m²]	70-20		30-10		12-4	10-5			

²³ Voor de uitgangspunten voor de berekeningen wordt verwezen naar het Scenarioboek Externe Veiligheid.

Tabel 9.16 De effectafstanden die veroorzaakt worden door de overdruk bij een explosie

Schade door overdruk	Effectafstand (meter)	Overdruk (bar)	Schade aan objecten
Totale verwoesting	≤ 4	≤ 0,80	Meer dan 75% van de gebouwen zijn volledig ingestort.
Zware schade	4 tot 6	0,80 tot 0,35	Onherstelbare schade. 50% -70% van de buitenmuren zijn zwaar beschadigd. De overige muren zijn onbetrouwbaar geworden.
Gemiddelde schade	6 tot 9	0,35 tot 0,17	Beschadigde daken, ernstige beschadigingen aan draagconstructies, ontzette muren, scheuren in gevels.
Lichte schade	9 tot 30	0,17 tot 0,03	Herstelbare schade. Ruitbreuk en schade aan deurposten (tot ± 12 meter), bewoonbaar na kleine reparaties.

9.4 Gelooftwaardigheid scenario's

Er is veel discussie over het wel of niet mogelijk zijn van een BLEVE bij een aangestraalde LNG-tank. Een BLEVE van een LNG-tank is al eens voorgekomen (zie paragraaf 9.1), dus het kan gebeuren. Elk type drukhouder kan in principe onder bepaalde omstandigheden bezwijken. Als de waarschijnlijkheid echter vergeleken wordt met bijvoorbeeld een BLEVE van een niet-geïsoleerde LPG-tank, dan is de kans op een BLEVE met een LNG-tank veel kleiner. Vooralsnog maken we de vergelijking met de kans op een BLEVE van een geïsoleerde (of gecoate) LPG-tank. Er worden nog testen uitgevoerd binnen het kader van het Nationaal LNG platform om beter inzicht te krijgen in de waarschijnlijkheid en impact van het scenario BLEVE voor een LNG-tank.

In de regelgeving voor externe veiligheid wordt een selectie gemaakt van scenario's die geloofwaardig zijn en waar veiligheidsmaatregelen voor getroffen moeten worden. Scenario's die heel onwaarschijnlijk zijn worden daar niet in meegenomen. Zo wordt in de regelgeving geen rekening gehouden met het scenario BLEVE omdat de kans daarop zeer klein is. Volgens de Publicatie Gevaarlijke Stoffen (PGS) zijn de meest geloofwaardige scenario's:

- > fouten bij het vullen van een LNG-opslagtank
- > fouten bij het verpompen van LNG bij bunkerinstallaties
- > een lek in een leiding
- > emissie uit een afblaasveiligheid.

In de regelgeving en PGS wordt geen rekening gehouden met scenario's met een kleine kans ($< 10^{-5}$ per jaar) en kleine effectafstanden (tientallen meters). Dit zijn:

- > catastrofaal falen van een LNG-tank(auto): de kans op dit scenario is verkleind door veiligheidsmaatregelen zoals overdruk- en niveaubeveiligingen, goede isolatie of effectbeperkende maatregelen zoals afschot in het terrein en opvangvoorzieningen. Het verkleinen van de kans is echter alleen van toepassing voor dubbelwandige tankwagens. In Nederland zijn enkelwandige tankwagens verboden, dus daar hoeven we niet verder op in te gaan.

- > breuk van een LNG-tank(auto): eveneens verkleinde kans door bovenstaande maatregelen
- > breuk van een LNG-leiding: hierbij wordt uitgegaan van de technische integriteit van de installatie. De kans dat dit gebeurt wordt klein geacht.
- > falen/beschadiging van een LNG-installatieonderdeel door aanrijding door een (motor)-voertuig: de kans op dit scenario is verkleind door maatregelen zoals een beperking in de rijsnelheid in de omgeving van de installaties, het plaatsen van aanrijdbeveiliging/vanrails en het op voldoende afstand houden van grote objecten
- > brandend (LNG tankend) voertuig: eveneens verkleinde kans door veiligheidsmaatregelen.

10 Brandweeroptreden bij incidenten met LNG

Als de brandweer moet optreden bij incidenten met LNG brengt dat bijzondere gevaren met zich mee. Er is immers niet alleen sprake van een extreem koud, maar ook zeer brandgevaarlijk gas. Kortom een combinatie van gevaren. Dit hoofdstuk start met een samenvatting van de gevaren van LNG voor het brandweeroptreden bij incidenten (paragraaf 10.1), waarbij aandacht besteed wordt aan de voorzorgsmaatregelen om het gevaar te beperken. Daarna wordt er een algemeen handelingsperspectief gegeven met een onderscheid in lekkage van LNG en brand. Dit handelingsperspectief is verder uitgewerkt conform de opzet van de ERIC-kaart (paragraaf 10.2). Analoog aan de LPG-hulpregeling wordt een LNG-hulpregeling ontwikkeld, die in paragraaf 10.3 wordt toegelicht. In bijlage 5 bij deze publicatie vindt u voor de volledigheid de protocolkaarten die opgesteld zijn door Brandweer Nederland.

10.1 Gevaren LNG

10.1.1 Optreden bij incidenten met LNG

Bij incidenten met LNG moet tijdens het optreden rekening gehouden worden met de volgende gevaren en aandachtspunten.

LNG is extreem koud

- > Vermijd altijd direct contact tussen water en LNG: bij contact warmt LNG extreem snel op.
Onder bepaalde omstandigheden (koudgekookte plas in 'veilig gebied') kan water echter gebruikt worden om de verdamping gecontroleerd te versnellen en daarmee de inzetduur en afsluiting van cruciale infrastructuur te beperken.
- > Vermijd direct contact tussen vloeibaar LNG en materialen (installatie(-onderdelen) maar ook brandweermaterialen). Materialen kunnen broos worden, controleer daarom de temperatuur van blootgestelde materialen en de omgeving met de warmtebeeldcamera. Let ook op de temperatuurbestendigheid van straalpijpen en slangen. De buitenmantel van brandweerslangen is niet bestand tegen de lage temperaturen van cryogene, door koude vloeibaar gemaakte gassen.
- > Afblaasveiligheden kunnen bevriezen als extreem koude installatie-onderdelen in contact komen met water. Vermijd contact met water, vooral bij het koelen van installatie(-onderdelen)!

LNG is (on)zichtbaar en geurloos

- > Bij het vrijkomen van LNG ontstaat vaak een witte nevel (dit is gecondenseerd water uit de lucht, tenzij 'vloeistofstrepen' zichtbaar zijn). Dit maakt de lekkage zichtbaar, maar het is dus meestal water. We noemen dit ook wel de 'zichtbare wolk'.
- > Bij een luchtvochtigheid > 55% ligt het explosiegebied binnen de zichtbare wolk, maar als de luchtvochtigheid lager is kan het explosiegebied buiten de zichtbare wolk liggen. Houd hier rekening mee en controleer dit door te meten. Meet vooral op maaiveldniveau (laag) maar ook hoog.

- > Vermijd het lopen door mist (geen zicht op de ondergrond én mogelijk explosiegevaarlijk gebied).
- > Reukloos, geen geurstof toegevoegd dus niet te ruiken. Alleen bij hoge concentraties ontstaat een mufte geur.

Metten explosiegevaar is traag

- > De responstijd van explosiegevaarmeters kan relatief lang zijn! Het is beter om een lekzoeker te gebruiken als die mogelijkheid bestaat. Houd dus vooral rekening met de lange responstijd!

Veel hittestraling bij brand

- > Er kan sprake zijn van hoge temperaturen, veel hittestraling. Bovendien kan de brand onzichtbaar zijn. Gebruik daarom altijd een warmtebeeldcamera. Bij extreem hoge temperaturen kan eventueel voorgekoeld worden met een waternevel, maar alleen als contact tussen water en LNG vermeden kan worden.
- > Bij inzet van een waterscherm: vermijd 'gaten' in het waterscherm, let vooral op de onderzijde van het waterscherm naar de ondergrond. LNG kan hier namelijk onderdoor kruipen. Let bij gebruik van meerdere schermen op voldoende overlap tussen de schermen. Controleer het explosiegevaar door te meten (vooral laag maar ook hoog).

Blussen? Gebruik schuim?

- > Water is geen geschikt blusmiddel.
- > Blussen met schuim lukt niet, want het schuim brandt mee.
- > De enige reden om LNG af te dekken met schuim is om het effectgebied te beperken door uitdampen van koudgekookt LNG te verminderen. Let op dat verdamping in eerste instantie toeneemt door het contact met het relatief warme schuim. De enige mogelijke toepassing van schuim is een dikke laag licht schuim (HiEx). Bij toepassing van middel en zwaar schuim is er te veel contact met water en daardoor neemt de verdamping juist toe.
- > Gebruik hittebestendig schuim.
- > Pas schuim alleen toe in opgesloten systemen (soort opvangbak), zoals een tankput. Het onderhouden van de schuimlaag is vanzelfsprekend belangrijk.
- > Maak hierbij gebruik van stationaire voorzieningen; het gebruik van mobiele systemen is niet aan te raden gezien de beperkte mogelijkheden en effecten.
- > Als er al geblust moet worden dan kan poeder worden gebruikt.

Opmenging versnellen

- > Het oplossen van gassen gebeurt met sproeistralen, waterschermen of waterkanonnen (voor meer afstand). Hiermee kan een gas- of dampwolk gestuurd worden. LNG is niet oplosbaar in water en kan dus alleen opgemengd of verdund worden. Dit kan leiden tot een vermindering van 18-65% van het impactgebied.

LNG kruipt in poreuze materialen, ook in blusleiding en -handschoenen

- > Bij testen bleek dat de temperatuur binnen in persoonlijke beschermingsmiddelen snel afneemt bij direct contact met vloeibaar LNG. Na 1 minuut is in een blushandschoen een temperatuur gemeten van -37 °C en in blusleiding van -30 °C. Vermijd dus direct contact met LNG om bevroering te voorkomen.
- > LNG dat verdampt wordt opgenomen door blusleiding en blijft daar lang in hangen. Zorg daarom voor voldoende uitdampen/ventilatie voordat de adembescherming wordt afgezet.

10.1.2 LNG vergeleken met LPG en CNG

Om een indruk te krijgen van de gevaren van LNG wordt hier een vergelijking gegeven met de meer bekende gassen LPG (tabel 10.1) en CNG (tabel 10.2). LPG is onder druk vloeibaar gemaakt en CNG is een samengeperst gas, terwijl LNG door koude vloeibaar is gemaakt.

