



Adviesgroep AVIV BV
Wethouder Beversstraat 185
7543 BK Enschede

Risicoanalyse / LNG/H2-tankstation Laarakker

Project 214463
Datum 13 juli 2021

Opdrachtgever
ContrAll
t.a.v. T. Stoop-Dijkman
Postbus 525
7300 AM Apeldoorn

Risicoanalyse / LNG/H2-tankstation Laarakker

Project 214463

Datum 13 juli 2021

Auteur(s) ing. A.M. op den Dries
ir. J. Heitink

Versie nr. 1.5

Opdrachtgever ContrAll
t.a.v. T. Stoop-Dijkman
Postbus 525
7300 AM Apeldoorn

Inhoudsopgave

1 Inleiding	4
2 Beschrijving inrichting	5
2.1 LNG-installatie	5
2.2 H2-installatie	6
2.3 Situatietekening	6
3 Ongevalsscenario's LNG	8
3.1 Selectie van bedrijfsonderdelen	8
3.2 Initiële faalfrequentie	8
3.3 Ongevalsscenario's opslagvat	11
3.4 Ongevalsscenario's dispenser pomp bij het opslagvat	12
3.5 Ongevalsscenario's overslag tankauto	12
3.6 Ongevalsscenario's vulleiding tankauto bij opslagvat	16
3.7 Ongevalsscenario's ondergrondse afleverleidingen	17
3.8 Ongevalsscenario's dispensers	17
4 Ongevalsscenario's waterstof	19
4.1 Selectie van bedrijfsonderdelen	19
4.2 Initiële faalfrequentie	19
4.3 Ongevalsscenario's flessencontainer	20
4.4 Bufferopslag cilinders	21
4.5 Hoge druk bufferopslag cilinders	21
4.6 Compressorsysteem	22
4.7 Dispenser 350 bar	22
4.8 Dispenser 700 bar	23
5 Overige aspecten	24
5.1 Parameters	24
5.2 Aanwezig rond de inrichting	24
6 Resultaat risicoberekening	26
6.1 Plaatsgebonden risico	26
6.2 Groepsrisico	29
7 Effectafstand	31
8 Conclusie	33
Referenties	34
Bijlage Invloed brandmuur op veiligheidsafstand	35

1 Inleiding

Het voornemen is op een bestaand reeds in werking zijnde tankstation deze uit te breiden met een LNG-, H2- en EV-installatie binnen bedrijvenpark Laarakker-Zuid te Haps (gemeente Cuijk). In het kader van de aanvraag voor de omgevingsvergunning is deze risicoanalyse opgesteld. Conform PGS 33-1 valt een LNG-tankstation niet onder het Bevi. De risicoanalyse van de LNG-installatie is opgesteld conform de Circulaire externe veiligheid LNG-tankstations met de landelijk vastgestelde rekenmethodiek.

Hoofdstuk 2 bevat een korte beschrijving van de inrichting. In hoofdstuk 3 worden de ongevalsscenario's vastgesteld waarmee de risicoberekening voor LNG wordt uitgevoerd. In hoofdstuk 4 worden de ongevalsscenario's voor waterstof beschreven. Hoofdstuk 5 bevat o.a. de modellering van de omgeving van de inrichting. Hoofdstuk 6 bevat het berekende plaatsgebonden risico en het groepsrisico. Het berekende risiconiveau wordt hier getoetst aan de normstelling externe veiligheid voor inrichtingen. Hoofdstuk 7 bevat de effectafstanden voor de ongevalsscenario's. Hoofdstuk 8 tenslotte bevat de conclusie.

In de bijlage is een notitie opgenomen over het afwijken van de interne veiligheidsafstanden en de benodigde dimensies van de brandmuur. Dit heeft geen invloed op de externe veiligheidsberekeningen.

