



## Rekenmethodiek LNG-tankstations

Versie 1.0.2  
25 april 2017

### Disclaimer:

*Dit document beschrijft de interim-rekenmethodiek voor LNG-tankstations. Deze rekenmethodiek is tot stand gekomen na overleg met inhoudelijk deskundigen. Deze rekenmethodiek is vastgesteld door de directeur IenM-V&R, en kan op termijn worden voorgeschreven.*

*Het gebruik van deze rekenmethodiek is nog niet voorgeschreven. Wij bevelen aan bij het uitvoeren van een QRA rekening te houden met deze nieuwe inzichten, ter voorkoming van knel- of aandachtspunten na invoering van de vastgestelde interim-rekenmethodiek.*

### Erratum d.d. 25 april 2017:

*Ten opzicht van de versie 1.0.1 van 2 februari 2015 is de tekst bij P.1 in tabel 9 aangepast ('ingrijpen operator' is vervangen door 'automatisch ingrijpen').*

## Colofon

© RIVM

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

### Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu  
Centrum Veiligheid  
safeti-nl@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Rekenmethodiek LNG-tankstations.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>SCENARIO'S VERLADING LNG.....</b>	<b>5</b>
1.1	SCENARIO'S INTRINSIEK FALEN TANKAUTO.....	5
1.2	SCENARIO'S FALEN TANKAUTO TEN GEVOLGE VAN BRAND.....	5
1.3	SCENARIO'S FALEN TANKAUTO TEN GEVOLGE VAN EXTERNE BESCHADIGING .....	7
1.4	SCENARIO'S FALEN POMP OP DE TANKAUTO .....	8
1.5	SCENARIO'S FALEN LOSSLANG OF LOSARM.....	9
1.6	SCENARIO'S FALEN VULLEIDING .....	10
<b>2</b>	<b>SCENARIO'S OPSLAG EN BUFFERING LNG .....</b>	<b>12</b>
2.1	SCENARIO'S FALEN OPSLAGVAT .....	12
2.2	SCENARIO'S FALEN BUFFERVATEN.....	12
2.3	SCENARIO'S FALEN POMPEN EN WARMTEWISSELAAR .....	12
2.4	SCENARIO'S FALEN LNG-LEIDINGEN .....	15
<b>3</b>	<b>SCENARIO'S AFLEVERING LNG .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>ADDITIONELE SCENARIO'S CNG INSTALLATIE.....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>INVOERPARAMETERS SAFETI-NL.....</b>	<b>18</b>
<b>BIJLAGE 1</b>	<b>BESCHRIJVING LNG-TANKSTATIONS.....</b>	<b>20</b>
<b>BIJLAGE 2</b>	<b>VOORBEELDBEREKENINGEN EFFECTIEVE LEIDINGDIAMETER....</b>	<b>25</b>
<b>BIJLAGE 3</b>	<b>BEPALING EQUIVALENTE LEIDINGLENGTE .....</b>	<b>30</b>
<b>BIJLAGE 4</b>	<b>VERANTWOORDING .....</b>	<b>32</b>
<b>BIJLAGE 5</b>	<b>REFERENTIE TANKSTATION.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENTIES.....</b>		<b>39</b>

## Inleiding

In deze notitie is de rekenmethodiek voor een referentie LNG-tankstation beschreven. Bijlage 1 geeft een beschrijving van LNG tankstations, Bijlagen 2 en 3 beschrijven hoe de effectieve leidingdiameter en equivalente leidinglengte te berekenen, Bijlage 4 geeft een verantwoording van de gemaakte keuzes en Bijlage 5 geeft een overzicht van het referentie tankstation.

De rekenmethodiek is opgezet volgens de rekenmethodiek voor LPG-tankstations [1]. Bij afwijkingen van de methodiek LPG tankstations is dit expliciet vermeld. Verder volgt de methodiek de door de Regeling externe veiligheid inrichtingen (REVI) voorgeschreven handleiding [2]. Aanname is dat het LNG-tankstation voldoet aan het gestelde in de PGS33-1 [3]. Bij de methodiek hoort ook een spreadsheet om de PSU file voor SAFETI-NL te genereren.

Wanneer bij de hierna gepresenteerde scenario's keuzemogelijkheden aanwezig zijn, zijn de scenario's van het referentie tankstation grijs gekleurd.

Voor het LNG-tankstation moeten scenario's meegenomen worden voor de volgende activiteiten:

- de verlading (=lossing) van LNG naar het opslagvat
- de opslag
- de buffering (=conditionering) van LNG
- de aflevering van LNG
- de levering van CNG (indien van toepassing).

## 1 Scenario's verlading LNG

### 1.1 Scenario's intrinsiek falen tankauto

De scenario's voor het intrinsiek falen van de tankauto zijn samengevat in Tabel 1. Voor de referentieanalyse is gekozen voor een tankinhoud van 40 m<sup>3</sup>, een jaaromzet van 5.000 m<sup>3</sup> en een verlaaddebiet van 500 l/minuut. Dit resulteert in een totale verladingduur van 166,7 uur<sup>1</sup> en een aanwezigheidsduur van 250 uur [4]<sup>2</sup>. In de rekenfile kan gekozen worden voor een andere tankinhoud en jaaromzet.

Tabel 1 Scenario's voor de LNG-tankauto.

Scenario	Basisfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )	Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )
T1: tankauto - instantaan falen	$5 \times 10^{-7}$	250/8766	$1,4 \times 10^{-8}$
T2: tankauto – grootste aansluiting	$5 \times 10^{-7}$	250/8766	$1,4 \times 10^{-8}$

Opmerkingen:

- Voor de inhoud van de tankauto wordt uitgegaan van een maximale vulgraad van 95% bij een insteldruk van de veerveiligheid van 10 bara.
- Voor het vervolgsenario BLEVE bij het instantaan falen wordt bij een dubbelwandige tankauto geen verhoogde barstdruk gedefinieerd, bij de enkelwandige tankauto moet de barstdruk op 1,21 maal de insteldruk van de veerveiligheid gezet worden.

### 1.2 Scenario's falen tankauto ten gevolge van brand

Een BLEVE van een aanwezige tankauto kan ontstaan ten gevolge van brand tijdens de verlading en ten gevolge van brand in de omgeving. Tijdens verlading kan een langdurige lekkage van LNG ontstaan; bij ontsteking kan dit uiteindelijk tot een BLEVE van de tankauto kan leiden (HRB<sup>2</sup> paragraaf 3.15). Het scenario en de frequentie zijn gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 BLEVE-scenario van de dubbelwandige LNG-tankauto ten gevolge van een brand tijdens verlading.

Scenario	Basisfrequentie (uur <sup>-1</sup> )	Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )
B1: BLEVE tankauto	$5.8 \times 10^{-10}$	166,7 × 0.05	$4,8 \times 10^{-9}$

Opmerkingen:

- De BLEVE wordt gemodelleerd als een warme BLEVE met barstdruk 11,1 barg (1,21 maal de insteldruk van het veiligheidsventiel).

<sup>1</sup> Dit is een afwijking t.o.v. de LPG-rekenmethodiek waar 35 uur verlading wordt aangehouden voor 1000 m<sup>3</sup>. Het precieze aantal verladingen is afhankelijk van de hoeveelheid LNG die gemiddeld wordt overgeslagen. Uitgaande van bijvoorbeeld 30m<sup>3</sup> is het aantal verladingen voor een doorzet van 5000m<sup>3</sup> per jaar gelijk aan 167. (Geen 40m<sup>3</sup> omdat er een rest LNG in het opslagvat dient te blijven en rekening gehouden moet worden met het uitzetten van de LNG bij opwarming in de tank).

Het precieze aantal verladingen is echter niet relevant voor de risicoanalyse, omdat alle faalfrequenties zijn gebaseerd op de totale aanwezigheidsduur en op het verlaaddebiet en niet op de overslag per verlading.

<sup>2</sup> Conform de LPG-rekenmethodiek bedraagt de aanwezigheid van de tankauto 45 minuten bij een verlading van 30 minuten [4]. De hierin afgeleide kansen voor BLEVE door brand in de omgeving (Tabel 4) en door externe beschadiging (Tabel 6) die gegeven worden in de LPG rekenmethodiek gelden echter per 50 uur aanwezigheid.

- In de rekenfile dient op aangegeven van het bevoegd gezag<sup>3</sup> te worden gekozen tussen:
  - o Een enkelwandige LNG tankauto waarvoor de scenario's van de ongecoate LPG tankauto (=standaard) gelden.
  - o Een dubbelwandige LNG tankauto waar voor de scenario's falen ten gevolge van brand is aangesloten bij de kans van een gecoate LPG tankauto (reductiefactor 0,05).

De frequentie van een brand in de omgeving van een tankauto is afhankelijk van een aantal toetsingsafstanden (Tabel 3) en wordt afgeleid uit tabel 4.

*Tabel 3 Toetsingsafstanden vanaf het vulpunt ten opzichte van een aantal objecten.*

Nr	Object	Toetsingsafstand (m)
1	LNG / LPG afleverzuil	17,5
2	Benzine afleverzuil	5
3	Opstelplaats benzine tankauto	25
4	Gebouw zonder brandbescherming	
	- hoogte < 5 m	10
	- 5 m < hoogte < 10 m	15
	- hoogte > 10 m	20
	Gebouw met brandbescherming (en maximaal 50% gevelopeningen)	
	- hoogte < 5 m	5
	- 5 m < hoogte < 10 m	10
	- hoogte > 10 m	15

*Tabel 4 Frequentie van een brand nabij een LNG-tankauto (voor een aanwezigheid van de tankauto van 50 uur per jaar<sup>4</sup>).*

Ligt het vulpunt binnen de toetsingsafstand uit Tabel 3?				Brandfrequentie bij 50 uur aanwezigheid van de tankauto (jaar <sup>-1</sup> )
LPG/LNG afleverzuil	Benzine afleverzuil	Opstelplaats tankauto	Gebouw	
Ja	Ja	Ja	Ja	$2 \times 10^{-6}$
Nee	Ja	Ja	Ja	
Ja	Nee	Ja	Ja	
Ja	Ja	Nee	Ja	
Ja	Nee	Nee	Ja	
Nee	Ja	Nee	Ja	
Nee	Nee	Ja	Ja	
Ja	Ja	Ja	Nee	$1 \times 10^{-6}$
Ja	Nee	Ja	Nee	
Nee	Nee	Nee	Ja	
Ja	Ja	Nee	Nee	$8 \times 10^{-7}$
Nee	Ja	Ja	Nee	

<sup>3</sup> Het Ministerie van IenM heeft aangegeven dat alleen gerekend mag worden met dubbelwandige tankauto's als dat in de aanvraag van de Wm vergunning van het tankstation voldoende is geborgd. Anders dient gerekend te worden met enkelwandige tankauto's. Het bevoegd gezag is dus uiteindelijk verantwoordelijk voor de keuze tussen rekenen met enkel- of dubbelwandige tankauto's.

<i>Ligt het vulpunt binnen de toetsingsafstand uit Tabel 3?</i>				<i>Brandfrequentie bij 50 uur aanwezigheid van de tankauto (jaar<sup>-1</sup>)</i>
<i>LPG/LNG afleverzuil</i>	<i>Benzine afleverzuil</i>	<i>Opstelplaats tankauto</i>	<i>Gebouw</i>	
Ja	Nee	Nee	Nee	$6 \times 10^{-7}$
Nee	Nee	Ja	Nee	
Nee	Ja	Nee	Nee	$4 \times 10^{-7}$
Nee	Nee	Nee	Nee	$2 \times 10^{-7}$

De BLEVE frequentie van de tankauto die wordt aangestraald door een brand in de omgeving, is afhankelijk van:

1. de kans op een brand in de omgeving op basis van de toetsingsafstanden uit Tabel 4;
2. de aanwezigheidsduur van de LNG tankauto;
3. de uitvoering van de tankauto.