Tabel 10.1 LNG vergeleken met LPG

	LNG	LPG	Conclusie
BLEVE	Kans op BLEVE te vergelijken met een BLEVE van gecoate LPG-tankwagen	BLEVE LPG waarschijnlijker dan BLEVE LNG	BLEVE LNG veel minder waarschijnlijk dan LPG!
Afbrandsnelheid bij wolkbrand	± 90-120 meter per minuut	LPG ± 275 meter per minuut	Afbrandsnelheid wolk LNG lager dan LPG
Stralingswarmte	220 kW/m ² LNG brandt roetloos; bij koolwaterstofbranden absorbeert roet normaliter een groot deel van de hittestraling	140 kW/m ²	Stralingswarmte LNG hoger dan LPG
Plasbrand > begrensd op beton > onbegrensd (vrij uitstromend) op water	14 mm diepte 18 mm diepte per minuut	vergelijkbaar	Plasbrand LNG en LPG ongeveer even snel

Tabel 10.2 LNG vergeleken met CNG

	LNG	CNG
Chemische stof	Aardgas (grotendeels methaan)	Aardgas (grotendeels methaan)
Vloeibaar gemaakt door:	Door koude vloeibaar gemaakt (-162 °C)	Onder druk samengeperst aardgas (200 bar)
Geurstof	Geen geurstof	Wel geurstof (tetrahydrothiofeen, THT)
Contact met water	Heftige verdamping	Geen heftige verdamping
Insluitsysteem	Opgeslagen in dubbelwandig geïsoleerd vat (soort thermosfles), blaast af bij langdurige opslag (boil-off, vrijkomen van BOG)	Opgeslagen in drukhouder, blaast niet af bij langdurige opslag (geen vrijkomen van BOG)
Bevriezing	Door koude meer kans op bevriezing dan CNG	Veel minder kans op bevriezing, alleen bij direct contact tijdens vrijkomen

10.2 Handelingsperspectief brandweer

Het brandweeroptreden bij incidenten met LNG is in beginsel *defensief*. Dat betekent dat de nadruk ligt op het beperken van effecten door het afschermen en/of afkoelen van de omgeving en het voorkomen van ontsteking. Pas als uit de verzamelde informatie blijkt dat het veilig is om offensief op te treden, kan hiertoe worden overgegaan. Voorwaarden voor offensief optreden zijn:

- > overzicht van actuele situatie, voldoende beeld
- > voldoende gecontroleerde situatie, voldoende veilig
- > voldoende mensen en middelen
- > duidelijk beeld van de te volgen aanpak.

Voor het optreden bij incidenten met LNG is een algemeen handelingsperspectief voor de brandweer opgesteld.

Algemeen

- > Raadpleeg deskundigen.
- > Zorg (zo nodig) voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds; treedt (zo nodig) *defensief* op.
- > Druk (indien aanwezig) noodknop in.
- > Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog).
- > Ontruim (zo nodig) onveilig gebied en zet gebied af; bij een dreigende BLEVE tot 350 meter.
- > Ontstekingsbronnen verwijderen en/of controleren.
- > Bepaal de aard van de beschadiging (kans op versnelde drukopbouw, activering afblaasveiligheid, ontbreken vacuüm van de tank).
- > Voorkom escalatie (controleren tank, installatie, afblaasveiligheden en oplopen van druk).
- > Spuit geen water op veiligheidskleppen of afblaasventielen: voorkom dichtvriezen van veiligheden.
- > Let op bij het gebruik van schuim: niet geschikt voor blussen, alleen om effectgebied te beperken, dan dikke laag licht schuim op ingedamde plas, gebruik stationaire voorzieningen.
- > Laat deskundige mogelijkheden bepalen voor het verminderen van de druk; alleen bij brandstoftanks kan druk verlaagd worden door te gaan rijden.
- > Laat tank/installatie veiligstellen door deskundige.
- > Ondersteun berging/THV (let op mogelijk verplaatsen van het emissiepunt).
- > Na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en/of tankwagen).

Lekkage

- > Controleer of er sprake is van lekkage of van boil-off (normaal bedrijfsproces waarbij een kleine hoeveelheid gas (BOG) vrijkomt).
- > Controleer het lek met warmtebeeldcamera.
- > Eerst ventileren als gemeten concentratie met explosiegevaarmeter > 10%LEL.
- > Voorkom contact vloeibaar LNG met water! Bij contact wordt het verdampen versneld en het effectgebied groter.
- > Stop continue, langdurige lekkage als dat veilig kan, lek *niet* dichten: dit kan leiden tot gevaarlijke drukopbouw, gebruik vonkarm en intrinsiek veilig gereedschap.
- > Tank koelen heeft geen zin, want deze is koud en geïsoleerd, bovendien bij contact met water kans op bevriezen van afblaasveiligheden en dat moet vermeden worden.
- > Voorkom verspreiding van LNG, leg dammen aan.
- > Voorkom ontstaan brand, controleer tank en omgeving.

- > Laat LNG verdampen en verdun of meng gaswolk op met een sproeistraal water (vloeibare LNG niet in contact met water!).
- > Voorkom binnentreding van besloten ruimten door personen, ventileer als dat veilig kan (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor!).
- > Alarmeer waterbeheerder als LNG in water of riool terecht is gekomen.

Brand

- > LNG-brand *niet* blussen, gebruik geen water als blusmiddel maar droog poeder (overigens is LNG mogelijk al verdampt).
- > Als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen.
- > Koel een aangestraalde, niet-geïsoleerde tank of beschadigde installatie(delen) niet met water: de inhoud is al erg koud en warmt dus alleen maar op.
- > Koelen/afschermen van de niet-beschadigde delen heeft wel zin als de isolatie intact is (10 liter/m²/min).
- > Andere branden in omgeving wel blussen / koelen omgeving / voorkomen escalatie.
- > Controleer met warmtebeeldcamera de omgeving en de hittestraling (brand is slecht zichtbaar).
- > Houd bij *langdurige* aanstraling rekening met gevaar voor BLEVE; ontruim mogelijk onveilig gebied tot 350 meter (zie hoofdstuk 9, scenario 7).

Dit handelingsperspectief is nader uitgewerkt volgens het concept van de emergency response intervention cards, ofwel ERIC-kaarten. Dat betekent dat deze opgebouwd is uit de onderwerpen: kenmerken, gevaar, persoonlijke bescherming, bronbestrijding, eerste hulp, voorzorgsmaatregelen bij opruimen stof, ontsmetting na bronbestrijding. Daarnaast is een algemene ‘verkenningkaart’ opgesteld voor incidenten met gassen. De uitgewerkte kaarten zijn opgenomen in bijlagen 3 en 4.

De protocolkaarten voor LNG van Brandweer Nederland zijn opgenomen in bijlage 5.

10.3 Cryogeen LNG-Hulpregeling

Analoog aan de LPG-hulpregeling wordt een LNG-hulpregeling ontwikkeld. Beide hulpregelingen zijn qua opzet vergelijkbaar op het gebied van kennis, kunde en equipment, met een 24/7-beschikbaarheid. Het uitgangspunt bij beide hulpregelingen is een snelle en professionele afhandeling van incidenten, die extra slachtoffers en (economische) schade voorkomt.

Het Landelijk Informatiepunt Ongevallen Gevaarlijke Stoffen (LIOGS) zorgt voor het activeren van hulpregelingen. De operationele coördinatie ligt bij de veiligheidsregio waar het incident plaatsvindt. Ook hebben leveranciers en transporteurs (zoals Linde Gas, Air Products, Rolande LNG) een eigen noodnummer.

11 Bronnen

In deze publicatie zijn onderstaande bronnen gebruikt.

1. Procedurekaarten opgesteld door LNG Regiegroep IB en vastgesteld door Brandweer Nederland:
 - a. Bestrijding incidenten LNG brandstoftanks
 - b. Bestrijding incidenten LNG-bunkering
 - c. Bestrijding LNG-incidenten: Laden- en lossen
 - d. Bestrijding LNG-incidenten: LNG-tankstation
 - e. Bestrijding incidenten: LNG-tankwagen
 - f. Algemene procedure: Vloeibaar gekoeld aardgas: LNG (-160 °C): Kenmerken en risico's (deze is niet vastgesteld door Brandweer Nederland)

Deze set procedurekaarten maakt deel uit van de onderwijscontent LNG

2. Protocolkaart LNG/LBG, vakgroep IBGS, Brandweer Nederland, 2013: deze maakt onderdeel uit van de onderwijscontent LNG
3. Protocolkaarten Brandweer Haaglanden:
 - a. IP 105 Vloeibaar gekoeld aardgas: LNG (-160 °C): LNG voertuig/tankstation
 - b. RIP Aardgaslekkage binnen
 - c. RIP Aardgaslekkage distributieleiding
 - d. IP 106 (Rijdende) Aardgasbus
 - e. IP 107 Aardgasbus vulstation en stalling
4. Protocolkaarten VNOG LNG voor Bevelvoerder, OVD, HOVD en AGS
5. Aandachtskaart Arbocatalogus: Tankstation opslag/gebruik LNG, vloeibaar aardgas, 2014
6. Scenariokaarten uit Scenarioboek Externe Veiligheid:
 - a. LNG Tankwagen – Warme BLEVE
 - b. LNG Tankwagen – Koude BLEVE
 - c. LNG Tankwagen – Fakkelfbrand
 - d. LNG Tankwagen – Plasbrand
 - e. LNG Tankwagen - Wolkbrand
7. Aandachtskaart LNG Amsterdam-Amstelland
8. LNG LPG Operational Procedure #34 Philadelphia Fire Department, 2005
9. Procedures for emergencies arising during the transportation of liquid methane (LNG and LBG): Tankers and tank containers, Swedisch gas association, 2013
10. Operationele handreiking OGS, NVBR, 2012
11. Emergency Response to Natural Gas Vehicles, Instructors guide Dragonfly, 2003
12. USFM Alternative Fuel Vehicles, geen verdere gegevens
13. Tabel Relatieve dichtheid LNG/luchtmengsels (vol% vs. temp), Arie van den Berg
14. NEN-EN-ISO 16903: Characteristics of LNG influencing design and material selection (ISO/DIS 16903:2013, IDT) Ontwerp
15. PGS 33-1: Aardgas: afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor motorvoertuigen, 2013
16. Bepaling interne veiligheidsafstanden voor LNG-tankstations ten behoeve van de in ontwikkeling zijnde PGS 33, 2013
17. PGS 33-2: Aardgas: afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor vaartuigen, 2014
18. LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau, Sub-activiteit 2.4 Technisch bewijs, veiligheid en risicobeoordeling, Resultaat 2.4.4 Emergency & incident response studie, Falck Risc & Gezamenlijke Brandweer Rotterdam, 2015
19. What is Liquefied Natural Gas, IFE Journal, 2015