2 Beschrijving inrichting

2.1 LNG-installatie

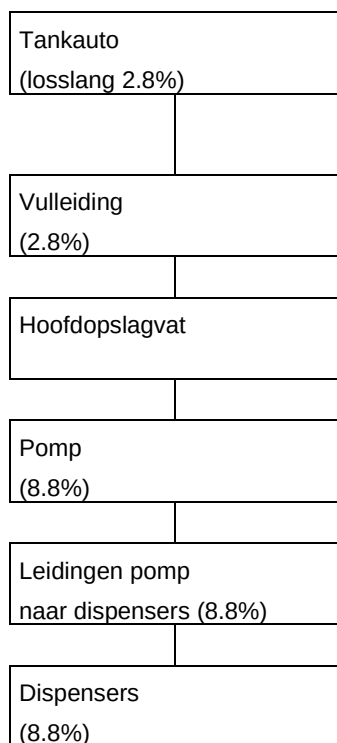
De afkorting LNG betekent: Liquefied Natural Gas, oftewel vloeibaar aardgas. LNG wordt in verschillende delen van de wereld al langere tijd gebruikt als motorbrandstof. Vloeibaar aardgas bestaat voornamelijk uit methaan. LNG heeft bij atmosferische druk een temperatuur van $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vloeibaar aardgas kan daarom onder de cryogene vloeistoffen worden geschaard. Vanwege de vloeibare vorm heeft LNG een grotere energie-inhoud per liter dan CNG. Dit maakt het uitermate geschikt voor langeafstandsvervoer.

Het vloeibaar aardgas wordt met een tankwagen of tankcontainer over de weg vervoerd en verpompt naar het hoofdopslagvat. Vanuit het hoofdopslagvat wordt LNG met een pomp (en een warmtewisselaar) verpompt naar de dispenser. De afleverdruk varieert tussen 3 en 9 bar(g). De dispenser (aflever-installatie) is vrijstaand en verbonden met de rest van de installatie via een ondergrondse leiding.

Voor het vullen van het opslagvat vanuit de tankauto wordt gebruik gemaakt van een losslang als verbinding tussen de tankauto en installatie.

De doorzet van LNG is 3000 ton/jr. Bij een temperatuur van $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ is de dichtheid 404.9 kg/m^3 . De doorzet is dan gelijk aan $7409\text{ m}^3/\text{jr}$. Het vuldebiet van het hoofdopslagvat vanuit een tankauto is 500 l/min. Er vindt dan gedurende circa 247 uur per jaar aanvoer van LNG plaats (dit is 2.8% van het jaar). Het debiet bij aflevering van LNG is circa 160 l/min. Er vindt dan gedurende circa 772 uur per jaar aflevering van LNG plaats (dit is 8.8% van het jaar).

Figuur 1 toont een schematische weergave van de verschillende onderdelen van de installatie. Bij de pompen en leidingen is aangegeven welk gedeelte van de tijd ze in bedrijf zullen zijn. Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de aanvraag voor de omgevingsvergunning en de bij de aanvraag gevoegde situatietekening.



Figuur 1. Schematische weergave onderdelen van de LNG- installatie

2.2 H2-installatie

Het waterstofvulstation bestaat uit een aantal componenten:

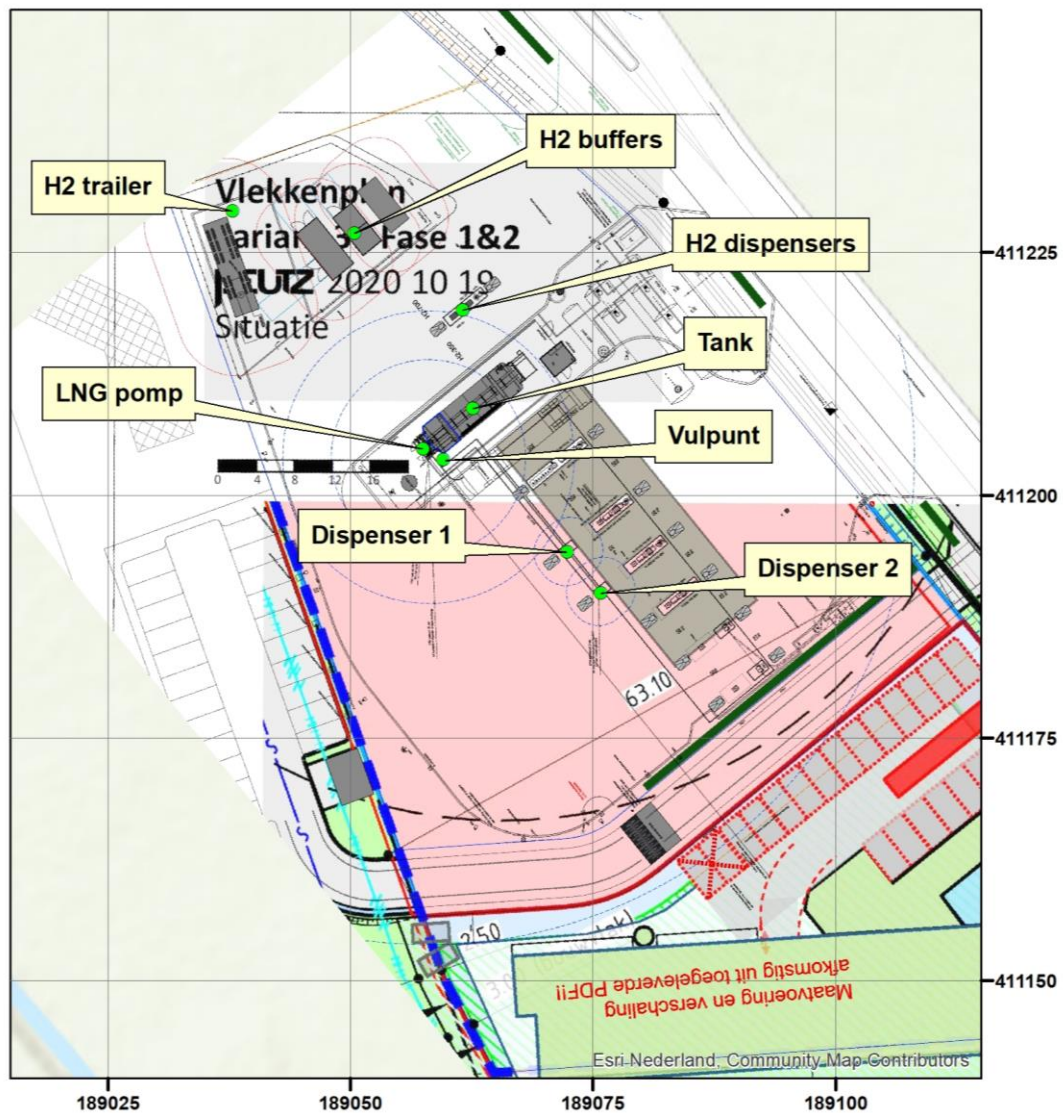
- Stalling van waterstofcontainer welke dienstdoet als bufferopslag.
- De compressor.
- De bufferopslag met cilinders.
- De hoge druk bufferopslag met cilinders.
- De losverbinding tussen de dispenser en het motorvoertuig.

De doorzet is 1000 kg waterstof per dag verdeeld over de 350 en 700 bar vulinstallatie.

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de aanvraag voor de omgevingsvergunning.

2.3 Situatietekening

Figuur 2 toont schematisch de situatietekening van de inrichting met de positie van de belangrijkste onderdelen van de installatie.



Figuur 2. Situatietekening

3 Ongevalsscenario's LNG

3.1 Selectie van bedrijfsonderdelen

De volgende onderdelen en/of activiteiten voor de LNG-installatie zijn gemodelleerd (zie ook figuur 1 en 2):

- Het opslagvat.
- De pomp voor aflevering naar de dispenser.
- De bevoorrading met een tankauto.
- De ondergrondse vulleiding van het vulpunt naar het opslagvat.
- De ondergrondse leiding tussen de pomp en de dispenser.
- De afleververbinding tussen de dispenser en de vrachtauto.

Er worden geen scenario's gemodelleerd voor leidingen die alleen gas bevatten. Het effect van deze scenario's is verwaarloosbaar klein.

De scenario's voor deze installatie-onderdelen worden beschreven in paragraaf 3.3 t/m 3.9. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de standaard scenario's voor onderdelen zoals voorgeschreven in de definitieve versie van het Rekenvoorschrift LNG-Tankstations [2]. Deze standaard scenario's voor de onderdelen worden getoond in paragraaf 3.2.

3.2 Initiële faalfrequentie

Tabel 1 toont de initiële faalfrequentie voor onderdelen van de installatie zoals voorgeschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi [1] en het Rekenvoorschrift LNG-Tankstations [2].

Component	Faalwijze	Frequentie
Drukvat	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 mm gat	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
Tankauto	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu grootste aansluiting	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Pomp (met pakking) breuk	$1.0 \cdot 10^{-4}$ /jr
	Pomp (met pakking) lekkage	$4.4 \cdot 10^{-3}$ /jr
	Losslang composiet breuk	$4.0 \cdot 10^{-7}$ /uur
	Losslang composiet lekkage	$4.0 \cdot 10^{-5}$ /uur
	BLEVE door brand tijdens verlading	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /uur
	BLEVE door brand in de omgeving	Zie tekst hierna
	BLEVE door externe impact	Zie tekst hierna
Pomp (canned)	Breuk	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
	Lekkage	$5.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
Leiding ondergronds < 3"	Breuk	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /m-jr
	Lekkage	$1.5 \cdot 10^{-6}$ /m-jr
Losslang composiet (gebruikt voor slang aflever-installatie)	Breuk	$4.0 \cdot 10^{-7}$ /uur
	Lekkage	$4.0 \cdot 10^{-5}$ /uur