In Tabel 5 is de afleiding van de BLEVE-frequentie gegeven voor de situatie dat evaluatie van de toetsingsafstanden leidt tot een brandfrequentie van  $2 \times 10^{-6}$  per jaar en een dubbelwandig tankauto 250 uur per jaar aanwezig is.

*Tabel 5 Voorbeeld afleiding frequentie BLEVE-scenario.*

<i>Scenario</i>	<i>Brandfrequentie per 50 uur aanwezigheid</i>	<i>Factor</i>	<i>Frequentie (jaar<sup>-1</sup>)</i>
B2: BLEVE tankauto	$2 \times 10^{-6}$	$250/50 \times 0,19 \times 0,05^4$	$9,5 \times 10^{-8}$

Opmerkingen:

- In tegenstelling tot LPG-tankauto's wordt er bij LNG-tankauto's van uit gegaan dat deze altijd volledig gevuld bij het tankstation aankomen<sup>5</sup>.
- De BLEVE wordt gemodelleerd als een warme BLEVE met barstdruk 11,1 barg (saturated liquid bij een temperatuur van -120 °C).

### 1.3 Scenario's falen tankauto ten gevolge van externe beschadiging

Een BLEVE van de tankauto kan ook plaatsvinden ten gevolge van externe impact. De BLEVE kans is afhankelijk van de opstelplaats en is gegeven in Tabel 6. Het scenario, op basis van de middelste frequentie, is uitgewerkt in Tabel 7.

<sup>4</sup> De factor 0,05 is de reductiefactor voor een dubbelwandige tankauto. De factor 0,19 is een uit de LPG-rekenmethodiek overgenomen factor die voortkomt uit het feit dat in 90% van de gevallen de aangestraalde wand gekoeld wordt door de vloeistof in de tank (met een reductiefactor 0,1).

<sup>5</sup> Aanname hiervoor is dat de gehele tankinhoud in 1 keer wordt geleegd. Deelladingen zullen vooral voorkomen in de fase dat het tankstation een lage doorzet heeft. In dat geval is een berekening op basis van de aangevraagde doorzet, zonder deelladingen, conservatief.

**Tabel 6 Frequentie van een BLEVE van een LNG-tankauto ten gevolge van externe beschadiging (voor een aanwezigheid van 50 uur per jaar).**

Opstelplaats tankauto	BLEVE-frequentie per 50 uur aanwezigheid (jaar <sup>-1</sup> )
Geïsoleerde opstelplaats waarbij een aanrijding van opzij tegen de leidingkast niet aannemelijk wordt geacht (ook niet met lage snelheid) <sup>6</sup>	$2,5 \times 10^{-9}$
Opstelplaats op een (wegrij)strook met een toegestane snelheid van maximaal 70 km/uur	$4,8 \times 10^{-8}$
Overige situaties	$2,3 \times 10^{-7}$

**Tabel 7 BLEVE-scenario van de LNG-tankauto ten gevolge van externe beschadiging.**

Scenario	Frequentie per 50 uur aanwezigheid <sup>1</sup> (jaar <sup>-1</sup> )	Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )
B3: BLEVE tankauto	$4,8 \times 10^{-8}$	250/50	$2,4 \times 10^{-7}$

Opmerking:

- De BLEVE wordt gemodelleerd als een koude BLEVE (*saturated liquid* bij een temperatuur van  $-150^{\circ}\text{C}$ )<sup>7</sup>.

#### 1.4 Scenario's falen pomp op de tankauto

De scenario's voor het falen van de pomp zijn gegeven in Tabel 8 en Tabel 9.

**Tabel 8 Scenario's voor het falen van de pomp voor de verlading met ingrijpen operator.**

Scenario	Basisfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	Canned pomp	Pomp met pakking		Canned pomp	Pomp met pakking
P.1 Breuk pomp, ingrijpen operator	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$0,9 \times 166,7/8766$	$1,7 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-6}$
P.2: Breuk pomp, ingrijpen faalt	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 166,7/8766$	$1,9 \times 10^{-8}$	$1,9 \times 10^{-7}$
P.3: Lek pomp	$5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$166,7/8766$	$9,5 \times 10^{-7}$	$8,4 \times 10^{-5}$

<sup>6</sup> Het meenemen van de BLEVE in geval van maatregelen tegen externe impact is conform de LPG-rekenmethodiek en conservatief in vergelijking met de HRB waar gesteld wordt dat in geval van maatregelen dit scenario niet meegenomen hoeft te worden.

<sup>7</sup> In de LPG-rekenmethodiek wordt de koude BLEVE gemodelleerd met een *vapour mass fraction* van 1 (alle LPG komt vrij in de gasfase). Dit is een conservatieve benadering. De LNG-rekenmethodiek hanteert een *vapour mass fraction* van 0,24 (drie maal de adiabatische flash bij  $-150^{\circ}\text{C}$ ) conform de HRB<sup>2</sup>, module B, §.4.4.



Tabel 9 Scenario's voor het falen van de pomp voor de verlading met automatisch ingrijpen.

Scenario	Basisfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	Canned pump	Pomp met pakking		Canned pump	Pomp met pakking
P.1 Breuk pomp, automatisch ingrijpen	1 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>	0,999 × 166,7/8766	1,9 × 10 <sup>-7</sup>	1,9 × 10 <sup>-6</sup>
P.2: Breuk pomp, ingrijpen faalt	1 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>	0,001 × 166,7/8766	1,9 × 10 <sup>-10</sup>	1,9 × 10 <sup>-9</sup>
P.3: Lek pomp	5 × 10 <sup>-5</sup>	4,4 × 10 <sup>-3</sup>	166,7/8766	9,5 × 10 <sup>-7</sup>	8,4 × 10 <sup>-5</sup>

Opmerkingen:

- De factor in bovenstaande tabellen bestaat uit de kans op wel/niet ingrijpen door de aanwezige bestuurder van de tankauto en uit de verladingduur op basis van een doorzet van 5000 m<sup>3</sup> per jaar en een losdebiet van 500 liter per minuut.
- In de referentieanalyse wordt uitgegaan van een pomp zonder pakkingen (canned pump) en van operatoringrijpen binnen 120 seconden. De uitstroomduur van 120 seconden geldt alleen als wordt voldaan aan de vijf voorwaarden uit de HRB<sup>2</sup>, module C, § 4.2.6.1. Anders dient in de QRA met een uitstroomduur van 30 minuten te worden gerekend.
- In de rekenfile kan bij voldoende onderbouwing ook gekozen worden voor automatische detectie (ingreep 5 seconden, faalkans 0,001).
- De combinatie van het gebruik van een pomp met voordruk in de tankauto kan leiden tot veel grotere uitstroming bij het falen van de pomp<sup>8</sup>. Deze combinatie dient met een maatwerk QRA berekend te worden.

## 1.5 Scenario's falen losslang of losarm

De scenario's voor het falen van de losslang of losarm zijn gegeven in Tabel 10 en Tabel 11. De losslang is van metaal of van een composiet materiaal.

Tabel 10 Scenario's voor het falen van een 2"-losslang of losarm bij operatoringrijpen.

Scenario	Basisfrequentie (uur <sup>-1</sup> )			Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )		
	slang metaal	slang comp.	arm		slang metaal	slang comp.	arm
L.1 Breuk, ingrijpen operator	4 · 10 <sup>-6</sup>	4 · 10 <sup>-7</sup>	3 · 10 <sup>-8</sup>	0,9 × 166,7	6,0 · 10 <sup>-4</sup>	6,0 · 10 <sup>-5</sup>	4,5 · 10 <sup>-6</sup>
L.2: Breuk, ingrijpen faalt	4 · 10 <sup>-6</sup>	4 · 10 <sup>-7</sup>	3 · 10 <sup>-8</sup>	0,1 × 166,7	6,7 · 10 <sup>-5</sup>	6,7 · 10 <sup>-6</sup>	5,0 · 10 <sup>-7</sup>
L.3: Lek	4 · 10 <sup>-5</sup>	4 · 10 <sup>-5</sup>	3 · 10 <sup>-7</sup>	166,7	6,7 · 10 <sup>-3</sup>	6,7 · 10 <sup>-3</sup>	5,0 · 10 <sup>-5</sup>

<sup>8</sup> Voor een toelichting van het begrip *voordruk* in de LNG-tankauto zie bijlage 1 van deze methodiek.

Tabel 11 Scenario's voor het falen van een 2"-losslang of losarm bij automatische detectie.

Scenario	Basisfrequentie (uur <sup>-1</sup> )			Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )		
	slang metaal	slang comp.	arm		slang metaal	slang comp.	arm
L.1 Breuk, ingrijpen automatisch	4·10 <sup>-6</sup>	4·10 <sup>-7</sup>	3·10 <sup>-8</sup>	0,999 × 166,7	6,7·10 <sup>-4</sup>	6,7·10 <sup>-5</sup>	5,0·10 <sup>-6</sup>
L.2: Breuk, ingrijpen faalt	4·10 <sup>-6</sup>	4·10 <sup>-7</sup>	3·10 <sup>-8</sup>	0,001 × 166,7	6,7·10 <sup>-7</sup>	6,7·10 <sup>-8</sup>	5,0·10 <sup>-9</sup>
L.3: Lek	4·10 <sup>-5</sup>	4·10 <sup>-5</sup>	3·10 <sup>-7</sup>	166,7	6,7·10 <sup>-3</sup>	6,7·10 <sup>-3</sup>	5,0·10 <sup>-5</sup>

## Opmerkingen:

- Voor de referentieanalyse is uitgegaan van een 2"-composietslang, verlading met een pomp en operatoringrijpen binnen 120 seconden.
- Voor de faalkans van de composietslang is dezelfde reductie in faalkans aangenomen als voor de verbeterde LPG-slang.
- In de rekenfile kan bij voldoende onderbouwing ook gekozen worden voor automatisch ingrijpen binnen 5 seconden, en het gebruik van een metalen slang of losarm.
- De scenario's L.1 en L.2 zijn gemodelleerd als *line rupture* met een uitstroming gelijk aan het losdebiet<sup>9</sup>.
- Bij de breukscenario's dient rekening gehouden te worden met de terugstroming uit de opslagtank<sup>10</sup>. Hierbij kunnen onderbouwd maatregelen, bijvoorbeeld o.b.v. terugslagkleppen of een drukverschilmeting ( $\Delta p$ ), worden meegenomen.

## 1.6 Scenario's falen vulleiding

De scenario's voor het falen van de vulleiding zijn gegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Scenario's voor de vulleiding van het opslagvat.

Scenario	Basisfrequentie (m <sup>-1</sup> x jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Basisfrequentie (m <sup>-1</sup> x jaar <sup>-1</sup> )	
	bovengronds	ondergronds		bovengronds	ondergronds
L.4: Breuk, ingrijpen operator	1,0 x 10 <sup>-6</sup>	5,0 x 10 <sup>-7</sup>	0,9 x 166,7 / 8766	1,7 x 10 <sup>-8</sup>	8,6 x 10 <sup>-9</sup>
L.5: Breuk, ingrijpen faalt	1,0 x 10 <sup>-6</sup>	5,0 x 10 <sup>-7</sup>	0,1 x 166,7 / 8766	1,9 x 10 <sup>-9</sup>	9,5 x 10 <sup>-10</sup>
L.6: Lek	5,0 x 10 <sup>-6</sup>	1,5 x 10 <sup>-6</sup>	166,7 / 8766	9,5 x 10 <sup>-8</sup>	2,9 x 10 <sup>-8</sup>

## Opmerkingen:

- Voor de referentieanalyse is uitgegaan van een bovengrondse leiding met een diameter van 2". De gebruiksduur van de leiding is gelijk aan de verladingduur gekozen.
- In de rekenfile kan ook gekozen worden voor een ondergrondse leiding.