20. Bestrijding van LNG incidenten is specialistenwerk, Gevaarlijke Lading, 2015
21. LNG keten wetgeving, mrt 2015, DCMR
22. Governance en werkwijze Nationaal LNG Platform
23. Chemiekaartenboek
24. Brandstoffen voor het wegverkeer: Kenmerken en perspectief, Factsheets, TNO/CE Delft, 2014
25. Natural Gas in Transport: An assessment of different routes, TNO/ECN/CE Delft, 2013
26. Analysis of the explosion of a liquefied-natural-gas road-tanker, Seguridad y Medio Ambiente, 2012
27. Explosion of a road tanker containing liquified natural gas, Planas-Cuchi, 2004
28. Handling the Cryo Factor, part one + two, 2010, John Frame
29. Kort verslag testresultaten LNG, Falck, 4-7-2014
30. Film:
 - a. Liquid Natural Gas Safety and Emergency Response, National Association of State Fire Marshalls, <http://www.drc-group.com/project/jitt-lng.html>
 - b. LNG, The Safe Fuel
 - c. Lossen LNG: Schenk Transport
 - d. LNG aflaten overdruk
 - e. LNG test Falck:
https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=HbSnDNCKTMU
31. Training bevelvoerders – OVD's Haaglanden dd 16-12-2013
32. Presentaties:
 - a. Cryogeen LNG: Voor milieu een zegen!! Voor incidentbestrijding een ramp!! Marco van den Berg en Dick Arentsen
 - b. Brandweer en LNG: Marco van den Berg
 - c. Brandstofdiversiteit en procedures: Marco van den Berg
 - d. Liquefied Natural Gas (LNG) Awareness, Massachusetts Firefighting Academy
 - e. Rotterdam: LNG-bunkerport, Ankie Janssen, via www.vvm.info
 - f. LNG als brandstof: small scale applications, Leon Sluiman, via www.vvm.info
 - g. Duurzame mobiliteit, Els de Wit, via www.vvm.info
 - h. Veiligheidsaspecten bij de invoering van LNG en andere nieuwe brandstoffen, Edward de Geus, via www.vvm.info
 - i. Profcheck P1 Gezamenlijke Brandweer Rotterdam, Voorjaar 2014
 - j. Presentaties Rolande LNG, o.m. Open dag Tilburg
 - k. OGS 2.4 Mestgassen en kuilvoergassen, Brandweer Twente 2015
33. Verslagen vergaderingen van Regiegroep LNG en LNG Regiegroep Incidentbestrijding
34. Internet:
 - a. www.ericcards.net
 - b. www.wikipedia.nl
 - c. www.vvm.info
 - d. www.nationaalngplatform.nl
 - e. www.infopuntveiligheid.nl
 - f. Aggreko-Gas-Aggregaten.pdf
 - g. www.attero.nl
35. Les- en leerstof Brandweeracademie:
 - a. Manschap A OGS
 - b. Bevelvoerder OGS
 - c. Reader AGS

Bijlage 1

Wet- en regelgeving

De ontwikkelingen op het gebied van LNG zijn in de afgelopen jaren sneller gegaan dan de wet- en regelgeving over dit onderwerp. Dat betekent dat bijvoorbeeld al LNG-tankstations gebouwd waren voordat er veiligheidseisen beschikbaar waren en aan minder strenge eisen voldoen. Dit hoofdstuk beschrijft de huidige wet- en regelgeving met betrekking tot externe veiligheid, de circulaire externe veiligheid LNG-tankstations en de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen.

Externe veiligheid

In 2013 heeft TNO een onderzoek gepubliceerd over de externe veiligheidsrisico's van de LNG-distributieketen (Verbeek et al., 2013). Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft daaruit het volgende geconcludeerd.

- > De volgende activiteiten leveren geen problemen op voor de externe veiligheid:
 - > het bunkeren van LNG in LNG-bunkerstations
 - > het transport over het water.
- > LNG-tankstations hebben aanzienlijke risicocontouren²⁴, maar er zijn voldoende mogelijkheden om deze te verkleinen, waardoor veilige locaties mogelijk worden.
- > LNG-transport over de weg vereist specifieke aandacht: risicocontouren worden overschreden voor een groot aantal wegsegmenten (uit Basisnet weg²⁵), omdat de verwachting is dat LNG diesel zal vervangen en niet LPG. In tegenstelling tot LPG is diesel niet meegenomen in de risicocontouren voor het Basisnet. Dat betekent dat LNG-transport over de weg (Basisnet) dus bovenop dat van LPG komt, waardoor het risiconiveau van een groot deel van de wegsegmenten overschreden kan worden. Zonder verdere acties kan het verwachte LNG-volume niet geabsorbeerd worden door het Basisnet en zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk om LNG-transport te laten passen binnen het Basisnet. Het gaat hierbij vooral om de knelpunten: A15, A16, A20.

Daarnaast blijkt uit het TNO-rapport (2013) dat er aandacht besteed moet worden aan het groepsrisico²⁶ rondom bunkerstations. Bovendien geldt voor een hoeveelheid van meer dan 50 ton vloeibaar LNG dat de inrichting Brzo-plichtig²⁷ is.

²⁴ Een risicocontour (ofwel plaatsgebonden risico) geeft aan hoe groot in de omgeving de overlijdenskans is door een ongeval met een risicobron: binnen de contour is het risico groter, buiten de contour is het risico kleiner.

²⁵ In het Basisnet worden voor het vervoer van gevaarlijke stoffen risicocontouren bepaald over bepaalde segmenten (van de weg, het spoor en de waterweg). Omdat de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} niet overschreden mag worden levert dit een bepaalde gebruiksruimte per segment op. De gebruiksruimte is gedefinieerd als de maximale hoeveelheid vervoer van gevaarlijke stoffen die over een weg(vak) mag rijden. Deze gebruiksruimte wordt uitgedrukt in een maximale hoeveelheid risico. In deze berekeningen is de brandstof LPG inbegrepen, in tegenstelling tot diesel.

²⁶ Groepsrisico is in het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) gedefinieerd als: cumulatieve kansen per jaar dat ten minste 10, 100 of 1000 personen overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een inrichting en een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is.

²⁷ Brzo: Besluit risico's zware ongevallen. Het Brzo integreert de eisen op het gebied van arbeidsveiligheid, externe veiligheid en rampenbestrijding met als doel de kans op een zwaar ongeval of een ramp zo klein mogelijk te maken en het effect zoveel mogelijk te beperken. De lage drempelwaarde voor zeer licht ontvlambare gassen is 50 ton en de hoge drempelwaarde 200 ton.

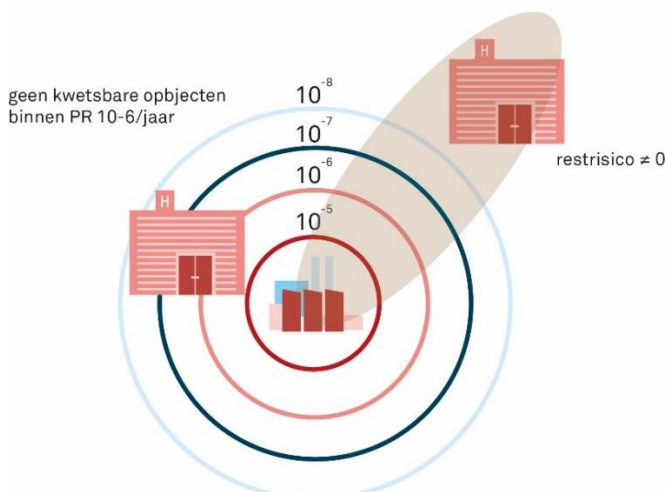
Ook zijn de plaatsgebonden risico-contouren, de PR-contouren²⁸ berekend voor een tiental scenario's. PR-contouren zijn contouren die de kans op overlijden per jaar aangeven voor een bepaald scenario. Tabel B.1 bevat een overzicht van de resultaten.

Tabel B.1 Berekende plaatsgebonden risicocontouren (PR-contouren) voor LNG-scenario's in meters; bijvoorbeeld fout bij het lossen op een geïsoleerde plaats (scenario 6) is de kans om hieraan te overlijden 1 per miljoen tot op een afstand van 62 meter van het incident

Variant	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-7}	1×10^{-8}
1 Referentie	7	63	180	245
2 Pomp met pakkingen	7	64	180	245
3 Voordruk 7 barg ⁹ en ingreep in 5 sec.	42	77	190	245
4 Voordruk 2,5 barg ⁹ en pomp en ingreep in 5 sec.	7	50	180	245
5 Verlading aan weg met snelheid > 70 km/h	7	62	180	245
6 Verlading op geïsoleerde plaats	6	62	180	248
7 Aanlevering via enkelwandige tankauto ²⁹	7	112	182	244
8 Voordruk 7 barg ⁹ en ingreep in 120 sec.	60	140	182	230
9 Referentie met doorzet 10.000 m ³ /jr	13	69	180	245
10 Referentie met doorzet 15.000 m ³ /jr	32	72	188	248

Binnen de zogenaamde 10^{-6} -PR-contour mogen zich geen kwetsbare objecten (bijvoorbeeld woningen, ziekenhuizen, scholen, grote winkelcentra) bevinden.

Afbeelding B.2 Uitgangspunten Bevi: geen kwetsbare objecten binnen 10^{-6} -PR-contour



²⁸ Plaatsgebonden risico is in het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) gedefinieerd als: risico op een plaats buiten een inrichting, uitgedrukt als de kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is. Meestal wordt dit berekend voor de kans van 1 op 1 miljoen, dit is de zogenaamde 10^{-6} -contour.

²⁹ Het gebruik van een enkelwandige tankauto is in Nederland verboden.

Circulaire externe veiligheid LNG-tankstations

Sinds 2015 geldt de Circulaire externe veiligheid LNG-tankstations, opgesteld door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Deze circulaire adviseert om voor LNG-tankstations de uitgangspunten van het Besluit Externe veiligheid inrichtingen (Bevi) te hanteren (ondanks het feit dat LNG formeel nog niet onder het Bevi valt). Een LNG-tankstation is niet ingedeeld in een categorie inrichtingen van het Bevi en is dus een zogenaamde niet-categoriale inrichting. Dat betekent dat voor elk LNG-tankstation een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) moet worden opgesteld. Hiervoor moet een specifieke rekenmethodiek toegepast worden, de Rekenmethodiek LNG-tankstations. In deze rekenmethodiek wordt ervan uitgegaan dat:

- > de veiligheidsmaatregelen aan de installatie voldoen aan de eisen van de PGS 33-1
- > de standaard ongevalsscenario's volgens de Handleiding risicoberekening inrichtingen Bevi van toepassing zijn
- > de veiligheidsafsluiters (ESD = emergency shut down) bewezen binnen 5 seconden sluiten
- > een LNG-tankwagen met dubbelwandige tank gelijkgesteld kan worden aan een LPG-tankwagen met hittewerende coating
- > een dubbelwandige uitvoering van LNG-installaties niet bezwijkt bij een warmtestralingsflux van 35 kW/m²
- > een composiet losslang gelijkgesteld kan worden aan de verbeterde LPG-losslang.

Aanvullend geldt een minimale veiligheidsafstand van 50 meter, waarbinnen geen kwetsbare objecten (bijvoorbeeld woningen, ziekenhuizen, scholen, grote winkelcentra) toegestaan zijn en voor beperkt kwetsbare objecten (zoals kantoorgebouwen, sporthallen, kampeerterrainen) een verantwoordingsplicht geldt. Een verantwoordingsplicht betekent kortweg dat de bevoegde instantie (meestal de gemeente) moet verantwoorden of motiveren waarom het risico in een bepaald gebied hoger mag zijn dan de landelijk vastgestelde richtwaarde. Het voert echter te ver om in deze publicatie het beleid rondom externe veiligheid expliciet uit te leggen, hiervoor wordt verwezen naar het Bevi.

Ook voor het gebied tussen de 10⁻⁶-contour en de effectafstand geldt een verantwoordingsplicht voor een verhoogd risico. Overigens gelden voor deze verantwoordingsplicht minder strenge eisen dan aan het gebied binnen de veiligheidszone van 50 meter. De te hanteren effectafstand is vastgelegd in tabel B.3 van de Circulaire en is gebaseerd op het laad/lossscenario.