Tabel 1. Initiële faalfrequentie onderdelen van de installatie

Bevoorrading vindt plaats met een tankauto, waarbij een composiet losslang wordt gebruikt voor de verbinding met het vulpunt. Ook de slangverbinding tussen de dispenser (aflever-installatie) en de vrachtauto is een composiet losslang.

Voor de op- en overslag van tot vloeistof gekoeld (cryogeen) gas zijn voor een drukkvat en een tankauto niet specifiek scenario's voorgeschreven. Dit zijn multilayer geïsoleerde dubbelwandige tanks, zodat verwacht mag worden dat bij het scenario instantaan falen een BLEVE minder frequent zal kunnen voorkomen dan bij een enkelwandige druktank. De scenario's voor een enkelwandige druktank zullen worden gehanteerd, waarbij een BLEVE nog mogelijk is bij de werkdruk van het insluitsysteem (en niet bij een verhoogde druk).

Voor een BLEVE veroorzaakt door een brand van het LNG-systeem tijdens verlading wordt uitgegaan van een frequentie van $5.8 \cdot 10^{-10}$ /uur voor een onbeschermd tankauto (enkelwandig zonder hittewerende coating). Bij een dubbelwandige geïsoleerde tankauto wordt de BLEVE-frequentie verlaagd met een factor twintig. Aangenomen wordt dat de tankauto maximaal is gevuld.

Voor een BLEVE veroorzaakt door een brand in de omgeving wordt de omgeving van de opstelplaats van de LNG-tankauto beschouwd. Als de afstand tussen met name genoemde objecten en de opstelplaats kleiner is dan een toetsingsafstand, dan kan de brand van een object leiden tot een BLEVE van de tankauto. De toetsing wordt uitgevoerd voor de benzine en LNG/LPG-afleverzuil, voor gebouwen en voor de opstelplaats van de benzinetankauto. Tabel 2 toont de toetsingsafstand.

Object omgevingsbrand		Toetsingsafstand [m]
LNG/LPG-afleverzuil personenauto's		17.5
Benzine afleverzuil personenauto's		5
Opstelplaats benzinetankauto		25
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 2. Toetsing bijdrage omgevingsbrand aan de BLEVE-frequentie (toetsingsafstand conform stappenplan RIVM)

De frequentie op een brand nabij de LNG-tankauto is afhankelijk van de uitkomst van de toetsing. Tabel 3 toont de frequentie. Aangenomen wordt dat de tankauto maximaal is gevuld. De kans dat een brand in de omgeving leidt tot een BLEVE is 0.19. Bij een dubbelwandige geïsoleerde tankauto wordt de BLEVE-frequentie verlaagd met een factor twintig.

LNG/LPG afleverzuil	Benzine afleverzuil	Opstelplaats tankauto	Gebouw	Frequentie [/jr]
Ja	Ja	Ja	Ja	2.0 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	1.0 10 ⁻⁶
Ja	Nee	Ja	Nee	
Nee	Nee	Nee	Ja	
Ja	Ja	Nee	Nee	8.0 10 ⁻⁷
Nee	Ja	Ja	Nee	
Ja	Nee	Nee	Nee	6.0 10 ⁻⁷
Nee	Nee	Ja	Nee	
Nee	Ja	Nee	Nee	4.0 10 ⁻⁷
Nee	Nee	Nee	Nee	2.0 10 ⁻⁷

Tabel 3. Frequentie van een brand nabij de LNG-tankauto voor een aanwezigheid van 50 uur per jaar

Een BLEVE van de tankauto kan ook plaatsvinden door externe impact (aanrijdingen). De frequentie is afhankelijk van het type opstelplaats. Tabel 4 toont de specifieke BLEVE

frequentie. De BLEVE wordt gemodelleerd met de barstdruk gelijk aan de evenwichtsdruk in de tankauto.