<sup>9</sup> De aanname is dat een uitstroming gelijk aan het uitstroomdebiet bij lossing met een pomp voldoende conservatief is. Deze keuze is afgestemd met de begeleidingscommissie naar aanleiding van een discussie over de werking van de pomp.

<sup>10</sup> Terugstroming wordt alleen meegenomen bij de losslang en de vulleiding. Aanname voor de overige leidingen is dat terugstroming niet relevant is.

- Bij het breukscenario moet rekening gehouden worden met de terugstroming uit de opslagtank. Hierbij kunnen onderbouwde maatregelen, bijvoorbeeld o.b.v. terugslagkleppen of een drukverschilmeting ( $\Delta p$ ), worden meegenomen.

## 2 Scenario's opslag en buffering LNG

### 2.1 Scenario's falen opslagvat

De scenario's voor het falen van het opslagvat zijn gegeven in Tabel 13.

*Tabel 13 Scenario's voor het opslagvat.*

<i>Scenario</i>	<i>Frequentie (jaar<sup>-1</sup>)</i>
O.1: opslagvat - instantaan falen	$5 \times 10^{-7}$
O.2: opslagvat - 10 minuten uitstroming	$5 \times 10^{-7}$
O.3: opslagvat - 10 mm gat	$1 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

- Het scenario *afblazen veerveiligheid* is niet meegenomen omdat er geen effecten op grondniveau zijn (zie Bijlage 4, punt 7).
- Omdat er nog geen onderbouwde faalfrequenties zijn voor dubbelwandige drukvaten, is uitgegaan van de frequentie voor een enkelwandig drukvat.

### 2.2 Scenario's falen buffervaten

De scenario's voor het falen van de buffervaten zijn gegeven in Tabel 14.

*Tabel 14 Scenario's voor de buffervaten.*

<i>Scenario</i>	<i>Frequentie (jaar<sup>-1</sup>)</i>
D9.1: buffervat 9bar - instantaan falen	$5 \times 10^{-7}$
D9.2: buffervat 9bar - 10 minuten uitstroming	$5 \times 10^{-7}$
D9.3: buffervat 9bar - 10 mm gat	$1 \times 10^{-5}$
D18.1: buffervat 18bar - instantaan falen	$5 \times 10^{-7}$
D18.2: buffervat 18bar - 10 minuten uitstroming	$5 \times 10^{-7}$
D18.3: buffervat 18bar - 10 mm gat	$1 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

- Het scenario *afblazen veerveiligheid* is niet meegenomen omdat er geen effecten op grondniveau zijn (zie Bijlage 4, punt 7).
- De buffervaten worden gemodelleerd met een druk van 9 en 18 bara.

### 2.3 Scenario's falen pompen en warmtewisselaar

Afhankelijk van de uitvoering van het tankstation wordt een aantal pompen en warmtewisselaars gebruikt:

1. Een pomp bij het opslagvat die het LNG verpompt naar de buffervaten of de warmtewisselaar;
2. Een pomp na elk buffervat om het LNG naar de afleverzuil te verpompen;
3. Een hogedruk pomp / compressor voor de warmtewisselaar om LNG te verdampen voor levering van CNG.

De scenario's voor het falen van de pompen en warmtewisselaar zijn op de volgende pagina gegeven. Verondersteld wordt dat er een noodstopvoorziening is met een automatische detectie (faalkans 0,001 per aanspraak met een reactietijd van 120 seconden). Wanneer dit niet het geval is, vervallen de scenario's *Inblok* in Tabel 15 tot en met Tabel 18, en de faalfrequentie voor de scenario's *Inblok faalt* worden dan gelijk aan het scenario *Inblok*.

Tabel 15 Scenario's voor de pomp van het opslagvat.

Scenario	Basisfaalfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	Canned pomp	Pomp pakking		Canned pomp	Pomp pakking
P3.1 Breuk pomp, inblok	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0,065	$6,5 \times 10^{-7}$	$6,5 \times 10^{-6}$
P3.2 Breuk pomp, inblok faalt	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-10}$	$6,5 \times 10^{-9}$
P3.3 Lek pomp	$5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-3}$	0,065	$3,3 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-4}$

## Opmerkingen:

- De breuk scenario's worden gemodelleerd als een *Line rupture* in een leiding met een diameter van 2" op 5 meter van het vat. Het lek in de pomp wordt gemodelleerd als een *Leak* met een gatgrootte van 0,2".
- Wanneer in het opslagvat een *submerged* pomp wordt toegepast, vervallen de faalscenario's van Tabel 15 omdat het falen van de pomp niet leidt tot het vrijkomen van LNG.
- Aanname voor de gebruikstijd van de pomp na het opslagvat is 110% van de aflevertijd (aflevertijd +10% voor het satureren van de buffervaten). Op basis van een doorzet van 5000 m<sup>3</sup> en een leverdebiet van 160 l/min is deze 6,5%.
- Het gebruik van de opslagpomp moet nog verhoogd worden met het gebruik voor eventuele levering aan de CNG installatie.

Tabel 16 Scenario's voor de pompen in het geval van conditionering LNG met buffervaten.

Scenario	Basisfaalfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	Canned pomp	Pomp pakking		Canned pomp	Pomp pakking
-126°C					
P9.1 Breuk, Inblok	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0,03	$3 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-6}$
P9.2 Breuk, Inblok faalt	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-9}$
P9.3: Lek	$5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-3}$	0,03	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-4}$
-110°C					
P18.1 Breuk, Inblok	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0,03	$1,5 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-6}$
P18.2 Breuk, Inblok faalt	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-10}$	$3,0 \times 10^{-9}$
P18.3: Lek	$5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-3}$	0,03	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-4}$

## Opmerkingen:

- De breukscenario's worden gemodelleerd als een *Line rupture* in een leiding met een diameter van 2" op 5 meter van het vat. Het lek in de pomp wordt gemodelleerd als een *Leak* met een gatgrootte van 0,1".

- Wanneer in de buffervaten een *submerged* pomp wordt toegepast, vervallen de faalscenario's van Tabel 16 omdat het falen van de pomp niet leidt tot het vrijkomen van LNG.
- De gebruiksfractie van de pomp na het buffervat is afhankelijk van de aflevertijd. Gekozen is voor een gelijke fractie voor 9 en 18 bara levering. Op basis van een doorzet van 5000 m<sup>3</sup> en een leverdebiet van 160 l/min is dit tweemaal 3%.

**Tabel 17 Scenario's voor de warmtewisselaar in het geval van levering zonder buffervat.**

Scenario	Basisfaalfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )	Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )
W9.1: Breuk, Inblok, 9 bar	$1 \times 10^{-5}$	0,06	$6,0 \times 10^{-7}$
W9.2: Breuk, Inblok faalt, 9 bar	$1 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-10}$
W18.1: Breuk, Inblok, 18 bar	$1 \times 10^{-5}$	0,06	$6,0 \times 10^{-7}$
W18.2: Breuk, Inblok faalt, 18bar	$1 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-10}$

**Opmerkingen:**

- De gebruiksfractie van de warmtewisselaar is 6% op basis van een doorzet van 5000 m<sup>3</sup> en een leverdebiet van 160 l/min.
- De warmtewisselaars bestaat uit een stuk verwarmde leiding en is gemodelleerd als een leidingsegment van 10 meter.

**Tabel 18 Scenario's voor de pomp en warmtewisselaar (-150 °C) in het geval van levering voor CNG.**

Scenario	Basisfaalfrequentie (jaar <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	Canned pomp	Pomp pakking		Canned pomp	Pomp pakking
HP.1 Breuk pomp, Inblok	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0,05	$5,0 \times 10^{-7}$	$6,0 \times 10^{-6}$
HP.2 Breuk pomp, Inblok faalt	$1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-10}$	$6,0 \times 10^{-9}$
HP.3: Lek pomp	$5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-3}$	0,05	$2,5 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-4}$
<i>Warmtewisselaar, 18 bar</i>					
Wcng1: Breuk 1 pijp, Inblok	$1 \times 10^{-5}$		0,05	$5,0 \times 10^{-7}$	
Wcng2: Breuk 1 pijp, Inblok faalt	$1 \times 10^{-5}$		$5 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-10}$	

**Opmerkingen:**

- In bovenstaande tabel is een gebruiksfractie aangenomen van 5%. De feitelijke gebruiksfractie dient hier ingevuld te worden. Deze dient ook bij de gebruiksfractie van de pomp van het opslagvat opgeteld te worden bij scenario P3.1-P3.3.
- De warmtewisselaar is gemodelleerd als een bovengronds leidingsegment (diameter < 75 mm) met een lengte van 10 meter.

## 2.4 Scenario's falen LNG-leidingen

De scenario's voor het falen van de leidingen zijn gegeven in Tabel 19.

*Tabel 19 Scenario's voor de LNG-leidingen.*

Scenario	Basisfaalfrequentie ( $m^{-1} \times jaar^{-1}$ )		Factor
	Ondergronds	Bovengronds	
Breuk, inblokken OK	$5 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	0,999
Breuk, inblokken faalt	$5 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	0,001
Lek	$1,5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$	1

Aannames gebruiksfracties van de leidingen met de scenario codering voor de rekenfile:

1. leidingen van opslagvat naar buffervaten (LOB9, LOB18)  $2 \times 3,3\%$
2. leiding van opslagvat naar de warmtewisselaar (LOH)  $2 \times 3\%$
3. leidingen van buffervaten naar afleverzuilen (dispensers) (LB9D1, LB18D2)  $2 \times 3\%$
4. leidingen van warmtewisselaar naar afleverzuilen (LH9D1, LH18D2)<sup>11</sup>
5. leiding van opslagvat naar hoge druk pomp voor CNG (LOP) 5 %
6. leiding naar warmtewisselaar CNG 3,3 %

Om de faalfrequentie te bepalen voor breuk en lekkage van een leiding dient de bovengenoemde faalkans nog vermenigvuldigd te worden met de lengte en gebruiksfractie van de leiding. Voor de referentieanalyse is een lengte van 10 meter aangehouden.

<sup>11</sup> Het LNG in de leiding na de warmtewisselaar heeft een hogere temperatuur dan de nalevering uit het koudere opslagvat. De grootte van de uitstroming bij breuk wordt door deze nalevering bepaald en ligt in dezelfde orde als het normale debiet door de leiding. Het scenario is daarom gemodelleerd als een uitstroming van LNG op de hogere temperatuur waarbij de effectieve leidinglengte tot de breuk is aangepast (verhoogd) om de grootte van de uitstroming gelijk te krijgen aan het normale debiet door de leiding.

### 3 Scenario's aflevering LNG

#### Scenario's falen afleverslang

De scenario's voor het falen van de afleverslang zijn gegeven in Tabel 20<sup>12</sup>.