Tabel B.3 Samenvatting van tabel 1 uit Circulaire externe veiligheid LNG-tankstations

ESD sluit < 5 sec	Bovenvulling tank	Verladen met pomp	Voordruk < 3,2 barg	Effectafstand in meter
ja	ja	ja	ja	50
ja	nee	ja	nee	75
ja	nee	nee	n.v.t.	125
nee	nee	ja	nee	150
nee	nee	nee	n.v.t.	200

Toelichting: 'n.v.t.'= bij lossen zonder gebruik maken van een pomp is de voordruk altijd > 3,2 barg.

De Circulaire verzoekt het bevoegd gezag om de veiligheidsregio in de gelegenheid te stellen advies uit te brengen (zoals bedoeld in de artikelen 12 en 13 van het Bevi). Dit is echter niet verplicht, omdat een Circulaire formeel geen wetgeving is.

Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen

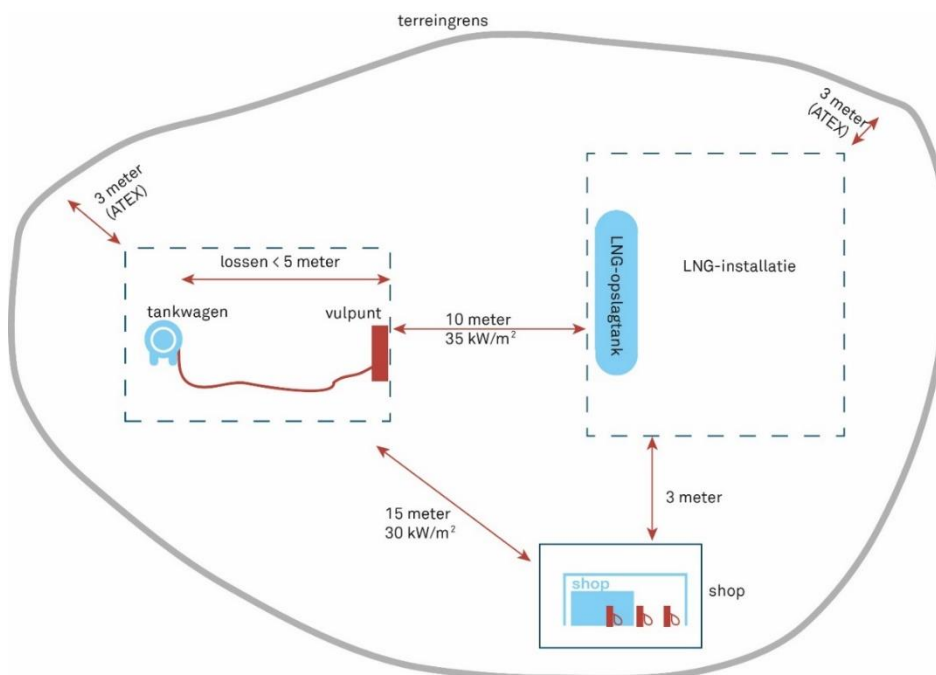
Het externe veiligheidsbeleid wordt ingevuld door een aantal richtlijnen binnen de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen. In deze publicaties zijn richtlijnen opgenomen voor het ontwerpen, bouwen en functioneren van installaties. De richtlijnen voor LNG zijn echter alleen van toepassing op vaste, stationaire afleverinstallaties op land en op een drijvende inrichting (vaartuig). De PGS-en zijn niet van toepassing op transport of mobiele locaties.

De volgende PGS-richtlijnen zijn beschikbaar.

- > PGS 33-1 geldt voor aardgasafleverinstallaties van LNG voor motorvoertuigen. LNG-tankstations zijn opgebouwd volgens de PGS 33-1. De opbouw kan echter verschillend zijn uitgevoerd, maar de huidige veiligheidseisen zijn gelijk. Oudere tankstations (gebouwd voor 2013) kunnen verschillend zijn uitgevoerd en voldoen aan minder strenge eisen.
- > PGS 33-2 voor aardgasafleverinstallaties van LNG voor vaartuigen en bunkerstations.
- > PGS 26 gaat specifiek over het stallen van CNG-auto's en wordt aangevuld met LNG.

In PGS 33-1 zijn interne veiligheidsafstanden bepaald voor LNG-tankstations. De uitgangspunten van de berekeningen, zoals geselecteerde scenario's, zijn niet opgenomen in deze publicatie maar wel terug te vinden in de PGS 33-1. Afbeelding B.4 toont een samenvatting van de resultaten van de berekeningen. Hieruit wordt duidelijk dat de shop bijvoorbeeld altijd minimaal 15 meter verwijderd moet zijn van het afleverpunt en de afstand tussen tankwagens en vulpunt maximaal vijf meter mag zijn.

Afbeelding B.4 Een overzicht van de *interne* veiligheidsafstanden die gelden voor LNG-tankstations



Voor veilige afstanden tussen LNG-installaties en installaties voor andere brandstoffen (zoals CNG, LPG en koolwaterstoffen) is een samenvatting opgenomen in het achtergronddocument bij de PGS 33.

Bijlage 2

Organisaties

In Nederland zijn verschillende organisaties actief met LNG als aandachtsgebied. Hieronder zullen het Nationaal LNG Platform, Regiegroep LNG en Expertgroep incidentbestrijding LNG nader toegelicht worden.

Nationaal LNG Platform

Het Nationaal LNG Platform is in juli 2012 opgericht. Het verbindt bedrijven en overheden die werken aan de introductie van vloeibaar aardgas als schone transportbrandstof in Nederland. Dit gebeurt in het kader van de *Green Deal Rijn en Wadden*, onderdeel van het Green Deal-beleid, waarbij bedrijven initiatieven nemen die passen bij overheidsdoelstellingen op het gebied van klimaat en milieu. LNG kan een belangrijke bijdrage leveren aan het schoner maken van de transportsector.

De doelstelling van het Nationaal LNG Platform is om in 2015 minstens 50 binnenvaartschepen, 50 zeeschepen en 500 trucks op LNG te laten rijden of varen. Het Nationaal LNG Platform werkt aan deze doelstelling door het:

1. bevorderen van de communicatie tussen bedrijven die LNG als belangrijk aandachtsgebied hebben om daar een deel van hun toekomstige nieuwe business op te bouwen, maar ook met kennisinstituten die op de een of andere manier kunnen bijdragen aan de opbouw van algemene informatie over LNG en haar toepassing als brandstof.
2. vertegenwoordigen van de LNG industrie en LNG gebruikers in onderhandelingen met de overheid om enerzijds het juiste nationale en internationale wettelijk kader te creëren en anderzijds ook voldoende economische drivers voor het introduceren van LNG als brandstof te voorzien.
3. informeren van diverse stakeholders, ook buiten de nieuwe markten, over alle aspecten van LNG introductie in de samenleving.

Het overleg met de overheid gebeurt onder het regime van de *Green Deal* tussen Platform en Overheid en zal zich concentreren op de volgende onderwerpen die voor alle partijen van belang zijn.

1. Regionale, nationale en internationale wet- en regelgeving die op elkaar wordt afgestemd om toepassing van LNG mogelijk te maken.
2. Omgevingsmanagement dat zich bezighoudt met de communicatie rond LNG naar de plaatselijke overheden, NGO's en burgers.
3. Afspraken rond accijnzen, fiscaliteit en mogelijke tijdelijke stimulerende maatregelen voor de nieuwe brandstof om de gehele keten van leverancier tot eindgebruiker een juiste economische basis te geven.

Het Platform houdt een website (www.nationaallngplatform.nl) actueel waar, naast publieke informatie, de participanten extra informatie krijgen die niet op het publieke deel van de Nationaal-LNG-platform-site gepubliceerd wordt. Details over voortgang van werkgroepen, rapporten en verslagen zijn daarmee online beschikbaar.

Regiegroep LNG en Expertgroep incidentbestrijding LNG

Het doel van zowel de regie- als de expertgroep is om alle activiteiten aangaande LNG transport incidentmanagement zoveel mogelijk te bundelen, kennis te vergaren en maximaal te verspreiden. De regiegroep wil de volgende producten opleveren:

1. Handreikingen vergunningverlening LNG-bunkering en -tankstations.
 - > Bestuurlijke handreiking (specifiek voor B&W).
 - > Handreiking voor veiligheidsadviseurs van Veiligheidsregio's of Regionale Uitvoeringsdiensten (RUD) (praktisch hanteerbaar).
 - > Risicoanalyses vanuit Publicaties Gevaarlijke Stoffen (PGS) 33, deel 1 en 2.
2. Producten incidentbestrijding.
 - > Inzetprocedures bij LNG-incidenten voor de hulpverlening.
 - > Les- en leerstof LNG voor opleidingen hulpverlening.
 - > Organiseren van praktijktrainingen en -oefeningen met LNG (methodes, materieel en middelen, locaties, et cetera).
 - > Inrichten deskundigen-backoffice bij incidenten via LIOGS+, BOT-mi en Infopunt Veiligheid.
 - > Plan uitschrijven voor een LNG-hulpdienst, die ingesteld kan worden voor het beschikbaar stellen van kennis, kunde en vaardigheden alsmede materieel en middelen en deskundig personeel via LIOGS+.
 - > Handreiking voor private dienstverleners
 - > Aandachtskaarten en Object Risico Analyse.
 - > Verzamelen van info over LNG incidenten en verspreiden via besloten website zoals bij FACTS.
3. Communicatie/producten ten behoeve van "vergroting bewustzijn"
 - > Ontwikkelen factsheets LNG voor diverse doelgroepen zoals hulpverlening, RUD's, bestuurders en bevolking.
 - > Bijeenkomst LNG voor hulpverlening/RUD's.
 - > Kennisborging via het Instituut Fysiek Veiligheid en/of Nationaal LNG-Platform (borging van producten).
 - > Netwerkkkaart ontwikkelen (wie is waar mee bezig?) i.s.m. Nationaal LNG-Platform.

Bijlage 3

Aandachtskaart: Handelingsperspectief LNG

Gebruik ook Aandachtskaart: HP Verkennen !!!

1. Kenmerken

- > De vloeibare fase heeft een extreem lage temperatuur.
- > Cryogene gassen bevinden zich in dubbelwandige, geïsoleerde tanks: opwarmen vindt gelijkmatig plaats en onderscheid in gas en vloeibare fase is minder belangrijk. Dit geldt niet als de buitenschil en/of isolatie beschadigd is.
- > Bij beschadiging van de isolatie van tanks en installatie(onderdelen) warmt het koude gas versneld op: kans op escalatie incident.
- > Brandbaar gas: vormt met lucht brandbare of explosiegevaarlijke gasmengsels.
- > Verstikkingsgevaar! Gassen verdringen lucht (meestal) zonder (geur)waarschuwing.
- > Niet in water oplosbaar: verdunnen met sproeistraal alleen mogelijk door intreden/aanzuigen van lucht.