Opstelplaats tankauto	Frequentie [jr]
Geïsoleerde opstelplaats waarbij een aanrijding van opzij tegen de leidingkast niet aannemelijk wordt geacht (ook niet met lage snelheid)	$2.5 \cdot 10^{-9}$
Opstelplaats op een (wegrij)strook met een toegestane snelheid van maximaal 70 km/uur	$4.8 \cdot 10^{-8}$
Overige situaties	$2.3 \cdot 10^{-7}$

Tabel 4. BLEVE frequentie tankauto door mechanische inslag (aanrijdingen) voor een aanwezigheid van 50 uur per jaar

3.3 Ongevalsscenario's opslagvat

Tabel 5 toont de kenmerken van het opslagvat benodigd voor de modellering.

Kenmerk	Opslagvat
Inhoud bruto [m ³]	68.5
Vulgraad maximaal	95%
Werktemperatuur [°C]	-124
Werkdruk [bar(g)]	9
Insteldruk veerveiligheid [bar(g)]	10

Tabel 5. Kenmerken opslagvat

Tabel 6 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's van een opslagvat. Bij het instantaan vrijkomen wordt geen BLEVE gemodelleerd bij verhoogde druk, omdat het opslagvat dubbelwandig is uitgevoerd. Het afblazen van de veiligheid op hoogte is wegens te verwaarlozen letale effecten op grondniveau niet meegenomen in de risicoberekening.

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$	23.4 ton	Maximale inhoud
Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$	38.9 kg/s	Maximale inhoud in 600 s
Continu 10 mm	$1.0 \cdot 10^{-5}$	1.2 kg/s	Diameter 10 mm

Tabel 6. Ongevalsscenario's opslagvat

3.4 Ongevalsscenario's dispenser pomp bij het opslagvat

Bij het opslagvat staat bovengronds een pomp opgesteld. Het betreft een pomp die werkt vanaf het opslagvat naar de dispenser. Voor de faalfrequentie wordt deze pomp gemodelleerd als canned (zonder pakking). De pomp is circa 8.7% van de tijd in gebruik (7.9% voor levering van LNG en extra 0.8% voor rondpompen). Een breuk van de pomp leidt tot uitstroming uit een leiding met een diameter van 2" die rechtstreeks is verbonden met het opslagvat.

Tabel 7 toont de ongevalsscenario's zonder doorstroombegrenzer in de leiding tussen het opslagvat en de pomp. De bronsterkte is berekend met Safeti-NL door uit te gaan van een leiding aan een vat met een lengte van 5 m.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk	0.087 (tijdsfractie in bedrijf) $\times$ $1.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Lekkage	0.087 (tijdsfractie in bedrijf) $\times$ $5.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per jaar in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Breuk	$8.7 \cdot 10^{-7}$	11.0	Diameter 50 mm, lengte 5 m, duur 1800 s
Lekkage	$4.4 \cdot 10^{-6}$	0.3	Diameter 5 mm, duur 1800 s

Tabel 7. Ongevalsscenario's dispenser pomp aangesloten aan het opslagvat

3.5 Ongevalsscenario's overslag tankauto

De doorzet van LNG is 7409 m³/jr. Er is aangenomen dat de bevoorrading plaatsvindt met een dubbelwandige geïsoleerde tankauto. De tankauto heeft een bruto inhoud van 60 m³ en een effectieve inhoud van 57 m³ (dit is 95% vulling bij de afsteldruk van de veerveiligheid van 10 bar(g)). Bij aankomst is de druk 1.4 bar(g) bij een temperatuur van -150 °C. Tijdens het lossen wordt de druk in de tankauto verhoogd naar maximaal 3.2 bar(g). Het pompdebiet is 500 l/min. De tijd voor het lossen is dan 247 uur per jaar. Aangenomen is dat de tankauto 1.5 keer zo lang op de inrichting aanwezig is (totaal 370.5 uur, dit is 4.2% van het jaar). Het lossen vindt plaats met een composiet losslang.

Bij het scenario breuk van de pomp zal de operator ingrijpen en wordt onmiddellijk de pomp gestopt en de bodemklep van de tankauto gesloten. Conform de handleiding is aangenomen dat de kans op succes ingrijpen door de operator gelijk is aan 0.9 en de uitstroomduur is dan 120 s. Bij het scenario lekkage van de pomp is ingrijpen niet gemodelleerd. De bronsterkte bij breuk van de pomp is berekend door uit te gaan van breuk van de zuigleiding (2") bij de pomp. De bronsterkte daarvan is berekend met Safeti-NL door uit te gaan van een leiding aan een vat met een lengte van 5 m. De bronsterkte is 14.9 kg/s bij een druk van 3.2 bar(g) in de tankauto.