*Tabel 20 Scenario's voor het falen van de afleverslang.*

Scenario	Basisfaalfrequentie (uur <sup>-1</sup> )		Factor	Frequentie (jaar <sup>-1</sup> )	
	metaal	composiet		metaal	composiet
LD.1: Breuk, bekrachtigingsknop werkt	$4 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$0,99 \times 521$	$2,1 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-4}$
LD.2: Breuk, bekrachtigingsknop faalt	$4 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$0,009 \times 521$	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-6}$
LD.3: Breuk, inblok faalt	$4 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$0,001 \times 521$	$2,1 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-7}$
LD.4: Lek	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	521	$2,1 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$

Opmerking:

- De totale faalkans moet naar rato verdeeld worden over de verschillende afleverzuilen.
- In de referentieanalyse is gekozen voor een composietslang met een diameter van 1". Er is geen sprake van operatoringrijpen, maar wel van het gebruik van een *bekrachtigingsknop* en automatische detectie.
- Uitgaande van een doorzet van 5.000 m<sup>3</sup> en een afleverdebiet van 160 l/min is de totale aflevertijd 521 uur.
- De hoogte van het uitstroomdebiet bij breuk is 1,5 maal het afleverdebiet.

<sup>12</sup> Het meenemen van scenario's voor de afleverzuil is een conservatieve afwijking t.o.v. de LPG-rekenmethodiek.



## 4      Additionele scenario's CNG installatie

Wanneer binnen de inrichting tevens sprake kan zijn van CNG-aflevering, moeten de LNG-voerende installatieonderdelen meegenomen worden in de risicoanalyse. Het betreft de leiding naar de hoge druk pomp. Hierna wordt het LNG verwarmd door een elektrische verwarming. Bij breuk valt de pompdruk direct weg. De bijbehorende scenario's zijn gegeven in Tabel 18 (pomp) en Tabel 19 (leiding).

## 5 Invoerparameters SAFETI-NL

De scenario's moeten worden ingevoerd in SAFETI-NL. In aanvulling op de HRB<sup>2</sup> Module B gelden de volgende uitgangspunten:

- De hoogte van de vloeistofkolom (tank head) is ingeschat op 1 meter voor de tankauto, 4 meter voor een horizontaal opslagvat, 12 meter voor een verticaal opslagvat en 2 meter voor de buffervaten.
- Het scenario pompbreuk van de tankauto is gemodelleerd als uitstroming uit een 3"-leiding zonder *pump head*, met een *tank head* van 1 meter; aangenomen is dat de pomp bij breuk geen pompdruk levert.
- Het scenario breuk loslang is gemodelleerd als een uitstroming uit een 2" leiding zonder *pump head*. Hierbij wordt de breuk gemodelleerd op 16 meter afstand om de uitstroming gelijk te krijgen aan het losdebiet.
- De terugstroming veroorzaakt een grotere totale uitstroming, echter zonder dat dit de uitstroomsnelheid verhoogt. Dit wordt gemodelleerd door de leidingdiameter aan te passen. De bijdrage van de terugstroming in het geval van een werkende terugstroombeveiliging (5 seconden uitstroming) is effectief 25% (op basis van 20 seconden blootstellingstijd)<sup>13</sup>. Bijlage 2 bevat uitgewerkte voorbeelden van de berekening.

Dit leidt tot de volgende effectieve leidingdiameters:

**Tabel 21 Effectieve leidingdiameters.**

Tank head (m)	Beveiliging	Terugstroming (kg/s)	Totaal (kg/s)	Diameter (mm)
<i>Lossing met pomp: basisuitstroom 3,37 kg/s (verladingsdebiet (500 l/min))</i>				
4	ja	1,12	4,49	57,4
	nee	4,48	7,85	73,0
12	ja	1,58	4,95	60,0
	Nee	6,33	9,70	80,0
<i>Lossing met voordruk: basisuitstroom 24,4 kg/s</i>				
4	ja	1,12	25,5	51,8
	nee	4,48	28,9	54,6
12	ja	1,58	26,0	52,2
	Nee	6,33	30,7	56,0

- Ook bij de breuk van de slang van de afleverzuil is de diameter aangepast om een uitstroomdebiet te krijgen gelijk aan 1,5 maal het afleverdebiet. Dit leidt bij aflevering op 9 bar tot een effectieve diameter van 21,7 mm en bij 18 bar tot 20,8 mm. Voor de rekenwijze zie bijlage 2.
- Verlading via de combinatie pomp en voordruk heeft een effectieve leidingdiameter die vergelijkbaar is met de situatie *Lossing met pomp*. Dit komt door de effectieve leidinglengte, zie bijlage 3.

Bij de rekenmethodiek voor LNG-tankstations hoort een Excel rekenfile waarmee de te gebruiken scenario's in SAFETI-NL gegenereerd kunnen worden. In het eerste werkblad wordt het LNG-tankstation gedefinieerd (uitvoering en locatie) door het invullen van de donkerblauwe keuzevelden. In het tweede blad wordt

<sup>13</sup> Voor de letale effecten veronderstelt het rekenprogramma SAFETI-NL een blootstellingsduur van 20 s, ook als de uitstroomduur korter is dan 20 s. De 20 s is in lijn met [1] die stelt dat de blootstellingsduur voor warmtestraling maximaal 20 s is.

het gedefinieerde tankstation vertaald naar de scenario's die meegenomen dienen te worden. De overige drie tabbladen zijn de invoerbladen voor SAFETI-NL. Nadat het LNG-tankstation is gedefinieerd, kan de Excelsheet ingelezen worden in SAFETI-NL via de importfunctie.

## Bijlage 1 Beschrijving LNG-tankstations

### Introductie

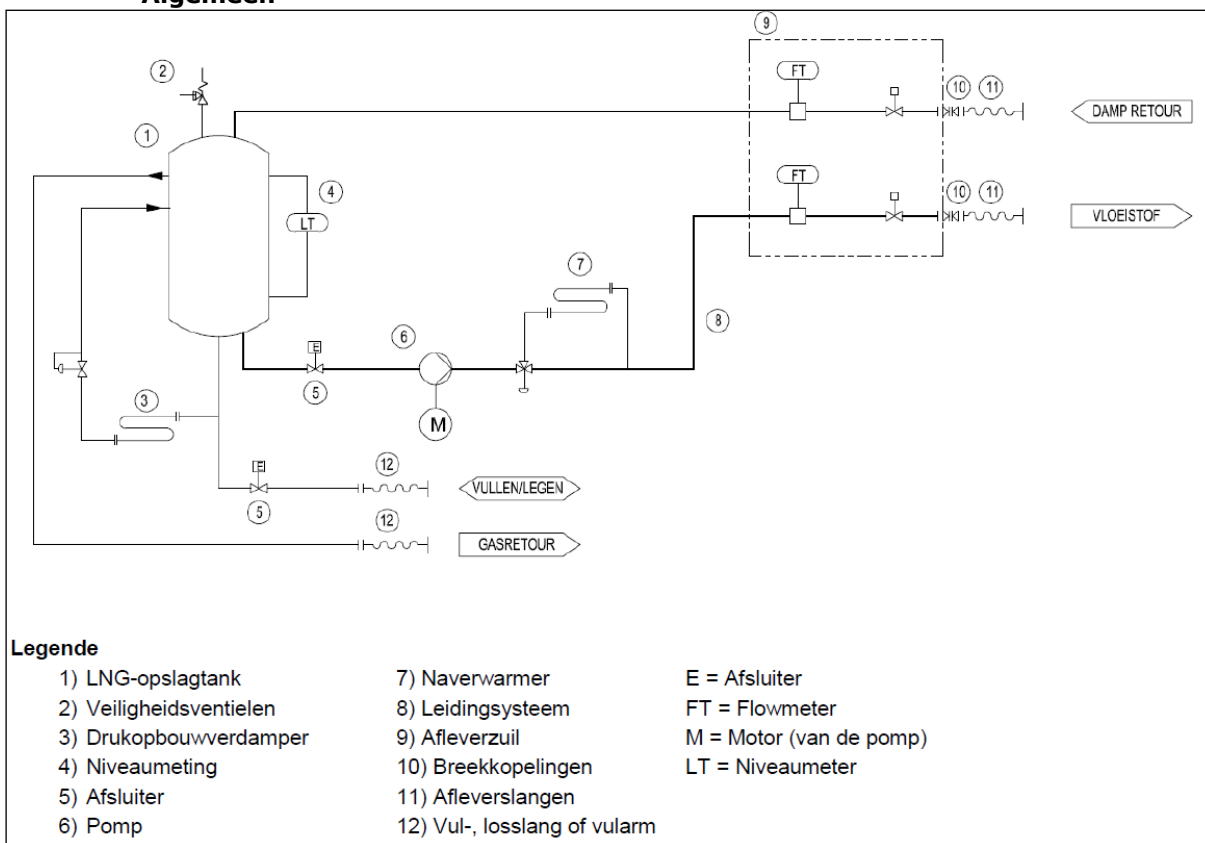
De transportsector in Nederland wil Liquefied Natural Gas (LNG) als alternatieve brandstof voor diesel toepassen voor het vrachtverkeer over de weg en over water. Om dit mogelijk te maken is een infrastructuur van LNG-tankstations voor het wegverkeer en van LNG bunkerstations voor de zee- en binnenvaart nodig. In 2011 zijn hiervoor diverse initiatieven gestart. Om de ruimtelijke in-pasbaarheid van deze inrichtingen te kunnen beoordelen is het nodig om externe veiligheidsafstanden vast te leggen die zijn gebaseerd op het plaatsgebonden risico van  $10^{-6}$  per jaar. In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, directie Risicobeleid (IenM/Rb) is deze generieke rekenmethodiek ontwikkeld voor het bepalen van deze externe veiligheidsafstanden voor LNG-tankstations. De generieke rekenmethodiek dient ter harmonisering van een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) die de aanvrager van een milieuvergunning voor deze inrichtingen zal (laten) uitvoeren. Met gebruikmaking van deze rekenmethodiek zullen voor een gedefinieerde referentie LNG-tankstation de risicoafstanden voor verschillende jaaromzetten van LNG worden berekend.

#### Toelichting:

LNG is een afkorting van het Engelse Liquefied Natural Gas, in het Nederlands: vloeibaar aardgas. Het aardgas wordt vloeibaar gemaakt door het te koelen tot  $-162^{\circ}\text{C}$ . Bij deze temperatuur en atmosferische druk condenseert het gas tot een vloeistof (LNG). LNG neemt 600 keer minder volume in dan gasvormig aardgas. Hierdoor kan het makkelijker getransporteerd en opgeslagen worden. LNG lijkt qua samenstelling sterk op aardgas. Het verschil is dat (bijna) alle zuurstof, koolstofdioxide, water, zwaardere koolwaterstoffen en zwavelverbindingen die in aardgas nog wel worden aangetroffen, uit het LNG verdwenen zijn. Het gebruik van LNG levert een reductie op van emissies van  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ - en fijn stof. In de risicoanalyse wordt methaan als voorbeeldstof gebruikt. Dit is licht conservatief t.o.v. aardgas.

Naast het gebruik van LNG als alternatieve brandstof, is uit de markt ook vraag naar de levering van CNG. CNG is een afkorting van het *Compressed Natural Gas* (samengeperst aardgas). Dit wordt met behulp van een speciale installatie tot 200-250 bar in cilinders samengeperst voor het gebruik als autobrandstof. Als bron voor het aardgas kan het station aangesloten worden op het gewone aardgasnetwerk. Verwachting is dat de bron voor het CNG veelal LNG zal zijn. Daarom wordt in de deze studie ook stilgestaan bij een gecombineerd LNG/CNG tankstation.

## Algemeen



Figuur 1 Een mogelijke uitvoering van een LNG-tankstation.