Herkenning

GEVI: 223

223

1972

ADR



GHS



2. Gevaar

- > Contact met de vloeistof veroorzaakt bevrozing en (ernstige) schade aan de ogen.
- > Contact met de vloeistof maakt vele materialen broos, ook persoonlijke bescherming, slangen en straalpijpen.
- > Snel uitstromende gassen zorgen voor sterke afkoeling van de omgeving en kunnen gevaar voor bevrozing veroorzaken rondom de uitstroomopening.
- > Kans op laaghangend gas op grote afstand van emissiepunt. Let op: struikelgevaar!
- > Bij bezwijken en vrijkomen van het gas kan onmiddellijke ontsteking van het gas plaatsvinden gevolgd door een wolk-, fakkel- of plasbrand.
- > Bij ophoping van het gas in 'besloten' ruimten (lager gelegen, tussen gebouwen) kan een explosiegevaarlijk mengsel gevormd worden en gaswolkexplosie optreden.
- > Verhitting van insluitsystemen veroorzaakt drukstijging met kans op bezwijken (BLEVE) en het onmiddellijk vrijkomen van het gas; bij directe ontsteking ontstaat een vuurbal.
- > Gas is meestal onzichtbaar, kan binnendringen in kelders en rioleringen en/of kan zuurstof verdrijven uit besloten ruimten.

Vuistregels

Continue lekkage

- > Afstand tot onderste explosiegrens:
 - lekkage in gasfase: $A_{LEL} = 250 \times D$
 - lekkage in vloeistoffase: $A_{LEL} = 500 \times D$ met $D =$ diameter uitstroomopening in meters.
- > Lengte fakkel:
 - fakkel in gasfase: $L_{fakkel} = 250 \times D$
 - fakkel in vloeistoffase: $L_{fakkel} = 500 \times D$.
- > Ontruimen en ontstekingsbronnen verwijderen: afstand $2x$ zo groot dus: $2x A_{LEL}$ of $2x L_{fakkel}$.

Catastrofaal falen / instantaan

- > BLEVE met ontsteking (kans is onwaarschijnlijk!):
 - straal R vuurbal:
 - $R = 3 \times M^{1/3}$ voor ($M < 10.000$ kg) en
 - $R = 4 \times M^{1/3}$ voor ($M > 10.000$ kg)
 met $M =$ massa gas in kilogrammen (kg)
 - secundaire branden: 2R
 - tweede en derdegraads brandwonden op onbedekte huid: 3R
- > Gaswolkexplosie: $R = C_i \times M^{1/3}$ met $C_i =$ constante voor schade. Bijvoorbeeld $C_i = 4$ voor 'doden door instorting' en 36 voor 'tijdelijke gehoorschade'.

3. Persoonlijke veiligheid

- > Gebruik adembescherming met volgelaatsmasker; voorkom bevrozing van de apparatuur.
- > Draag geschikte beschermende kleding:
 - a. bluskleding, volledig en gesloten: bluskleding is geschikt voor werken in damp tijdens koudgekookte stationaire fase maar waterdicht is NIET cryogeenvloeistofdicht!
 - b. helm
 - c. blushandschoenen: leren of stoffen werkhandschoenen zijn niet geschikt als er kans is op direct contact met de cryogene vloeibare fase: vermijd contact of
 - d. gebruik koude-isolerende handschoenen als direct, kortstondig contact met koude nodig is: vermijd dit zo mogelijk
- > Gebruik geschikte meetapparatuur, minimaal:
 - a. explosiegevaarmeter met zuurstofsensor (denk aan responstijd)
 - b. warmtebeeldcamera (zichtbaar maken koude en gaswolk)
 - c. en eventueel IR temperatuurmeter (bij AGS).
- > Controleer of meet de temperatuur met een warmtebeeldcamera of temperatuurmeter; controleer op koude-spots in de isolatie. Let op: de temperatuur van de wolk is slecht te meten.
- > Vermijd contact met de vloeistof/gaswolk en koude installatieonderdelen.
- > Ventileer de omgeving! Let op: een overdrukventilator kan een ontstekingsbron zijn.
- > Bescherm personeel tegen stralingswarmte met een sproeistraal of met andere beschermingsmiddelen tegen hitte; personeel neemt altijd lagedrukstraal mee.

4. Bronbestrijding

Algemeen

PRIO: Veiligheid hulpverleners – slachtoffers/omstanders – stabiliseren/koelen/veiligstellen object – bestrijden

- > Alarmeer de exploitant of eigenaar van betrokken object/voertuig/installatie; raadpleeg deskundige, OvD en AGS.
- > Zorg voor bovenwindse opstelplaats en blijf zo mogelijk bovenwinds. Plaats een opstellijn. Let op: variatie in windrichting (door gebouwen, geluidsschermen, obstakels) en aflopend terrein. Treedt zo nodig DEFENSIEF op.
- > Druk de noodknop in als deze aanwezig is: het systeem schakelt uit, de mechanische afblaasveiligheid blijft werken.
- > Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter en blijf meten (vooral laag maar ook hoog).
- > Alarmeer/ontruim omgeving tot ruime afstand. Houd een veilige afstand aan van 350 meter (als een BLEVE dreigt), tenzij uit de verkenning anders blijkt. Zet bedreigde gebied af. Laat mensen in directe omgeving binnen blijven.
- > Betreed de gevarezone met zo weinig mogelijk mensen én alleen met de juiste beschermende kleding. Vermijd de zichtbare wolk!
- > Voorkom ontstaan van brand. Verwijder alle ontstekingsbronnen (rookverbod): gebruik mobiele telefoons, portofoons, piepers, etc alleen in veilig gebied. Scherm niet te verwijderen ontstekingsbronnen af en controleer deze.
- > Bepaal de aard van de beschadiging van installatie(onderdelen) en/of tank(wagen)s. Houd rekening met de kans op versnelde drukopbouw en let op of afblaasveiligheden geactiveerd zijn. Let bij tankwagens op de blow-off disc (boven/buitenzijde tank): als deze loszit is het vacuüm weggevallen en warmt de inhoud snel op.
- > Voorkom escalatie. Controleer de betrokken tank, installatie, afblaasveiligheden en het evt. oplopen van druk.
- > Spuit geen water op veiligheidskleppen of afblaasventielen: voorkom dichtvriezen van veiligheden.
- > Let op bij het gebruik van schuim: niet geschikt voor blussen, alleen om effectgebied te beperken, dan dikke laag licht schuim op ingedamde plas, gebruik stationaire voorzieningen.
- > Laat een deskundige mogelijkheden bepalen voor het verminderen van de druk; alleen bij brandstoftanks kan druk verlaagd worden door te gaan rijden.
- > Laat tank/installatie veiligstellen door deskundige
- > Controleer op veiligheid en ondersteun bij berging / THV en overdracht van het incident: let hierbij op het mogelijk verplaatsen van het emissiepunt. Niet zonder meer takelen aan beschadigd reservoir.
- > Na sein veilig: overdracht aan exploitant (eigenaar van de installatie, lading en / of tankwagen).

Lekkage

- > Controleer eerst of er sprake is van lekkage of van boil-off (normaal bedrijfsproces waarbij een kleine hoeveelheid gas (BOG) vrijkomt); koude gassen komen altijd vrij door verdamping, het hoge geluid (tot 80 dBA) en/of de witte mist zijn normaal bij laden/lossen van koude gassen maar kunnen leiden tot onrust bij voorbijgangers!
- > Controleer het lek met een warmtebeeldcamera.
- > Eerst ventileren als gemeten concentratie met explosiegevaarmeter > 10%LEL.
- > Voorkom contact vloeibaar LNG met water! Bij contact wordt het verdampen versneld en het effectgebied groter.
- > Stop de lekkage als dat veilig kan: dit is alleen zinvol bij continue, langdurige lekkages. Houd rekening met de vulling, de uitstroomsnelheid en de uitstroomduur. Lek NIET dichten: dit kan leiden tot gevaarlijke drukopbouw. Bv:
 - a. verplaats de lekkage naar de gasfase, door verdampen/afblazen kookt de vloeistof koud en stopt de lekkage
 - b. overpompen, leegmaken van de tank (tot aan normale vullingsgraad).
- > Gebruik vonkarm en intrinsiek veilig gereedschap (ATEX gecertificeerd).
- > Tank koelen heeft geen zin want deze is koud en geïsoleerd, bovendien bij contact met water kans op bevriezen van afblaasveiligheden en dat wil je vermijden.
- > Voorkom verspreiding van LNG, leg dammen aan.
- > Voorkom ontstaan brand, controleer tank en omgeving.
- > Laat LNG verdampen en verdun of meng gaswolk op met een sproeistraal: inzet sproeistraal vanaf de flanken, benedenwinds van en zo dicht mogelijk bij de uitstroomopening voor optimale venturi-werking, 1 liter water zuigt 2 m³ lucht mee.
Let op: richting en aanwezige objecten en ontstekingsbronnen, vloeibare LNG niet in contact met water brengen!
- > Voorkom binnentreding van kelders, rioleringen en andere besloten ruimten door personen. Ventileer besloten ruimtes als dat veilig kan (ook naastgelegen ruimten) in verband met explosiegevaar (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor!)
- > Alarmeer de verantwoordelijke autoriteit als de stof in het water of in het riool terecht is gekomen.

Brand waarbij de stof betrokken is

- > **BRANDEND LNG: LNG-brand bij voorkeur NIET BLUSSEN.**
- > Alleen blussen indien absoluut noodzakelijk en als toevoer gestopt is. Gebruik GEEN WATER als blusmiddel: maak gebruik van droog poeder (nadeel geen koelend vermogen en kans op herontsteking).
- > Een kleine plasbrand (< 10 m²) kan getemperd worden met licht schuim, poeder of koolzuur mits er geen aanvoer van brandbaar gas meer is. Beter is om de plas gecontroleerd uit te laten branden.
- > LNG alleen afdekken met dikke laag licht schuim dat geschikt is en opgebracht wordt met een stationaire lichtschuimgenerator en alleen als LNG ingedamd is (opvangbak); doel is uitdampen voorkomen, blussen lukt niet.
- > Als een afblaasveiligheid brandt, deze laten branden en niet blussen, fakkel rustig af laten blazen.
- > Koel een aangestraalde, niet-geïsoleerde tank of beschadigde installatie(delen) met cryogene gassen (GEVI 22) niet met water: de inhoud is al erg koud en warmt dus alleen maar op.
- > Voorkom aanstraling: blus branden in niet-lekkende installatieonderdelen en in de omgeving. Scherm stationaire aangestraalde insluitsystemen, installatie(onderdelen) en objecten af met water. Verplaats mobiele insluitsystemen. Afschermen/koelen bij brand is zinvol bij INTACTe, dubbelwandige geïsoleerde insluitsystemen, dan:
 - a. het intacte oppervlak geheel koelen, zo mogelijk rondom (360°) om spanningen in materiaal te voorkomen
 - b. inzet waterschermen tussen plasbrand en bedreigde onderdeel tot 5x de straal van de plas
 - c. bij voorkeur onbemande watermonitoren
 - d. zorg voor voldoende water (10 liter/m²/min); voor een tankwagen zo'n 900 liter/min
 - e. bij fakkelbrand: koelen in de richting van de fakkel.
- > Houd bij langdurige aanstraling rekening met gevaar voor BLEVE; ontruim mogelijk onveilig gebied tot 350 meter.
- > Controleer met een warmtebeeldcamera de omgeving en de hittestraaling (brand is slecht zichtbaar).
- > Gebruik sproeistralen om de rook neer te slaan.
- > Werk vanuit een beschermde positie om persoonlijk risico te verminderen. Gebruik zo mogelijk onbemande waterkanonnen.
- > De buitenmantel van brandweerslangen zijn niet bestand tegen de lage temperaturen van cryogene vloeistoffen.