Bij het scenario breuk van de losslang mag worden aangenomen dat de druk in de slang vrijwel onmiddellijk wegvalt, omdat de inhoud van de slang relatief klein is. Er is een lage druk sensor geïnstalleerd die is aangesloten op het ESD-systeem van de installatie en de tankauto. Dit systeem detecteert automatisch een breuk van de losslang, stopt de pomp en sluit de bodemklep van de tankauto en de ESD-klep bij de tank. De kans op succes is gelijk aan 0.99 en de uitstroomduur is dan 5 s. Het is te conservatief om de bronsterkte te baseren op de condities in de slang vlak voordat de breuk optreedt. Deze condities bepalen weliswaar de initiële bronsterkte, maar de afname in bronsterkte door het wegvallen van de pompdruk is snel. De vulleiding lost in de tank boven het vloeistofniveau. Bij breuk van de slang zal eerst de inhoud van de leiding vanaf de plaats van de breuk tot de tank uitstromen en vervolgens dient rekening te worden gehouden met terugstroming van damp uit de ontvangende tank.

Terugstroming wordt eveneens verhinderd door terugslagkleppen in de vulleiding. Voor de uitstroomtijd bij het juist functioneren van een terugslagklep is 5 s voorgeschreven. Deze tijdsduur is gelijk aan de gekozen tijdsduur voor het juist functioneren van het noodstopsysteem. Gelet hierop is het juist functioneren van de terugslagklep niet aanvullend gemodelleerd.

Het scenario breuk van de losslang is gemodelleerd als een "fixed duration" uitstroming. De bronsterkte wordt bepaald door de pomp en door terugstroming uit het opslagvat. Het pompdebiet is 500 l/min. De bronsterkte aan de zijde van de pomp is dan 3.4 kg/s. Voor het bepalen van de bronsterkte door terugstroming vanuit het opslagvat wordt uitgegaan van vulling aan de dampzijde van het opslagvat. Tijdens het vullen zal de druk in het opslagvat snel dalen vanaf de maximale werkdruk van 9 bar(g) tot minimaal 3 bar(g). Terugstroming leidt tot uitstroming van de vloeistof aanwezig in de vulleiding en vervolgens van damp uit een 2" gat uit een leiding 18 m vanaf het opslagvat met een druk van 3 bar(g) en een temperatuur van -150 °C. De inhoud van de vulleiding is circa 14.3 kg vloeistof. Deze leiding loopt dan leeg met een debiet van circa 2.9 kg/s. Deze benadering is conservatief, er kan ook worden aangenomen dat geen terugstroming optreedt, zoals bij het vaststellen van het interim beleid wordt gedaan. Als de noodstop en de terugslagklep niet succesvol zijn, dan vindt na het leeglopen van de leiding nog uitstroming van damp plaats met een debiet van circa 0.6 kg/s.

	Noodstop Ok?	Terugslagklep Ok?	Bronsterkte
Breuk	0.99		
	Ja		Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 5 s. Duur terugstroming is eveneens 5 s. Bronsterkte is 3.4 kg/s (pomp) plus 2.9 kg/s (terugstroming). Totaal 6.3 kg/s en duur 5 s.
		0.94	
		Ja	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 1800 s. Duur terugstroming is 5 s. Bronsterkte is 3.4 kg/s (pomp) plus 0.0 kg/s (terugstroming is verwaarloosbaar). Totaal 3.4 kg/s en duur 1800 s.
	0.01		
	Nee		
		0.06	
		Nee	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 1800 s. Duur terugstroming is 1800 s. Bronsterkte is 3.4 kg/s (pomp) plus 0.6 kg/s (terugstroming). Totaal 4.0 kg/s en duur 1800 s.

Voor een omgevingsbrand geldt dat de afstand tussen de opstelplaats van de LNG-tankauto en een aantal met name genoemde objecten groter moet zijn dan de minimaal benodigde afstand. Toetsing wordt uitgevoerd voor de benzine en LNG/LPG-afleverzuil, gebouwen en voor de opstelplaats van de benzinetankauto. De opstelplaats voor de benzineauto is dezelfde als voor de LNG-tankauto. De kunnen daarmee niet tegelijkertijd aan het verladen zijn. De toetsingsafstand is voor dit object dan ook niet van toepassing. Tabel 8 vat de beoordeling samen. De frequentie op een omgevingsbrand voor 100 verladings met een duur van 50 uur is dan afgerond $6 \cdot 10^{-7}$.