Een LNG-tankstation levert LNG aan vrachtwagens. Afhankelijk van de uitvoering van de vrachtwagen is dit met LNG op een druk van 9 of 18 bara. Bij een LNG-tankstation zijn de volgende onderdelen te onderscheiden:

1. De verlading van LNG
2. De LNG opslag
3. De conditionering van LNG (een dampspanning van ca. 9 of 18 bara)
4. De aflevering van LNG

In geval van een combinatie met CNG tankstation komt hier nog bij:

5. De levering van CNG (met een druk van ca. 250 bara)

### De verlading van LNG

LNG wordt geleverd met een LNG-tankauto en verladen naar het opslagvat. Hierbij zijn de volgende onderdelen te onderscheiden:

1. *De tankauto*

De uitvoering van de tankauto is een enkelwandig of dubbelwandig geïsoleerd drukvat met een inhoud van 40 of 60 m<sup>3</sup>. De temperatuur van LNG in de tankauto is afhankelijk van de temperatuur van het LNG waarmee de tankauto gevuld is en de tijd die het LNG in de tankauto heeft gezeten (warmte-inlek). In de rekenmethodiek is conservatief gekozen voor een temperatuur van -150 °C met een verzadigingsdruk van 2,4 bara.

2. *De losslang of losarm*

De verlading vindt plaats met behulp van een metalen losslang, een composiet losslang of een losarm. De standaard diameter hiervan is 2" en het standaard verlaaddebiet bedraagt 500 liter per minuut.

### 3. *De verlading*

De druk van het LNG in het opslagvat zal door warmte-inlek hoger zijn dan de druk in de tankauto. Om te kunnen verladen zal de druk aan de tankautokant dus verhoogd moeten worden. Dit kan op verschillende manieren:

- a) De overdruk wordt gecreëerd met de pomp van de tankauto.
- b) De overdruk wordt gecreëerd door het creëren van een voordruk (verdampen van LNG en toevoegen aan de gasfase in de tankauto)
- c) De overdruk wordt gecreëerd door het gecombineerd gebruik van pomp en voordruk.

### 4. *De vulleiding*

Het LNG wordt vervolgens door een ondergrondse of bovengronds vulleiding naar het opslagvat verpompt. Een typische diameter van deze leiding is 2". Deze leiding is enkel in gebruik tijdens de verlading.

## **De LNG-opslag**

Het LNG wordt opgeslagen in een opslagvat. Dit is een geïsoleerde, dubbelwandige liggende of staande cilinder, die meestal bovengronds geplaatst zal zijn. De standaard inhoud van het opslagvat voor LNG-tankstations is 40 of 60 m<sup>3</sup>. De temperatuur en druk van het LNG in het opslagvat kunnen in de loop van de tijd door warmte-inlek toenemen (afhankelijk van genomen maatregelen zoals de verwerking van het kookgas).

## **De conditionering van LNG**

Het LNG wordt vervolgens op de afleverdruk gebracht. Dit kan op twee manieren:

- Het LNG wordt tussen opslagvat en afleverzuil geconditioneerd met behulp van een elektrische verwarming (in-line heater / warmtewisselaar).
- Het LNG wordt verpompt naar een buffervat waar het LNG op de juiste druk gebracht wordt door in de gasfase gas af te nemen, op te warmen en terug te voeren door de koude vloeistof.

Bij de conditionering zijn, afhankelijk van de gebruikte variant, de volgende onderdelen te onderscheiden:

- \* Een warmtewisselaar
- \* De pomp van het opslagvat  
Het LNG wordt uit het opslagvat gepompt. Dit kan een submerged pomp zijn (in het opslagvat, ondergedompeld in het LNG) of een pomp buiten het opslagvat.
- \* De buffervaten  
Het LNG wordt in de buffervaten op de juiste druk gebracht en vervolgens met de pomp van het buffervat naar de afleverzuil gepompt.

## **De aflevering van LNG**

Het LNG wordt op ongeveer 9 of 18 bara afgeleverd aan de vrachtwagen. Dit gebeurt met behulp van een metalen slang of met een composietslang. Een standaard diameter is 1" en een standaard verlaaddebiet is 160 liter per minuut.

## **De levering van CNG**

Wanneer er sprake is van een LNG-tankstation in combinatie met een CNG-tankstation, zal in het algemeen LNG gecompriëerd en verdampt worden voor de levering van CNG. Hierbij zijn de volgende onderdelen te onderscheiden:

- \* Een hoge druk pomp  
LNG en boil-off gas worden uit het opslagvat verpompt naar een hoge druk waar het op ca. 250 bar druk wordt gebracht.

- \* Een warmtewisselaar  
Hier wordt het LNG verwarmd tot CNG op omgevingstemperatuur.

De bufferopslag en aflevering van CNG vormen geen onderdeel van deze studie. Ze zijn beschreven in PGS 25 *Aardgas afleverinstallaties voor motorvoertuigen*. De risico's van de gasvoerende delen van het tankstation zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de LNG-voerende onderdelen.

### **Het LNG-tankstation in combinatie met overige brandstoffen**

Het LNG-tankstation kan onderdeel zijn van een groter tankstation waar ook CNG, LPG, diesel en benzine geleverd wordt.

- CNG: de interactie tussen CNG en LNG is reeds beschreven. Aangenomen is dat de CNG voerende onderdelen geen relevante toename van het extern risico geven. Voor veiligheidsafstanden wordt verwezen naar de PGS 25 *Aardgas afleverinstallaties voor motorvoertuigen*.
- LPG: de LPG-installatie vormt een losstaand systeem in de inrichting. Voor de risicoanalyse van de gehele inrichting moeten de LPG-scenario's meegenomen worden in de risicoanalyse van het LNG-tankstation. Voor de beschrijving van de scenario's wordt verwezen naar de uitwerking in het RIVM memo *QRA-berekening-LPG-tankstations-versie-29-05-08.pdf* [1]. Voor verdere veiligheidsafstanden wordt verwezen naar PGS 16 *LPG Afleverinstallaties*.
- Benzine en diesel: de benzine- en dieselinstallatie vormt een losstaand systeem in de inrichting. Voor de hierbij behorende veiligheidsafstanden wordt verwezen naar PGS 28 *Vloeibare brandstoffen: ondergrondse tankinstallaties en afleverinstallaties*.

### **Beveiligingssystemen**

In de rekenmethodiek wordt uitgegaan van de volgende mogelijkheden voor automatisch en handmatig ingrijpen bij een incident:

#### Lekkages

In geval van lekkage is ingrijpen niet gemodelleerd. Hiervoor zijn drie redenen:

1. Het is moeilijk aan te tonen dat lekkages snel gedetecteerd zullen worden.
2. Bij het isoleren van het lekkende onderdeel zal het hierin aanwezige LNG nog gedurende langere tijd blijven uitstromen.
3. De effectafstanden van lekkages zijn niet relevant.

#### Breuken

In geval van breuk worden de volgende mogelijkheden tot ingrijpen gemodelleerd:

1. *Verlading van tankauto naar opslagvat*

In geval van een breuk van de pomp, de losslang of de vulleiding kan de operator (chauffeur) ingrijpen. De uitstroming is dan beperkt tot 120 seconden met als faalkans van operator ingrijpen 0,1. Daarnaast is ingrijpen door automatische detectie mogelijk.

In het geval van breuk zal LNG terugstromen uit het opslagvat. Hierbij kan, indien onderbouwd, uitgegaan worden van een terugslagklep (5 seconden uitstroming, faalkans 0,06 of een automatische detectie (drukmeting in de leiding, 5 seconden, faalkans 0,01).

Wanneer er meerdere detectiesystemen aanwezig zijn, moet de kans op falen van het gehele detectiesysteem bepaald worden. Dit is niet zonder meer gelijk aan het product van de afzonderlijke faalkansen van elk detectiesysteem, omdat vaak sprake is van *common mode failures*.

2. *Aflevering van afleverzuil naar vrachtwagen*

In geval van een breuk van de pomp, de leiding naar de afleverzuil of de vulslang zal automatische detectie (drukmeting) leiden tot het afsluiten van de leiding bij het buffer- of opslagvat. De uitstroming wordt dan beperkt tot 120 seconden (faalkans 0,001). Tevens zal bij een incident de operator de *bekrachtigingsknop* loslaten (faalkans 0,01, 5 seconden uitstroming).

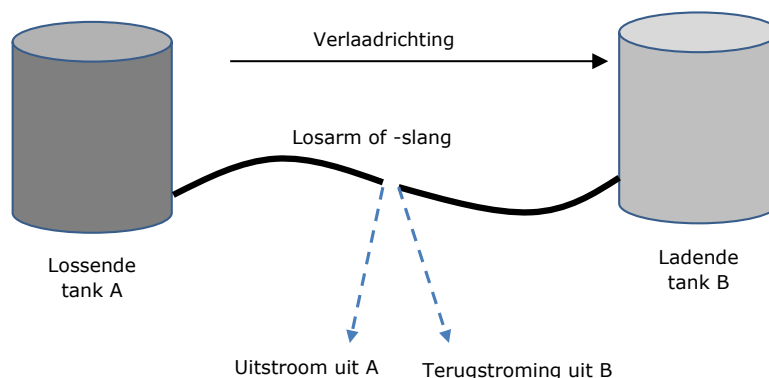
3. *Overige leidingen en pompen*

In geval van breuk van de overige leidingen en pompen wordt automatisch gedetecteerd en ingegrepen. De uitstroming wordt dan beperkt tot 120 seconden. De faalkans van het automatisch ingrijpen is 0,001.



## Bijlage 2 Voorbeeldberekeningen effectieve leidingdiameter

Wanneer een losslang, losarm of vulleiding breekt, vindt uitstroom van LNG vanuit twee kanten plaats, namelijk uitstroom vanuit de lossende tank en terugstroming uit de ladende tank. In onderstaande figuur is dit vereenvoudigd weergegeven:



Figuur 2 Vereenvoudigde weergave terugstroming.

Om dit scenario met het *vessel/pipe* model in SAFETI-NL te modelleren, kan de diameter van de losarm- of slang worden aangepast zodat het totale uitstroomdebiet gelijk wordt aan de som van het uitstroomdebiet uit tank A en het terugstroomdebiet uit tank B<sup>14</sup>.

Om te verladen kan het nodig zijn om een overdruk te creëren om het drukverschil met het ontvangende systeem te overwinnen. Afhankelijk van de situatie kan dit op verschillende manieren:

- a) Overdruk creëren met een pomp.
- b) Overdruk creëren door voordruk (LNG verdampen en toevoegen aan de gasfase).
- c) Overdruk creëren door een combinatie van pomp en voordruk. Bij een voordruk groter dan 2,5 barg is door de grotere uitstroming maatwerk nodig.

Situatie c) kan berekend worden als situatie a). In situatie a) wordt aangenomen dat bij slangbreuk de pomp op de tankauto stilvalt, maar dat er toch LNG vrijkomt doordat de LNG-voorraad in de tankwagen via de pomp en losslang zal uitstromen. De aanname is dat een uitstroming gelijk aan het pompdebiet voldoende conservatief is. Voor situatie c) wordt ook aangenomen dat bij slangbreuk de pomp stilvalt. Bij een voordruk tot 2,5 barg zal de drukval over de pomp overeenkomen met de drukval over een 2" leiding met een lengte van 100 m (zie Bijlage 3) en is het uitstroomdebiet gelijk aan het pompdebiet. Situ-

<sup>14</sup> Conservatieve aanname bij de sommatie van uitstroom en terugstroom is dat qua impuls beide dezelfde richting hebben. In de praktijk zal de richting veelal tegengesteld zijn wat mogelijk de impuls van de uitstroom zal verminderen.

atie c) kan daardoor berekend worden als situatie a). De verwachting is dat in de praktijk veelal een waarde van 2,5 barg voor verlading zal worden toegepast en voor een voordruk tot 2,5 barg is dit een conservatieve benadering.