5. Eerste hulp

- > Verwijder verontreinigde kleding onmiddellijk; laat vastzittende kleding zitten.
- > Ontdooi bevroren lichaamsdelen voorzichtig met koud water ($T < 25^{\circ}\text{C}$). Spoel daarna de besmette huid af met grote hoeveelheden lauw water.
- > Behandel cryogene brandwonden gelijk als thermische brandwonden: de aangetaste huid onmiddellijk en zo lang mogelijk spoelen met schoon, lauw water, zeker totdat de pijn is afgenomen. Zet de straal water iets boven de daadwerkelijke brandwond.
- > Als de stof in de ogen is gekomen spoelen met overvloedig veel schoon, lauw water, van binnen naar buiten (minimaal 15 minuten). Daarna de ogen zo snel mogelijk laten onderzoeken door een arts. Personen die in contact zijn geweest met de stof of die dampen ingeademd hebben moeten direct onderzocht worden door een arts. Geef alle beschikbare productinformatie door. Alarmeer de GAGS.

6. Voorzorgsmaatregelen bij opruimen stof

- > Gebruik geen standaard gereedschap. Vraag advies aan de AGS.

7. Ontsmetting na bronbestrijding

Ontsmetting personeel

- > Goed ventileren/luchten en meten met explosiegevaarmeter. Niet afspoelen. Daarna organoleptisch (geur) laten vaststellen van besmetting. Daarna ademlucht afkoppelen en kleding uittrekken.

Ontsmetting materieel

- > Goed ventileren/luchten en meten met explosiegevaarmeter. Niet afspoelen.

Externe deskundigheid

- > Alarmeer/informeer OvD en AGS
- > Voor (Bio-)LNG en CNG: Rolande LNG: 0183 – 58 34 46; NOODDIENST: 06 – 5193 9120
- > Leveranciers gassen, zoals Linde: 010 – 246 16 16, Air Products: 020 – 435 35 35
- > Chauffeur, exploitant: gebruik de gevarenkaart van de vervoerder
- > Cryogeen hulpregeling via LIOGS: 010 – 246 86 42
- > LNG-afleverstations worden op afstand bewaakt: via aanwezige intercom (op afleverzuil) deskundige inschakelen.

Bijlage 4

Aandachtskaart: Verkennen gassen

Oorzaak en gevolg incident

- a. Is er lekkage? Welke stof komt vrij? Uitstroom in de gas- of in de vloeibare fase?
- b. Aard en omvang van de beschadiging van object/installatie(onderdelen). Let op:
 1. grootte van het gat/lek
 2. controleer of afblaasleiding/veiligheid vrij is (niet dichtgevroren)
 3. beschadiging isolatie
 4. wegvallen van vacuüm van een geïsoleerde tank (te herkennen aan: vormen van wit poeder (perliet) en loszitten blow-off disc op tank van tankwagen)

Als het veilig kan:

 5. druk: lees manometers af, getal én eenheid
 6. temperatuur: lees thermometers af, getal én eenheid
- c. Is er (nog) lekkage? Hoeveel stof is vrijgekomen en/of hoeveel komt er nog vrij? Controleer de vullingsgraad van de tank(wagen).
- d. De richting van de uitstroom en de aard van het bedreigde gebied. Waar blijft de stof? Is er een koudgekookte plas?
- e. Aard en omvang van een evt. brand en de mate van aanstraling van object/installatie(onderdelen). Wat brandt er (het gas of de omgeving)?

Risico's en ontwikkelingen

- a. Ontstaan van brand
- b. Ophoping van gassen
- c. Versnelde drukopbouw
- d. Wat gebeurt er als afblaasveiligheid in werking treedt?
Wat is de afblaasrichting?

Deskundigheid

- a. Alarmeer/informeer OvD en AGS
- b. Leveranciers gassen
Linde: 010 – 246 16 16, Air Products: 020 – 435 35 35
- c. Chauffeur, exploitant: gebruik gevarenkaart vervoerder
- d. LIOGS: 010 – 246 86 42

Maatregelen en dilemma's

- a. Ontruimen: bij dreiging van catastrofaal falen van een container of ander insluitsysteem 500 meter rondom ontruimen en volledig beschermde hulpverleners op minimaal 100 meter, bij voorkeur 350 meter.
- b. Redden: redden of bevrijden van 1 slachtoffer vs. ontruimen omgeving en daarmee voorkomen van veel meer slachtoffers
- c. Koelen: temperatuur koelwater vs. te koelen object (voorkom ongewenst opwarmen), worplengte vs. veilige afstand, inzet personeel vs. ontruimen, bereikt koelwater het te koelen object?, voldoende water/koelcapaciteit, mogelijk dichtvriezen veiligheden.
- d. Stabiliseren: gastoevoer stoppen vs. veilige afstand, opvangen of omleiden gas, indammen en afdekken plas vs. gecontroleerd laten verdampen.
- e. Blussen: gasbrand NIET blussen, na blussen ontstaat ontvlambare gaswolk! Branden in omgeving wel blussen.

Vuistregels

- a. Zichtbare wolk: wat je ziet is gecondenseerd vocht uit de lucht, wat je ziet is afhankelijk van temperatuur gas, temperatuur buitenlucht en luchtvochtigheid. Gassen zelf zijn niet zichtbaar, behalve chloor en stikstofdioxide.
- b. Zichtbare gaswolk/nevel = ONVEILIG gebied (100%LEL of boven AGW) ⇒ explosiegevaarlijk gebied kan groter zijn!
 - blijf op minimaal 2x de afstand van de zichtbare wolk of houd minimaal 25 meter afstand tot de wolk
 - blijf meten met explosiegevaarmeter, CO-meter en controleer met warmtebeeldcamera (je ziet en ruikt het niet)!
- c. Signalen voor opwarmen van de tank: toenemen hoeveelheid gas dat uitgestoten wordt via afblaasveiligheden (hoger wordende fluittoon), frequentie van afblazen of afblaasduur. Als afblaasveiligheid open blijft ⇒ TERUGTREKKEN!
En omgekeerd, signalen voor het effect van koelen: afname van hoeveelheid gas uit afblaasveiligheden (lager wordende fluittoon), lagere frequentie en kortere duur. Daarnaast zal bij goede koeling de afblaasveiligheid weer sluiten: wel blijven koelen tot normale temperatuur bereikt is.

Bijlage 5

Protocolkaarten

Brandweer Nederland

LNG → Liquefied Natural Gas

LBG → Liquefied Biogas

Algemeen

- Controleer opstart OGS-procedure
- Deskundigen raadplegen: chauffeur, LIOGS, Rolande LNG
- Controleer of er lekkage is
- Controleer of er een koudkokende plas is
- Publiek op afstand laten houden (>100 m)
- Laat omgeving waarschuwen en evacueer indien nodig
- Ontstekingsbronnen verwijderen
- Stel gevarezone vast
- Snelle redding is nodig i.v.m. kans op verstikking en bevroering
- Huidcontact met vloeistof behandelen als brandwonden

Lekkage gas / lekkage vloeistof:

- Gaswolk laten opstijgen en opmengen door inzet van waterschermen/-stralen
- Geen water of schuim op koudkokende plas LNG
- Zichtbare begrenzing gaswolk is globaal ook contour 100% LEL

Gas-/fakkelfbrand:

- LNG-gasbrand niet blussen
- Omgeving koelen; bestrijd mogelijke effecten

Plasbrand:

- Plasbrand niet blussen maar temperen met lichtschuim indien beschikbaar (plas brandt zeer snel af)
- Omgeving koelen binnen een afstand van 5 x de straal van de plas; bestrijd mogelijke effecten.
- Kleine LNG-plasbrand: blussen met poeder

Aanstraling reservoir door brand:

- Inzet van waterscherm tussen brand en reservoir

Veilig optreden

- Gebruik uitrukkleding + adembescherming
- Gebruik de explosiegevaarmeter
- Uitlezen stationaire meetapparatuur (druk en temperatuur)
- Warmtebeeldcamera
- Bij vrijkomen in besloten ruimte, naastgelegen ruimten ontruimen

Gevaarlijke situaties

- Vrijkomen Boil off gas (BOG) uit afblaasveiligheid (is normaal fenomeen bij LNG-tanks, duurt ca. 2 min. veilige afstand is 10 m)
- Gas met lucht zeer brandgevaarlijk
- LNG-brand geeft veel hittestraling
- Geen water op afblaasveiligheid of verdamper spuiten!
- Voorkom het inblokken van de afblaasveiligheid door bv. dichtvriezen.
- Bij beschadiging van de drukhouder kans op scheuren / explosie
- Contact met cryogene vloeistof → brandwonden / bevroering
- Vloeistofplas verdampt tot brandbare gaswolk (kleur- en reukloos)
- Verstikkend in hoge concentraties
- Bij lekkage van vloeistof, kans op materiaalbroosheid van installaties (en dus escalatie)
- Bij beschadiging tank: wegvallen vacuüm / vrijkomen wit poeder (perliet) waardoor versnelde opwarming en afblazen gas

Bijzonderheden

- Noodzaak voor snel extra materieel en kennis
- LNG wordt gebruikt als brandstof voor vervoermiddelen en als vervoerde lading
- Stationair gebruik in opslagtanks, tankstations en bunkerstations
- Een zichtbare condenswolk hoeft niet altijd LNG te bevatten (laden en lossen)

Blusinstallatie / voorzieningen

- Vacuüm tussen binnen- en buitentank
- Afblaasveiligheid is om de lage temperatuur te behouden en is tevens overdrukbeveiliging → Boil Off Gas (BOG)
- Tankconstructie biedt hoge passieve veiligheid tegen aanstraling

Fysische eigenschappen LNG / LBG

Productidentificatie

Handelsnaam:	Vloeibaar Gemaakt Aardgas (diep gekoeld), LNG, LBG			
Chemische omschrijving :	Methaan (diep gekoeld)			
GEVI: 223	UN: 1972	CAS-nr. :74-82-8	ERIC: 2	Chemische formule : CH ₄
Kookpunt:	-162 C			
Explosiegrenzen :	5,0 - 15,0 vol%			
Zelfontbranding:	595 C			
Kritische temperatuur:	-83			
Kritische druk:	46 Bar			
Rel. dichtheid gas (20 C):	0,6			
Rel. dichtheid Boil Off Gas:	1,2			
T < -110 °C: LNG-damp is zwaarder dan lucht				
T -100 °C: LNG-damp is even zwaar als lucht				
T > -100 °C: LNG-damp is lichter dan lucht				

Algemeen

Relevant gebruik:	Brandstof
Grote risico's:	Risico's op brand / explosie en product onder hoge druk
Toxiciteit:	Asfyxiërend (verstikkend)
Materiële gevaren :	Gas onder druk - sterk gekoeld vloeibaar gas
Kleur :	Kleurloze vloeistof.
Geur :	Geen geur-waarschuwingsskenmerken.
Chemische stabiliteit:	Stabiel onder normale omstandigheden.

Het morsen van vloeistof kan verbrossing van structuurmaterialen tot gevolg hebben.

EHBO

Inademing :	Verplaats het slachtoffer naar een onbesmette ruimte en gebruik adembescherming en explosiegevaarmeter. Houd het slachtoffer warm en rustig. Waarschuw een arts. Pas kunstmatige beademing toe zodra de ademhaling ophoudt. Kan verstikking veroorzaken in hoge concentraties.
Contact met de huid :	Bij bevriezing minimaal 15 minuten met water sproeien. Breng een steriel verband aan. Behandel als brandwonden. Zorg voor medische hulp.
Oogcontact :	Spoel de ogen onmiddellijk en grondig met water gedurende minimaal 15 minuten. Direct medische hulp noodzakelijk.