Object omgevingsbrand		Toetsings afstand [m]	Vulpunt binnen deze afstand?
LNG/LPG-afleverzuil personenauto's ¹		17.5	Ja
Benzine afleverzuil personenauto's		5	Nee
Opstelplaats benzinetankauto		25	n.v.t.
Gebouw zonder brandbescherming	Hoogte < 5 m	10	Nee
	5 m < hoogte < 10 m	15	Nee
	Hoogte > 10 m	20	Nee
Gebouw met brandbescherming (en maximaal 50% gevelopeningen)	Hoogte < 5 m	5	Nee
	5 m < hoogte < 10 m	10	Nee
	Hoogte > 10 m	15	Nee

Tabel 8. Toetsing bijdrage omgevingsbrand aan de BLEVE-frequentie

¹ De H₂-afleverzuil ligt binnen de toetsingsafstand voor LNG/LPG-afleverzuilen van 17.5 m. Omdat de effectafstanden van de H₂-afleverzuil 2 keer zo klein zijn als de effectafstanden van de LNG-afleverzuil wordt aangenomen dat ook de toetsingsafstand 2 keer zo klein is. De H₂-afleverzuil ligt op 15 m van het vulpunt en ligt hiermee buiten de toetsingsafstand.

Een BLEVE van de tankauto kan ook plaatsvinden door externe impact (aanrijdingen). De frequentie is afhankelijk van het type opstelplaats. Voor dit tankstation wordt uitgegaan van de waarde voor een geïsoleerde opstelplaats van $2.5 \cdot 10^{-9}$ voor 100 verladingen met een duur van 50 uur. Externe impact is gemodelleerd als een BLEVE bij een druk van 1.4 bar(g).

Tabel 9 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van LNG per tankauto. Het lossen kan zowel overdag (tussen 7:00 en 19:00 uur) als 's avonds plaatsvinden (tussen 19:00 en 23:00 uur). Aangenomen is dat het lossen 75% overdag en 25% 's avonds plaatsvindt.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	0.04 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	0.04 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Breuk pomp noodstop Ok	247 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 1.0 \cdot 10^{-4}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol)
Breuk pomp noodstop niet Ok	247 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 1.0 \cdot 10^{-4}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf) $\times 0.1$ (kans noodstop niet succesvol)
Lekkage pomp	247 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Breuk losslang noodstop Ok	247 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.99$ (kans noodstop succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok en terugstroomklep Ok	247 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.01$ (kans noodstop niet succesvol) $\times 0.94$ (kans terugslagklep succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok en terugstroomklep niet Ok	247 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.01$ (kans noodstop niet succesvol) $\times 0.06$ (kans terugslagklep niet succesvol)
Lekkage losslang	247 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)
BLEVE door brand tijdens lossen	247 (uren in bedrijf) $\times 5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie per uur in bedrijf) $\times 0.05$ (kans BLEVE voor een dubbelwandige vacuüm geïsoleerde tankauto)
BLEVE door brand in de omgeving	370.5 (uren aanwezig) / $50 \times 6.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per 50 uur aanwezig) $\times 0.19$ (kans aanstraling damp ruimte) $\times 0.05$ (kans BLEVE voor een dubbelwandige vacuüm geïsoleerde tankauto)
BLEVE door externe impact	370.5 (uren aanwezig) / $50 \times 2.5 \cdot 10^{-9}$ (frequentie per 50 uur aanwezig voor een geïsoleerde opstelplaats)

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$2.1 \cdot 10^{-8}$	23.1 ton	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$2.1 \cdot 10^{-8}$	28.8 kg/s	Vloeistof 75 mm gat, duur 802 s
Breuk pomp noodstop Ok	$2.5 \cdot 10^{-6}$	14.9 kg/s	Diameter 50 mm, leidinglengte 5 m, duur 120 s
Breuk pomp noodstop niet Ok	$2.8 \cdot 10^{-7}$	14.9 kg/s	Diameter 50 mm, leidinglengte 5 m, duur 1551 s
Lekkage pomp	$1.2 \cdot 10^{-4}$	0.2 kg/s	Vloeistof 7.5 mm gat, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop Ok	$9.8 \cdot 10^{-5}$	6.3 kg/s	Bronsterkte zie tekst, duur 5 s
Breuk losslang noodstop niet Ok en terugstroomklep Ok	$9.3 \cdot 10^{-7}$	3.4 kg/s	Bronsterkte zie tekst, duur 1800 s