#### **Verladen met pomp of Verladen met pomp + voordruk (maximaal 2,5 barg)**

- Bepaal het uitstroomdebiet uit tank A. Het uitstroomdebiet  $D_A$  uit tank A komt overeen met het pompdebiet van 3,37 kg/s (500 L/min, zie ook Tabel 21)<sup>15</sup>. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van operator die een tankwagen lost, een losarm met een diameter van 2" en bij verladen wordt gebruik gemaakt van een pomp. Om voor een 2"-leiding dit debiet te krijgen, is gebruik gemaakt van de volgende modellering:

Scenario:	<i>Line Rupture model</i>
Inhoud:	33,7 m <sup>3</sup> (= 13640 kg)
Conditie:	LNG (methaan) op -150°C als saturated liquid. De overdruk in de tank is dan 1,36 barg.
Pipe length:	16 m. Dit is de parameter die aangepast is om een uitstroomdebiet gelijk aan het pompdebiet van 3,37 kg/s te krijgen.
Diameter:	2"
Tankhead:	1 m (tankauto)
Uitstroomhoogte:	1 m
Uitstroomrichting:	horizontaal.
- Bepaal het terugstroomdebiet uit tank B. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van een horizontale opslagtank.

Modellering:

Scenario:	<i>Line Rupture model</i>
Inhoud:	400 m <sup>3</sup>
Conditie:	LNG (methaan) op -150°C als <i>saturated liquid</i>
Pipe length:	10 m (lengte vulleiding)
Diameter:	2"
Tankhead:	4 m (opslagtank)
Uitstroomhoogte:	1 m
Uitstroomrichting:	horizontaal

Deze modellering leidt tot een terugstroomdebiet  $D_B$  van 4,48 kg/s.
- Bepaal het totale debiet. Voor de risicoberekening is de uitstroom in de eerste 20 seconden bepalend<sup>13</sup>. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van operatoringrijpen bij Tank A (uitstroomduur 120 s)<sup>16</sup> en van de aanwezigheid van een terugslagklep bij Tank B (uitstroomduur 5 s). Er zijn vier situaties mogelijk:

<sup>15</sup> Wanneer de pomp niet capaciteitsgeregeld is en niet stilvalt, is het uitstroomdebiet gelijk aan  $1,5 \times$  pompdebiet. De situatie kan zich dan voordoen dat het uitstroomdebiet bij een stilstaande pomp groter is dan bij een doordraaiende pomp.

<sup>16</sup> Wanneer bij tank A sprake is van een ingrijptijd van 10 s en bij tank B van een ingrijptijd van 5 s, komt het totale debiet overeen met  $((10 \times D_A) + (5 \times D_B))/10$ . De uitstroomduur van 10 s is daarbij korter dan de blootstellingsduur van 20 s, waardoor de resultaten voor die situatie conservatief zullen zijn. De totale uitgestroomde hoeveelheid is dan  $(10 \times D_A) + (5 \times D_B)$ .

Situatie	Ingrep 120 s werkt Tank A	Terugslagklep 5 s werkt Tank B	Bepaling debiet	Debiet (kg/s)
I	Ja	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	4,49
II	Ja	Nee	$D_A + D_B$	7,85
III	Nee	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	4,49
IV	Nee	Nee	$D_A + D_B$	7,85

4. Om de gezamenlijke uitstroming in SAFETI-NL goed te modelleren, moet iteratief de diameter van de losarm- of slang worden bepaald m.b.v. de volgende modellering:

Scenario: Line Rupture model

Inhoud:

Situatie	Bepaling inhoud	Inhoud (kg)
I	$120 \times 3,37 + 5 \times 4,48$	430
II	$120 \times 3,37 + 1800 \times 4,48$	8.500
III	Inhoud tankauto + $5 \times 4,48$	13.700
IV	Inhoud tankauto + $1800 \times 4,48$	21.700

Conditie: LNG (methaan) op  $-150^\circ\text{C}$  als *saturated liquid*

Pipe length: 16 m (tankauto, zie punt 1)

Diameter: iteratief totdat uitstroomdebiet overeenkomt met het debiet als bepaald onder punt 3.

Tankhead: 1 m (tankauto, zie punt 1)

Uitstroomhoogte: 1 m

Uitstroomrichting: horizontaal

Voor situaties I en III is de diameter 57,3 mm en voor situaties II en IV 73,0 mm. Deze diameters zijn terug te vinden in Tabel 21. Bovenstaande benadering blijft gelden wanneer de omstandigheden anders zijn, bijvoorbeeld bij andere debieten, een andere ligging van de opslagtank enz. (mits de wijze van verladen gelijk blijft).

### **Verladen met voordruk**

1. Bepaal het uitstroomdebiet uit tank A.

In dit voorbeeld wordt uitgegaan van een operator die een tankwagen lost, een losarm met een diameter van 2" en bij verladen wordt gebruik gemaakt van een voordruk van 7 bar. Om het uitstroomdebiet voor een 2"-leiding te bepalen, is gebruik gemaakt van de volgende modellering:

Scenario: Line Rupture model

Inhoud:  $33,7 \text{ m}^3$

Conditie: LNG (methaan) op  $-150^\circ\text{C}$  bij 7 bar overdruk

Pipe length: 5 m

Diameter: 2"

Tankhead: 1 m

Uitstroomhoogte: 1 m

Uitstroomrichting: horizontaal.

Deze modellering leidt tot een berekend uitstroomdebiet  $D_A$  van 24,4 kg/s.

2. Deze stap blijft ongewijzigd.  $D_B$  is 4,48 kg/s.

3. Bepaal het totale debiet. Voor de risicobepaling is de uitstroom in de eerste 20 seconden bepalend. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van operatoringrijpen bij Tank A (uitstroomduur 120 s) en

van de aanwezigheid van een terugslagklep bij Tank B (uitstroomduur 5 s). Er zijn vier situaties mogelijk:

Situatie	Ingreep 120 s werkt Tank A	Terugslagklep 5 s werkt Tank B	Bepaling debiet	Debiet (kg/s)
I	Ja	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	25,5
II	Ja	Nee	$D_A + D_B$	28,9
III	Nee	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	25,5
IV	Nee	Nee	$D_A + D_B$	28,9

4. Iteratief moet de diameter van de losarm- of slang worden bepaald m.b.v. de volgende modellering:

Scenario: *Line Rupture model*  
Inhoud:

Situatie	Bepaling inhoud	Inhoud (kg)
I	$120 \times 24,4 + 5 \times 4,48$	3000
II	$120 \times 24,4 + 1800 \times 4,48$	11.000
III	Inhoud tankauto + $5 \times 4,48$	13.700
IV	Inhoud tankauto + $1800 \times 4,48$	21.700

Conditie: LNG (methaan) op  $-150^\circ\text{C}$  bij 7 bar overdruk  
Pipe length: 5 m  
Diameter: iteratief totdat uitstroomdebiet overeenkomt met het debiet als bepaald onder punt 3.  
Tankhead: 1 m  
Uitstroomhoogte: 1 m  
Uitstroomrichting: horizontaal

Voor situaties I en III is de diameter 51,8 mm en voor situaties II en IV 54,6 mm. Deze diameters zijn terug te vinden in Tabel 21. Bovenstaande benadering blijft gelden wanneer de omstandigheden anders zijn, bijvoorbeeld bij andere debieten, een andere ligging van de opslagtank enz. (mits de wijze van verladen gelijk blijft).

### **Verladen met pomp en voordruk groter dan 2,5 bar**

1. Bepaal het uitstroomdebiet uit tank A.

In dit voorbeeld wordt uitgegaan van een operator die een tankwagen lost, een losarm met een diameter van 2" en bij verladen wordt gebruik gemaakt van een pomp in combinatie met een voordruk van 5 bar. Om het uitstroomdebiet voor een 2"-leiding te bepalen, is gebruik gemaakt van de volgende modellering:

Scenario: *Line Rupture model*  
Inhoud:  $33,7 \text{ m}^3$   
Conditie: LNG (methaan) op  $-150^\circ\text{C}$  bij 5 bar overdruk  
Pipe length: 100 m (= afstand tussen drukvat en breuklocatie)  
Diameter: 2"  
Tankhead: 1 m  
Uitstroomhoogte: 1 m  
Uitstroomrichting: horizontaal.

Deze modellering leidt tot een uitstroomdebiet  $D_A$  van 5,69 kg/s.

2. Deze stap blijft ongewijzigd.  $D_B$  is 4,48 kg/s.

3. Bepaal het totale debiet. Voor de risicobepaling is de uitstroom in de eerste 20 seconden bepalend. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van operatoringrijpen bij Tank A (uitstroomduur 120 s) en

van de aanwezigheid van een terugslagklep bij Tank B (uitstroomduur 5 s). Er zijn vier situaties mogelijk:

Situatie	Ingrep 120 s werkt - Tank A	Terugslagklep 5 s werkt - Tank B	Bepaling debiet	Debiet (kg/s)
I	Ja	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	6,8
II	Ja	Nee	$D_A + D_B$	10,2
III	Nee	Ja	$((20 \times D_A) + (5 \times D_B))/20$	6,8
IV	Nee	Nee	$D_A + D_B$	10,2

4. Iteratief moet de diameter van de losarm- of slang worden bepaald m.b.v. de volgende modellering:

Scenario: *Line Rupture model*

Inhoud:

Situatie	Bepaling inhoud	Inhoud (kg)
I	$120 \times 5,69 + 5 \times 4,48$	700
II	$120 \times 5,69 + 1800 \times 4,48$	8700
III	Inhoud tankauto + $5 \times 4,48$	13.700
IV	Inhoud tankauto + $1800 \times 4,48$	21.700

Conditie: LNG (methaan) op -150°C bij 5 bar overdruk

Pipe length: 100 m

Diameter: iteratief totdat uitstroomdebiet overeenkomt met het debiet als bepaald onder punt 3.

Tankhead: 1 m

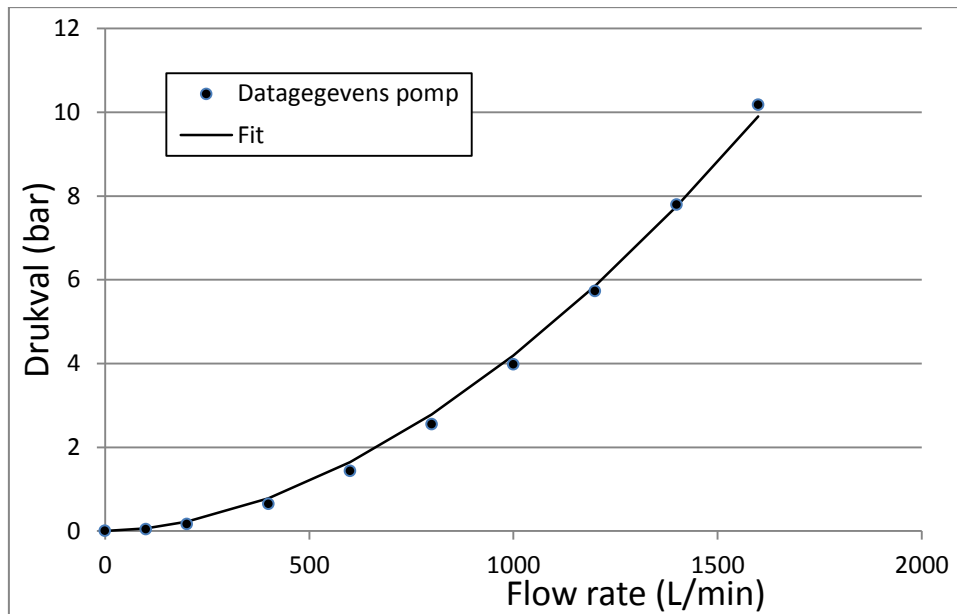
Uitstroomhoogte: 1 m

Uitstroomrichting: horizontaal

Voor situaties I en III is de diameter 54,4 mm en voor situaties II en IV 63,6 mm.