Brandbestrijdingsmaatregelen

Blusmiddelen:	In principe brand niet blussen maar omgeving nathouden.
Speciale gevaren:	Langdurige blootstelling aan vuur kan de houder doen scheuren of exploderen (BLEVE).
Verbrandingsproducten :	Koolmonoxide, kooldioxide (nauwelijks NO _x)
Specifieke acties :	Voorkom brandoverslag naar aangrenzende ruimten. Blokkeer de gasstroom niet. In geval van lekkage, sproei geen water op de houder. Hou de omgeving nat vanuit een veilige positie. Tracht de uitstroming te stoppen. Draag ademluchtapparatuur tenzij aangetoond is dat de atmosfeer veilig is. Evacueer de omgeving. Gebruik specifieke beschermende kleding bij uitstroom vloeistof. Zorg voor voldoende ventilatie. Verhinder het binnendringen in rioleringen, kelders, werkputten en elke plaats waar ophoping gevaarlijk kan zijn.

**Fysische eigenschappen LNG (Liquefied Natural Gas)**

- UN 1972/ GEVI 223
- Methaan (CH₄)
- -162°C
- 1 liter LNG= 0,5 kg. (1 liter LNG= 800 liter aardgas)
- **Geur- en kleurloos**
- Explosiegrens 5- 15,8%

RISICO'S LNG

- **Zeer brandbaar** gas (methaan)
- **Zeer lage temperaturen** (kans op brandwonden en bevrozing omgeving)
- LNG-gas is bij vrijkomen zwaarder dan lucht (let op ondergrondse kolken/ riolen waar LNG in kan ophopen)
- Kans op **explosiegevaar bij besloten omgeving** (LET OP: parkeergarages, werkplaatsen en tankstations etc.)
- **Verstikkend** in hoge concentraties (slachtoffer naar frisse lucht en reanimeren)
- Opgewarmd gas is niet meer zichtbaar (wolk is niet meer zichtbaar als witte damp)

KENMERKEN LNG-INCIDENTEN

- Houd rekening met kans op laag hangend gas op grote afstand
- De (zichtbare) wolk is afhankelijk van temperatuur LNG en omgevingsfactoren zoals temperatuur buitenlucht en luchtvochtigheid
- LNG heeft lage temperaturen -162 graden (bevrozingsletsel en effecten constructieonderdelen (broos worden))
- LNG is reukloos en kleurloos (zichtbaar door witte mist door condenseren van de omliggende lucht)

VEILIG OPTREDEN

- Start **OGS procedure** i.v.m. explosiegevaar en onbekend (groot) effectgebied (opstellijn en blijf bovenwinds)
- Draag volledige uitrukkleding, inclusief adembescherming
- Maak **ALTIJD** gebruik van een explosiegevaarmeter en warmtebeeldcamera (zichtbaar maken kou en gaswolk)
- Blijf bovenwinds (let op aflopend terrein) en kom **NIET** in contact met de vloeistof/gaswolk
- Mobiele telefoons, portofoons, piepers etc. alleen in veilig gebied gebruiken
- Indien nodig: gebruik vonkvrij gereedschap (ATEX gecertificeerd)

WERKWIJZE BIJ LNG-INCIDENTEN

- LNG brand NIET blussen, waar nodig koelen (voorkom dat water in contact komt met LNG!!)
- Huidcontact met stof behandelen als brandwond
- Voorkom contact van afblaasveiligheid met water i.v.m. dichtvriezen
- Alarmeer /ontruim de omgeving tot ruime afstand
- Let op ontstekingsbronnen in de omgeving (bijv. auto's)
- Alarmeer exploitant of eigenaar voertuig/tankstation
- Neem contact op met OvD/AGS
- Informeer bij het **LIOGS 010-2468642**
- **Controleer bij alle soorten tanks de vullingsgraad**, i.v.m. risico inschatting

**KENMERKEN LNG-SCENARIO'S****Scenario 1: afblazen van een LNG-tank**

- Bij een te hoge druk in een tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid
- Kenmerkend is een piepend of grommend geluid (soms voorkomend fakkel)
- Voorkomend bij opbouw druk in een tank als gevolg van weinig gebruik of onvoldoende koelend vermogen
- **Optreden:** veiligstellen omgeving (meten explosiegevaar en ontruimen), na sein veilig: overdracht
- LNG- procedure: brandstoftank, bunkering, tankwagen, tankstation en laden & lossen

Scenario 2: aanstraling van een LNG-tank (ander type brand dan LNG)

- Als gevolg van een brand in de omgeving kan een installatie of tank met LNG worden aangestraald
- Er kan door de aanstraling een incident met LNG ontstaan (escalatie). Zoals bij een tank of installatiedeel bij een bunkerstation of tankstation
- Opwarming van LNG-installaties zorgt voor drukverhoging in dat betreffende deel/tank (**kans op BLEVE!!**)
- Koeling van dergelijke installaties/tank is mogelijk met water zolang er GEEN LNG-lekkage is
- **Optreden:** koelen omgeving/voorkomen escalatie, brand LNG NIET blussen (koeling LNG-tank conform LPG)
- LNG- procedure: brandstoftank, bunkering, tankwagen, tankstation en laden & lossen

Scenario 3: LNG-lekkage

- Als gevolg van een aanrijding/foute bediening etc. ontstaat er een lek van LNG
- Dit kan leiden tot diverse situaties (wel/ geen brand) met verschillende gevolgen
- De grootte van het incident verschilt per locatie waar het incident zich voordoet
- **Optreden:** voorkomen brand/voorkomen escalatie, opmengen gaswolk met (straat)waterkanon
- LNG- procedure: brandstoftank, bunkering, tankwagen, tankstation en laden & lossen

Scenario 4: LNG-brand (fakkelbrand en plasbrand)

- Als gevolg van een lekkage van LNG ontstaat een brand
- Deze kan zich in de gasfase (fakkelbrand) of vloeistoffase (plasbrand) voordoen
- **Optreden:** koelen omgeving/voorkomen escalatie, LNG-brand NIET blussen
- LNG- procedure: brandstoftank, bunkering, tankwagen, tankstation en laden & lossen

Scenario 5: beschadigde LNG-tank als gevolg van ongeval (externe invloed)

- Als gevolg van een aanrijding of botsing ontstaat een beschadiging aan een tank met LNG
- Er kunnen meerdere soorten beschadigingen zijn. Zichtbaar, maar ook onzichtbaar.
- Herken beschadigingen (deuken, breuken in isolatie of verdwenen vacuüm)
- Bij dergelijke scenario's vindt GEEN lekkage van LNG plaats.
- **Optreden:** veiligstellen tank en omgeving, ondersteunen berging/THV en overdracht aan exploitant.
- LNG- procedure: brandstoftank, bunkering, tankwagen, tankstation

**RISICO'S LNG**

- **Zeer brandbaar** gas (methaan)
- **Zeer lage temperaturen** (kans op brandwonden en bevrozing omgeving)
- LNG-gas is bij vrijkomen zwaarder dan lucht (let op ondergrondse kolken/ riolen waar LNG in kan ophopen)
- Kans op **explosiegevaar bij besloten omgeving**
- **Verstikkend** in hoge concentraties (slachtoffer naar frisse lucht en reanimeren)
- Opgewarmd gas is niet meer zichtbaar (wolk is niet meer zichtbaar als witte damp)
- Bij **beschadiging isolatie** kans op escalatie incident (zoals lekkage/BLEVE tankwagen)
- Kou heeft effect op de tankwagen (bij beschadiging isolatie warmt tank zeer snel op), lek = zichtbaar aan damp!
- LNG-tankwagen is **drukhouder** (vervoer LNG op 2 bar, stilstand loopt dit op tot 8 bar)

BESTRIJDING LNG-SCENARIO'S**Mogelijke hulpmiddelen:**

- Warmtebeeldcamera
- Explosiegevaarmeter
- IR temperatuurmeter (AGS)

Alarmeer te allen tijde hulp voor LNG-ongevallen (LIOGS, 010- 2468642)

Scenario: afblazen van tankwagen

Bij een te hoge druk in de tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid (soms fakkel)

- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- Eventueel vuur niet blussen, fakkel rustig laten afblazen
- Omgevingsbranden afblussen

Scenario: aanstraling van tankwagen (ander type brand dan LNG)

- Brand bij het reservoir/tank blussen
- Omgeving afschermen (tank koelen conform standaard LPG-tank)
- Voorkom bevrozing van de afblaasveiligheid
- Houd rekening met gevaar voor BLEVE (bij langdurige aanstraling)

Scenario: lekkage tankwagen

- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- Lek kan zowel in de gas- als vloeistoffase plaatsvinden
- Voorkom brand & **verdun gaswolk** met water (LNG niet in contact laten komen met water)

Scenario: LNG-brand (Fakkelbrand en Plasbrand)

- Druk indien mogelijk noodknop
- LNG brand niet blussen
- Omgeving koelen

Scenario: gekantelde tankwagen

- Bepaal gevolgen van het incident: lekkage, (on)veilig gebied, risico's t.b.v. lekkage en afblazen
- Onderneem actie wanneer isolatie beschadigd is (tank warmt snel op; zichtbaar aan witte damp)
- Controleer op aanwezigheid brand en treedt op conform procedure (water t.b.v. opmengen gaswolk)
- Stel veilig gebied vast en verleen ondersteuning bij berging/THV
- Controleer afblaasveiligheid en let op mogelijkheid verplaatsen emissiepunt (t.b.v. veilig werken THV)



SITUATIESCHETS



Afblaasventiel tankwagen



LNG-losslang



LNG-tankwagen, met bedieningskast achterop



LNG-tankwagen, met bedienings aan zijkant

ACHTERGRONDINFORMATIE

- Er bestaan **diverse uitvoeringen** van tankwagens
- Belangrijkste verschillen zijn:
 - Locatie bedieningskast. Deze kan aan de zijkant of achterop de tank bevinden.
 - Inhoud tankwagen (variërend van 10- 30 m³)
- Afblaasveiligheden zijn meerledig: deze zijn veelal direct op de tank aanwezig
- Vraag bij een incident te allen tijde de **vullingsgraad**. Dit i.v.m. de risico-inschatting op escalatie
- LNG-tankwagens lijken sterk op LPG wagens. GEVI codering: 223, 1972

**RISICO'S LNG**

- **Zeer brandbaar** gas (methaan)
- **Zeer lage temperaturen** (kans op brandwonden en bevrozing omgeving)
- LNG-gas is bij vrijkomen zwaarder dan lucht (let op ondergrondse kolken/ riolen waar LNG in kan ophopen)
- Kans op **explosiegevaar bij besloten omgeving**
- **Verstikkend** in hoge concentraties (slachtoffer naar frisse lucht en reanimeren)
- Opgewarmd gas is niet meer zichtbaar (wolk is niet meer zichtbaar als witte damp)
- Vaak meerdere voertuigen/personen aanwezig
- Voertuigen rijden vaak op combinaties van brandstoffen