### Bijlage 3 Bepaling equivalente leidinglengte

Wanneer er sprake is van verladen van LNG met behulp van een pomp, is de aanname dat de pomp stopt in geval van breuk van de losslang of –arm. In Figuur 3 wordt de drukval over een stilstaande pomp gegeven als functie van de uitstroomsnelheid (L/min) [5]. De drukval moet gezien worden als de weerstandsafname van de pomp. In de modellering in SAFETI-NL kan deze weerstandsafname vertaald worden d.m.v. een leidinglengte. De weerstand die LNG ervaart in deze equivalente leidinglengte komt overeen met de weerstand die LNG ervaart in de pomp.



Figuur 3 Volumetrische stroomsnelheid over een stilstaande pomp als functie van de drukval tussen aanzuig- en uitstroomflens. De pomp is representatief voor verladen van een LNG-tankwagen.

Voor het omrekenen van de weerstandsafname van een pomp naar een equivalente leidinglengte wordt formule 1 veel gehanteerd [6]:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{q^{1,828} \times \rho^{0,828} \times \mu^{0,172}}{8,038 \times d^{4,828}} \quad (1)$$

met

- $\Delta P$  = drukverlies t.g.v. wrijving (Pa)
- $L$  = equivalente leidinglengte (m)
- $q$  = volumetrische flow rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $\rho$  = dichtheid ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $\mu$  = viscositeit van de vloeistof (Pa·s)
- $d$  = diameter leiding (m)

De curve uit bovenstaande figuur is gefit met

$$\Delta P = C \times q^{1,828} \text{ met } C = 7,4621 \times 10^8 \quad (2)$$

Het combineren van beide formules leidt tot de volgende formule voor de equivalente lengte<sup>17</sup>:

$$L = \frac{C \times 8,038 \times d^{4,828}}{\rho^{0,828} \times \mu^{0,172}} \quad (3)$$

Met  $d = 2''$ ,  $\rho = 458 \text{ kg/m}^3$  en  $\mu = 1,47 \cdot 10^{-4} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$  levert dit een equivalente leidinglengte op van 96,8 m. Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de equivalente lengte van 100 m die berekend wordt met SAFETI-NL (zie Bijlage 2, kader *Verladen met pomp en voordruk groter dan 2,5 bar*).

<sup>17</sup> De constante in deze vergelijking is niet reproduceerbaar.

## Bijlage 4 Verantwoording

In de verantwoording zal ingegaan worden op de volgende punten:

1. De temperatuur van het LNG in de tankauto en het opslagvat.
2. De relevantie van gasvoerende installatiedelen.
3. De faalfrequentie voor de losslang en losarm.
4. De faalfrequentie van het dubbelwandige drukvat.
5. De mogelijkheid van een warme BLEVE van de tankauto.
6. De relevantie van de bijdrage van terugstroming.
7. De relevantie van het pressure relieve scenario.
8. De relevantie van doorstroombegrenzers.
9. Het lossen van de tankauto via de pomp.

### **1. De temperatuur van het LNG in de tankauto en het opslagvat.**

Aangenomen is dat het LNG in de tankauto afkomstig is van een LNG-terminal waar het LNG atmosferisch is opgeslagen (bij circa -162 °C). De temperatuur van het LNG zal dan niet snel hoger zijn dan -160 °C. In de toekomst kan LNG echter ook afkomstig zijn van een tussenopslag waar het LNG onder druk wordt opgeslagen. De temperatuur van het LNG in de tankauto kan dan aanzienlijk hoger zijn. Voor het opslagvat geldt normaal gesproken dat de temperatuur in de tijd tussen de LNG-leveringen oploopt door warmte-inlek. De minimale temperatuur bedraagt dan ca. -160 °C en de maximale temperatuur ca. -130 °C (aanspreken van de overdrukbeveiliging). Bij een combinatie van LNG en CNG kan echter het boil-off gas gebruikt worden voor de CNG-installatie. Hiermee kan de temperatuur laag gehouden worden. In de rekenmethodiek is uitgegaan van -150 °C.

### **2. De relevantie van gasvoerende installatiedelen**

In de rekenmethodiek zijn alleen LNG-bevattende installatieonderdelen beschouwd. Leidingen met CNG zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de uitstroomhoeveelheid bij gas veel kleiner is dan bij vloeistof.

### **3. De faalfrequentie voor breuk van de losslang en losarm**

In afwachting van de uitkomst van een studie naar de faalfrequentie van de LNG-losslang, wordt conservatief uitgegaan van de volgende faalfrequenties:

- metalen losslang identiek aan een normale slang ( $4 \times 10^{-6}$  uur<sup>-1</sup>)
- composiet slang identiek aan de LPG slang ( $4 \times 10^{-7}$  uur<sup>-1</sup>)
- losarm identiek aan de normale losarm ( $3 \times 10^{-8}$  uur<sup>-1</sup>).

### **4. De faalfrequentie van het dubbelwandige drukvat**

In afwachting van de uitkomst van een studie naar de faalfrequentie van een dubbelwandige drukvat. Het is aannemelijk dat deze faalfrequentie lager zal liggen dan voor het enkelwandige vat. Vooralsnog is echter conservatief de faalfrequentie aangehouden van een enkelwandig drukvat.

### **5. De mogelijkheid van een warme BLEVE van de tankauto**

Een warme BLEVE van de tankauto wordt veroorzaakt door aanstraling van de tankauto door een externe hittebron. Wanneer de aanstraling boven het vloeistofniveau plaatsvindt, leidt dit tot lokale verzwakking van de tank en uiteinde-



lijk het falen hiervan. Voor dit scenario is aangesloten bij de methodiek voor LPG-tankauto's<sup>1</sup>.

In de LNG-methodiek is aangenomen dat bij een dubbelwandige, geïsoleerde tank de binnentank niet lokaal opwarmt maar over een groter gebied, waardoor er geen lokale verzwakking optreedt. De opwarming is ten gevolge van de isolatie beperkt, waardoor de drukverhoging kan worden opgevangen door het afblazen van NG. Een bijkomend effect kan zijn dat door het temperatuurverschil tussen binnen- en buitentank mogelijk extra spanningen optreden waardoor de tankauto wel faalt. Voor een dubbelwandige tankauto wordt het warme BLEVE scenario voorlopig daarom wel meegenomen, met de verlaagde frequentie van een gecoate LPG tankauto.

Uitgangspunt is dat alleen gerekend mag worden met dubbelwandige tankauto's als dat in de aanvraag van de Wm vergunning voldoende is geborgd. Wanneer dit niet het geval is, moet worden uitgegaan van een enkelwandige tankauto, waarbij aangesloten moet worden bij de faalfrequentie van de standaard LPG tankauto's. De uiteindelijke verantwoordelijkheid 'hoe te rekenen' ligt derhalve bij het bevoegd gezag.

## **6. De relevantie van de bijdrage van terugstroming**

Bij een breuk van de losslang of vulleiding zal er een terugstroming plaatsvinden uit het opslagvat<sup>10</sup>. Indien onderbouwd kan deze terugstroming beperkt blijven. In de modellering wordt deze extra uitstroming meegenomen door effectieve diameter van de leiding of slang aan te passen (zodat de uitstroomsnelheid en fakkellengte gelijk blijven). Voor de overige leidingen (na het opslagvat) is de terugstroming verwaarloosbaar.

## **7. De relevantie van het pressure relieve scenario**

Bij overdruk in het opslagvat zal uiteindelijk de overdruk worden afgelaten via de pressure relieve valve (PRV) op het dak van het opslagvat. Hiervoor is de aanname gemaakt dat dit scenario niet relevant is voor de risicoanalyse. Als controle is het PRV-scenario berekend met de volgende aannames: hoogte 10 meter, aantal 4 (normaal is slechts 1 PRV in gebruik), diameter 4" (2" gaf geen effecten), druk 10 en 20 bar (opslag en buffervat). In alle gevallen werd enkel een PR  $10^{-8}$  berekend (25 resp. 35 meter). De aanname is dus correct.

## **8. De relevantie van doorstroombegrenzers**

In de referentiestudie zijn geen doorstroombegrenzers meegenomen. Bij de aflevering van LNG aan de vrachtwagen zijn doorstroombegrenzers niet relevant t.o.v. het loslaten van de "bekrachtigingsknop"). Voor het lossen van een tankwagen zijn doorstroombegrenzers niet relevant. Reden hiervoor is dat bij het lossen via een pomp de uitstroming te gering is en bij het lossen met voordruk uitgegaan wordt van automatisch ingrijpen in 5 seconden.

## **9. Het lossen van de tankauto via de pomp**

Bij het lossen via de pomp van de tankauto wordt uitgegaan van breukscenario's waarbij de pomp geen pompdruk meer levert. De stilstaande pomp veroorzaakt wel een drukval in de leiding. Uit aangeleverde informatie blijkt dat deze drukval gelijk is aan de drukval van 97 meter leiding met een diameter van 2"5. Deze effectieve leidinglengte moet gebruikt worden in de maatwerk QRA voor de situatie waarin een pomp gebruikt wordt in combinatie met voordruk.

## Bijlage 5 Referentie tankstation

In deze bijlage worden de randvoorwaarden van de methodiek en de gemaakte keuzes voor het referentie tankstation aangegeven. Ook zijn de opties vermeld in de bijbehorende Excel rekenfile aangegeven.

### 1 De doorzet van het tankstation

- De doorzet van het tankstation bedraagt 5000 m<sup>3</sup> per jaar.
- Op basis van een losdebiet van de tankauto van 500 liter per minuut leidt dit tot een totale lostijd van 166,7 uur.
- Op basis van een leverdebiet van de afleverzuil van 160 liter per minuut leidt dit tot een totale levertijd van 520,8 uur.

Opties:

- Er kan gekozen worden voor een andere doorzet.

### 2 Tankauto

- De tankauto is dubbelwandig geïsoleerd.
- De inhoud van de tankauto is bruto 40 m<sup>3</sup>.
- De afsteldruk van de veerveiligheid is 10 bar.
- De temperatuur van het LNG is -150 °C.
- De effectieve inhoud van de tankauto is hiermee 38 m<sup>3</sup> bij -124 °C (95% vulling bij een druk van 10 bara = 13.640 kg). Bij -150 °C (2,4 bar) is de inhoud 33,7 m<sup>3</sup> [ 3].
- De grootste aansluiting heeft een diameter van 2".

Opties:

- Er kan gekozen worden voor een enkelwandige tankauto.
- Er kan gekozen worden voor een inhoud van 60 m<sup>3</sup>.