BESTRIJDING LNG-SCENARIO'S**Mogelijke hulpmiddelen:**

- Warmtebeeldcamera
- Explosiegevaarmeter
- IR temperatuurmeter (AGS)
- Overdrukventilator

Scenario: afblazen LNG-opslagtank/ tankwagen

Bij een te hoge druk in de tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid (soms fakkel)

- Noodknop indrukken, systeem slaat dan volledig uit systeem blijft wel afblazen (mechanische veiligheid)
- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- **Ventileer besloten ruimtes i.v.m. explosiegevaar!**
- Eventueel brandende veiligheid niet blussen, fakkel rustig laten afblazen, omgevingsbranden wel afblussen

Scenario: beschadigde opslagtank als gevolg van ongeval (externe invloed)

- Alarmeer exploitant en het landelijke steunpunt voor LNG ongevallen (**LIOGS, 010- 2468642**)
- Bepaal aard van de beschadiging (lekkage, kans op versnelde drukopbouw etc.)
- Controleer (on)veilig gebied en risico's t.b.v. ontwikkeling incident
- Stel veilig gebied vast en verleen ondersteuning bij berging/THV. Let op mogelijkheid verplaatsen emissiepunt

Scenario: aanstraling van andere installatie(onderdelen) (ander type brand dan LNG)

- Druk noodknop in t.b.v. noodvoorzieningen (afblaasvoorziening en stoppen bunkering)
- Brand bij de installatieonderdelen met LNG blussen
- Omgeving afschermen (koelen aangestraalde delen) **voorkom bevrozing van de afblaasveiligheid**
- Onderzoek beschadigingen van de aangestraalde delen (ontbreken vacuüm)
- Houd rekening met gevaar op BLEVE (bij langdurige aanstraling)

Scenario: LNG-lekkage

- Bepaal grootte van de lekkage en het (on)veilige gebied (met explosiegevaarmeter)
- Lek kan zowel in de gas- als vloeistoffase plaatsvinden
- Voorkom verdere uitstroom LNG en ontstaan brand
- Verdun eventuele gaswolk met water (LNG niet in contact brengen met water)

Scenario: LNG-brand (Fakkelbrand en Plasbrand)

- LNG brand niet blussen
- Omgeving koelen



SITUATIESCHETS



Opslagtanks met vulinstallatie



Herkenbaarheid van LNG & contactgegevens exploitant in de nabijheid van opslagtank



Afblaaspijp afleverinstallatie



Afleverzuil met noodknop



Aansluiting aflever slang op tank

ACHTERGRONDINFORMATIE

Tankstations zijn uitgevoerd conform PGS 33. De veiligheidseisen zijn daarom gelijk, alleen de opbouw kan verschillen!
Houd rekening met wisselende omgeving (gevaar beslotenheid) en hoeveelheden opgeslagen LNG.

Vrachtwagens & bussen op LNG

- Vaak een combinatie van LNG met andere brandstoffen zoals diesel of CNG. (inhoud varieert)
- Vrachtwagens die op LNG rijden zijn Iveco, Scania, Mercedes en Volvo

**RISICO'S LNG**

- **Zeer brandbaar** gas (methaan)
- **Zeer lage temperaturen** (kans op brandwonden en bevriezing omgeving)
- LNG-gas is bij vrijkomen zwaarder dan lucht (let op ondergrondse kolken/ riolen waar LNG in kan ophopen)
- Kans op **explosiegevaar bij besloten omgeving**
- **Verstikkend** in hoge concentraties (slachtoffer naar frisse lucht en reanimeren)
- Opgewarmd gas is niet meer zichtbaar (wolk is niet meer zichtbaar als witte damp)
- Vaak meerdere personen aanwezig
- Voertuigen rijden vaak op combinaties van brandstoffen

KENMERKEN LADEN EN LOSSEN

- Tankwagen vult een opslagtank (aan de wal) of een brandstoftank van een schip
- Kan op veel locaties plaatsvinden (tankstations, bunkerstations en mobiele locaties in openbaar gebied)
- Er zijn diverse veiligheidsinrichtingen ingebouwd om losproces bij lekkage direct te kunnen stoppen

- Verpompen van LNG is herkenbaar aan een **duidelijk hoorbaar geluid** uit tankwagen (hoog/ monotoon)
- Tijdens verpomping is sprake van **witte mist** op diverse locaties. O.a. onder tankwagen, bij losslang en locatie van het bedieningspaneel

Het geluid en witte mist zijn normaal in het laad- en los proces. Onderzoek bij een melding van een incident door voorbijgangers eerst of daadwerkelijk sprake is van LNG-lekkage!!
Dit kan d.m.v. van meten met een explosiegevaarmeter.

BESTRIJDING LNG-SCENARIO'S**Mogelijke hulpmiddelen:**

- Warmtebeeldcamera
- Explosiegevaarmeter
- IR temperatuurmeter (AGS)
- Overdrukventilator

Alarmeer te allen tijde hulp voor LNG-ongevallen (LIOGS, 010-2468642)

Scenario: afblazen LNG-opslagtank/ tankwagen

Bij een te hoge druk in de tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid (aanwezig bij spoiler cabine)

- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- **Ventileer besloten ruimtes i.v.m. explosiegevaar!**
- Eventueel brandende veiligheid niet blussen, fakkel rustig laten afblazen, omgevingsbranden wel afblussen

Scenario: aanstraling van andere installatie(onderdelen) (ander type brand dan LNG)

- Druk noodknop in t.b.v. noodvoorzieningen (afblaasvoorziening en stoppen bunkering)
- Brand bij de opslagtank/ tankwagen blussen
- Omgeving afschermen (koelen aangestraalde delen) **voorkom bevriezing van de afblaasveiligheid**
- Onderzoek beschadigingen van de aangestraalde delen (ontbreken vacuüm)
- Houd rekening met gevaar op BLEVE (bij langdurige aanstraling)

Scenario: LNG-lekkage (losslang/ opslagtank/ tankwagen)

- Druk indien mogelijk noodknop in. Systeem stopt met verpompen
- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- Lek kan zowel in de gas- als vloeistoffase plaatsvinden
- Voorkom brand en verdun eventuele gaswolk met water (LNG niet in contact brengen met water)



Scenario: LNG Brand (Fakkelbrand en Plasbrand)

- Druk indien mogelijk noodknop in
- LNG brand NIET blussen
- Omgeving koelen (zorg dat water NIET in contact komt met de LNG-brand)

SITUATIESCHETS



Afblaaspijp tankwagen



LNG-losslang



LNG-tankwagen, met bedieningskast achterop



LNG-tankwagen, met bedienings aan zijkant



IJsvorming op de leidingen en slangen door de LNG-verlading

**RISICO'S LNG**

- **Zeer brandbaar** gas (methaan)
- **Zeer lage temperaturen** (kans op brandwonden en bevriezing omgeving)
- LNG-gas is bij vrijkomen zwaarder dan lucht (let op ondergrondse kolken/ riolen waar LNG in kan ophopen)
- Kans op **explosiegevaar bij besloten omgeving**
- **Verstikkend** in hoge concentraties (slachtoffer naar frisse lucht en reanimeren)
- Opgewarmd gas is niet meer zichtbaar (wolk is niet meer zichtbaar als witte damp)
- Vaak meerdere voertuigen/personen bij voertuig aanwezig
- Voertuigen rijden vaak op **combinaties van brandstoffen**
- Kans op versneld afblazen of falen brandstoftank bij uitwendige beschadiging (verlies vacuüm)
- Tanks zijn **drukhouders (9- 20 bar)** met sterk gekoeld aardgas

KENMERKEN LNG-TANKS

- Vrachtwagens en bussen zijn **niet herkenbaar** als LNG- aangedreven (tanks geheel rond of soort 'dieseltank')
- Brandstoftanks zijn vaak geplaatst aan de zijkant van de vrachtwagen (of geheel ingebouwd)
- Herkenbaarheid: afblaasleidingen/ventielen, vulpunt op voorkant tank, drukmeters & duidelijke stickers
- De maximale inhoud van één brandstoftank is +/- 600 liter vloeibaar LNG (=300 kg.)

BESTRIJDING LNG-SCENARIO'S**Mogelijke hulpmiddelen:**

- Warmtebeeldcamera
- Explosiegevaarmeter
- IR temperatuurmeter (AGS)
- Overdrukventilator

Scenario: afblazen LNG-brandstoftank

Bij een te hoge druk in de tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid (aanwezig bij spoiler cabine)

- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- **Ventileer besloten ruimtes i.v.m. explosiegevaar!**
- Eventueel brandende veiligheid niet blussen, fakkel rustig laten afblazen, omgevingsbranden wel afblussen

Scenario: beschadigde brandstoftank als gevolg van ongeval (externe invloed)

- Alarmeer exploitant en het landelijke steunpunt voor LNG ongevallen (**LIOGS, 010- 2468642**)
- Bepaal aard van de beschadiging (lekkage, kans op versnelde drukopbouw etc.)
- Controleer (on)veilig gebied en risico's t.b.v. ontwikkeling incident
- Stel veilig gebied vast en verleen ondersteuning bij berging/THV. Let op **mogelijkheid verplaatsen emissiepunt**

Scenario: aanstraling van de brandstoftank (ander type brand dan LNG)

- Druk noodknop in t.b.v. noodvoorzieningen (afblaasvoorziening)
- Onderzoek beschadiging van tank (ontbreken vacuüm)
- Blus brand bij het reservoir/tank en koel indien nodig de brandstoftank
- Voorkom bevriezing van de afblaasveiligheid
- Houd rekening met gevaar voor BLEVE (bij langdurige aanstraling)

Scenario: lekkage brandstoftank

- Bepaal (on)veilig gebied met explosiegevaarmeter
- Lek kan zowel in de gas- als vloeistoffase plaatsvinden
- Voorkom uitstroom LNG en ontstaan brand
- Verdun eventuele gaswolk met water (LNG niet in contact brengen met water) **Z.O.Z**

**Scenario: LNG-brand (Fakkelbrand en Plasbrand)**

- LNG brand niet blussen
- Omgeving koelen

SITUATIESCHETS

LNG-tank, aan zijkant van vrachtwagen. In het linker deel (onder klep en leidingen) zitten nog één of meerdere afblaasventielen



1. Aansluiting voor de LNG slang (tanken)
2. Drukontlasting voor bij het tanken
3. Leiding richting afblaaspijp
4. Leiding richting motor



Specificaties van de LNG-tank en contactgegevens exploitant staan op de brandstof tank



Afblaaspijp vrachtwagen

ACHTERGRONDINFORMATIE**Vrachtwagens en bussen op LNG**

- Vaak een combinatie van LNG met andere brandstoffen zoals diesel of CNG. (inhoud varieert)
- Vrachtwagens die rijden op LNG (Iveco, Scania, Mercedes en Volvo)
- Afblaasveiligheden zijn meerledig: zowel direct op de tank als bovenin bij spoiler
- Locatie van de brandstoftank is nu nog aan de zijkant. In toekomst mogelijk ingebouwd
- Bij twijfel over brandstof van het voertuig: raadpleeg Crash Recovery
- Draag incident over aan exploitant/ eigenaar indien gevaar is geweken en voor brandweer weinig mogelijk is

Tot op heden rijden alleen vrachtwagens & bussen op LNG. Personenvoertuigen voorlopig nog NIET!!