### 3 De verlading

- De verlading vindt plaats met behulp van een pomp bij de tankauto.
- Deze pomp is uitgevoerd zonder pakkingen (*canned*).
- Breuk van de pomp wordt gemodelleerd als uitstroming uit een 3" leiding<sup>18</sup>.
- Ingrijpen bij pompbreuk door operator na 120 seconden (faalkans 0,1).
- De losslang heeft een diameter van 2".
- Bij slangbreuk valt de pompdruk direct weg. De effectieve leidinglengte tot de breuk is 100 meter (97 meter door de weerstand van de pomp). De feitelijke hoogte van de pompdruk is hierdoor niet meer van belang.
- Ingrijpen bij slangbreuk door de operator na 120 seconden (faalkans 0,1).
- Het losdebiet bedraagt 500 liter per minuut.
- Er wordt gebruik gemaakt van een composietslang.

Opties:

- Er kan gekozen worden voor een voordruk van 7 bar. Hierbij is de leidinglengte tot de breuk 5 meter (geen pomp).
- Er kan gekozen worden voor automatisch inblokken bij breuk na 5 seconden (faalkans 0,001).
- Er kan gekozen worden voor een metalen slang of losarm.

<sup>18</sup> De BC gaf aan dat 3" een standaard aansluiting van de tankauto met de pomp is.

- In de voorbeeld rekenfile is het scenario van een voordruk van 2,5 bar in combinatie met een pomp uitgewerkt.

#### **4 Het opslagvat**

- De inhoud van het opslagvat bedraagt 40 m<sup>3</sup>.
- De vloeistofhoogte bedraagt 4 meter (horizontale tank).
- De afsteldruk van de veerveiligheid is 10 bar.
- De temperatuur van het LNG bedraagt -150 °C.
- De effectieve LNG inhoud bedraagt dan 15.385 kg (38 m<sup>3</sup> bij -150 °C).
- De pomp van het opslagvat zit buiten het vat en is uitgevoerd zonder pakkingen (*canned*).
- De gebruikstijd van de pomp is gelijk aan 110% van de levertijd van de afleverzuilen (10% voor het satureren van de buffervaten).

#### Opties:

- Er kan gekozen worden voor een inhoud tussen 40 en 80 m<sup>3</sup>.
- Er kan gekozen worden voor een *submerged* pomp in het vat of een pomp buiten het vat met pakkingen.
- Er kan gekozen worden voor een verticale tank met een vloeistofhoogte van 12 meter.

#### **5 Buffervaten**

- Er zijn twee buffervaten.
- De inhoud van de vaten bedraagt 10 m<sup>3</sup>.
- De vloeistofhoogte bedraagt 2 meter.
- De druk in de vaten is 9 en 18 bar (temperatuur -126 °C en -110 °C).
- De pompen zitten buiten het vat en zijn uitgevoerd zonder pakkingen (*canned*).
- De gezamenlijke gebruikstijd van de pompen is gelijk aan de levertijd van de afleverzuilen.

#### Opties:

- Er kan gekozen worden voor de uitvoering zonder buffervaten, waarbij het LNG tussen het opslagvat en de dispenser wordt geconditioneerd met behulp van een elektrische verwarming om de leiding (*in-line heater*). Deze wordt als een leiding gemodelleerd.
- Er kan gekozen worden voor pompen met pakkingen.

#### **6 Leidingen**

- De leiding tussen het vulpunt en opslagvat en de leiding tussen het opslagvat en de pomp hebben een diameter van 2".
- Alle overige leidingen hebben een diameter van 1".
- De leiding tussen buffervat en afleverzuil wordt ondergronds gemodelleerd.
- Alle overige leidingen worden bovengronds gemodelleerd.

#### Opties:

- Alle leidingen kunnen ondergronds of bovengronds gemodelleerd worden.

#### **7 Afleverzuilen**

- De slang van de afleverzuil heeft een diameter van 1".
- Bij breuk valt de pompdruk direct weg.
- Het loslaten van de bekrachtigingsknop leidt tot een scenario van 5 seconden (faalkans 0,01).
- Automatisch ingrijpen na 120 seconden (faalkans 0,001).

- Er wordt gebruik gemaakt van een composietslang.

Opties:

- Er kan gekozen worden voor een metalen slang.

## 8 Levering CNG

- Leiding naar hoge druk pomp 1".
- Na de pomp wordt LNG verdampt met behulp van elektrische verwarming (*in-line heater*).
- Bij breuk valt direct de pompdruk weg.

## 9 Maatwerk QRA

In Tabel 22 worden mogelijke uitvoeringen gegeven van een LNG tankstation die niet zonder meer met behulp van de Excel-sheet berekend kunnen worden, maar waarvoor aanvullende en/of gewijzigde scenario's moeten worden gedefinieerd. In de tabel zal tevens worden aangegeven op welke wijze dit gedaan kan worden.

*Tabel 22 Alternatieve uitvoeringen en berekeningswijzen.*

#	<i>Uitvoering</i>	<i>Modellerwijze</i>
1	Gebruik van de pomp van de tankauto in combinatie met voordruk.	Bij voordrukken onder de 2,5 bar is de uitstroming hierbij kleiner of gelijk aan het verlaaddebiet en moet het scenario uit de Excel-sheet voor breuk leiding na de pomp gemodelleerd worden. In het geval dat de voordruk groter is dan 2,5 bar moet daarnaast een alternatief leidingbreuk scenario gemodelleerd worden (als vloeistof onder druk) met een leidinglengte van 100 meter (weerstand stilstaande pomp voor een 2" leiding). De scenario's falen pomp (P1-P3) moeten gemodelleerd worden als vloeistof onder druk (voordruk). Hierbij moet verder rekening gehouden worden met de terugstroming uit de tank.
2	Gebruik van een voordruk hoger dan 7 barg (zonder pomp).	Het scenario leidingbreuk moet gemodelleerd worden als vloeistof onder druk (voordruk) met een leidinglengte tot de breuk van 5 meter. Hierbij moet verder rekening gehouden worden met de terugstroming uit het opslagvat.
3	Gebruik van een pomp die blijft werken bij het wegvallen van de druk.	Conform § 4.3.1 van module C van de HRB, moet voor de uitstroming 1,5 maal het pompdebiet genomen worden. Hierbij dient de terugstroming uit het vat nog bijgeteld te worden.

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 4  | Gebruik van een hogere afsteldruk van de veerveiligheid van de tankauto dan 10 bara.   | De scenario's BLEVE door brand moeten gedefinieerd worden met een hogere barstdruk (1,21 maal de afsteldruk). De netto inhoud van de tankauto dient ook aangepast te worden (deze is 95% bij de dichtheid behorende bij de afsteldruk (van een gesatureerde vloeistof).      |
| 5  | Het opslagvat wordt voorgeconditioneerd (reeds op hogere temperatuur gebracht in geval van aflevering zonder buffervaten).         | De scenario's van de opslagtank moeten met een hogere temperatuur gedefinieerd worden. Verder moet de terugstroming opnieuw berekend worden voor de scenario's breuk losslang en vulleiding (deze zullen door de hogere druk aanzienlijk groter zijn).                       |
| 6  | De afstand tussen vaten en daarop volgende pomp groter is dan 5 m.   | De leiding tussen het vat en de pomp moet als extraleiding meegenomen worden met een minimum lengte van 10 meter.  |
| 7  | De inhoud van het opslagvat groter is dan 80m <sup>3</sup> .   | De scenario's voor het opslagvat moeten aangepast worden. Verder kan een groter opslagvat leiden tot een hogere terugstroming.   |
| 8  | De inhoud van de buffervaten groter is dan 10m <sup>3</sup> .  | De scenario's voor de opslagvaten moeten aangepast worden.   |
| 9  | De losslang of vulleiding hebben een grotere diameter dan 2".  | De scenario's voor de losslang en vulleiding moeten conform de methodiek opnieuw bepaald worden.   |
| 10 | De leidingen na het opslagvat hebben een grotere diameter dan 1".  | In de breuk scenario's van de leidingen moet een grotere diameter opgenomen worden.  |
| 11 | Het losdebiet is hoger of lager dan 500 l/min.   | De frequenties voor de scenario's voor de tankauto en verlading moeten aangepast worden (gewijzigde aanwezigheidsduur en verladingduur). Het scenario breuk losslang en vulleiding kan aangepast worden op het gewijzigde debiet.  |
| 12 | Het debiet van de afleverzuil is lager dan 160 l/min.  | De frequenties voor alle pompen, leidingen na het opslagvat en de vulslangen moeten aangepast worden op basis van de grotere gebruiksfractie.  |
| 13 | De maximale vloeistofhoogtes in de vaten groter is dan:<br>Horizontaal opslagvat: 4m<br>Verticaal opslagvat: 12m<br>Buffervat: 2m. | De tankhead in de scenario's moet aangepast worden op de feitelijke maximale vloeistofhoogte. In geval van het opslagvat moet verder beoordeeld worden of de hogere tankhead leidt tot een significant hogere terugstroming in geval van breuk van de losslang of vulleiding |

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 14 | Tankauto's met LNG worden gestationeerd binnen de inrichting.  | De risicoanalyse moet worden aangevuld met de relevante scenario's conform HRB. Bekeken moet verder worden of de extra-aanwezige stoffen niet leiden tot een BRZO aanwijzing.  |
| 15 | Er worden structureel deelladingen gelost.   | Verwacht wordt dat dit enkel het geval zal zijn in de aanloopfase, wanneer de maximale doorzet van het tankstation nog niet bereikt is. In dat geval is de risicoanalyse op basis van de maximale doorzet conservatief.<br>Indien ook bij de maximale doorzet nog structureel deelladingen worden verwacht moeten de BLEVE scenario's conform de LPG-methodiek aangepast worden <sup>1</sup> . |
| 16 | Er is sprake van een zogenaamd wisselsysteem waarbij het opslagvat niet wordt gevuld maar gewisseld voor een vol vat (tijdelijke LNG-tankstations <sup>19</sup> .)                 | De scenario's voor de verlading vervallen. Bij gebruik van een hijskraan komen hiervoor de scenario's voor de overslag van de tankcontainer in de plaats. Geadviseerd wordt om de concept rekenmethodiek voor stuwadoorsbedrijven te gebruiken [7]. Er dient beschouwd te worden of er nog andere relevante scenario's zijn (doorboring door vorkheftruck, vallen van hoogte).                 |
| 17 | Als er kleppen sluiten binnen vijf seconden én de afstand tot de terreingrens is ergens groter dan 30 m én door de ligging van de PR 10 <sup>-6</sup> contour ontstaan knelpunten. | Neem contact op met RIVM om een eventuele aanpassing van de wijze van modellering te bespreken.  |
- 

<sup>19</sup> Over deze tankoplegger en multi-purpose tankcontainer ontbreekt informatie (beschrijving, inhoud, ADR eisen, voorzieningen/ maatregelen etc.). Voorstel is de faalfrequentie van een tankauto te hanteren.

## Referenties

- [1] RIVM, memo *QRA-berekeningen-LPG-tankstations-versie-29-05-08.pdf*.
- [2] RIVM, *Handleiding risicoberekeningen BEVI*, versie 3.2, 1 juli 2009.
- [3] PGS33, *Aardgas – Afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG)*, versie 1 juni 2013.
- [4] TNO, *Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation*, report no. 85-01237, 28 februari 1985.
- [5] Shell, mail *dP over a Cryostar CSH 185/4 pump when not in operation for NL QRA rekenmethodiek*, d.d. 14 september 2012 aan DCMR. Shell heeft de informatie als deelnemer van de begeleidingscommissie aangeleverd.
- [6] Campbell, J.M., *Gas conditioning and processing*, (vergelijking 10.23 op pagina 327), 2004.
- [7] RIVM, Concept rekenmethode voor stuwadoorsbedrijven. (6 juni 2011) zie <http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:48662&type=org&dispositio n=inline>