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk losslang noodstop niet Ok en terugstroomklep niet Ok	$5.9 \cdot 10^{-8}$	4.0 kg/s	Bronsterkte zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$9.9 \cdot 10^{-3}$	0.2 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s
BLEVE door brand tijdens lossen	$7.2 \cdot 10^{-9}$	23.1 ton	Maximale inhoud, druk 9.8 bar(g)
BLEVE door brand in de omgeving	$4.2 \cdot 10^{-8}$	23.1 ton	Maximale inhoud, druk 9.8 bar(g)
BLEVE door externe impact	$1.9 \cdot 10^{-8}$	23.1 ton	Maximale inhoud, druk 1.4 bar(g), temperatuur -150 °C

Tabel 9. Ongevalsscenario's overslag tankauto

3.6 Ongevalsscenario's vulleiding tankauto bij opslagvat

De vulleiding van het vulpunt naar het opslagvat heeft een diameter van 50 mm en een lengte van circa 5 m. De leiding wordt gedurende 247 uur per jaar gebruikt voor vullen (dit is 2.8% per jaar). Het pompdebiet is 500 l/min. Tevens vindt er bij breuk terugstroming plaats vanuit het opslagvat. Conform de rekenmethodiek leidt dit niet tot een hogere uitstroomsnelheid, alleen de uitstroomduur neemt toe. Tabel 10 toont de ongevalsscenario's. De frequentie is berekend voor de lengte van een leidingsectie van 5 m. De bronsterkte is dezelfde als voor de losslang scenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk vulleiding noodstop Ok terugslagklep Ok	0.028 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per meter per jaar in bedrijf) $\times 5$ (leidinglengte in m) $\times 0.99$ (kans noodstop succesvol)
Breuk vulleiding noodstop niet Ok terugslagklep Ok	0.028 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf) $\times 5$ (leidinglengte in m) $\times 0.01$ (kans noodstop niet succesvol) $\times 0.94$ (kans terugslagklep succesvol)
Breuk vulleiding noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	0.028 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf) $\times 5$ (leidinglengte in m) $\times 0.01$ (kans noodstop niet succesvol) $\times 0.06$ (kans terugslagklep niet succesvol)
Lekkage vulleiding	0.028 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 1.5 \cdot 10^{-6}$ (frequentie lekkage per jaar in bedrijf) $\times 5$ (leidinglengte in m)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk vulleiding noodstop Ok terugslagklep Ok	$7.0 \cdot 10^{-8}$	6.3 kg/s	Bronsterkte zie tekst paragraaf 3.5, duur 5 s
Breuk vulleiding noodstop niet Ok terugslagklep Ok	$6.6 \cdot 10^{-10}$	3.4 kg/s	Bronsterkte zie tekst paragraaf 3.5, duur 1800 s
Breuk vulleiding noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	$4.2 \cdot 10^{-11}$	4.0 kg/s	Bronsterkte zie tekst paragraaf 3.5, duur 1800 s
Lekkage vulleiding	$2.1 \cdot 10^{-7}$	0.2 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s

Tabel 10. Ongevalsscenario's vulleiding

3.7 Ongevalsscenario's ondergrondse afleverleidingen

De ondergrondse afleverleidingen van de pomp naar de dispensers hebben een diameter van 25 mm en een lengte van circa 22 en 28 m. De leidingen zijn elk circa 4.4% van het jaar in gebruik. Het maximale pompdebiet is 160 l/min. Voor de bronsterkte bij breuk wordt 1.6 kg/s aangenomen (dit is 1.5 keer het afleverdebiet). Deze bronsterkte wordt onafhankelijk verondersteld van de afleverdruk. Voor de lekkage wordt uitgegaan van 9 bar(g). De bijdrage van deze ongevalsscenario's aan het risico is gering, er is daarom geen rekening gehouden met het noodstopsysteem. Tabel 11 toont de ongevalsscenario's voor de langste ondergrondse afleverleiding.

Leiding	Scenario	Toelichting frequentie
Pomp opslagvat naar dispenser	Breuk	0.044 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie breuk per meter per jaar) $\times 28$ (leidinglengte in m)
	Lekkage	0.044 (tijdsfractie in bedrijf) $\times 1.5 \cdot 10^{-6}$ (frequentie lekkage per jaar) $\times 28$ (leidinglengte in m)

Leiding	Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Pomp opslagvat naar dispenser	Breuk	$6.2 \cdot 10^{-7}$	1.6	Pompdebiet 150%, duur 1800 s
	Lekkage	$1.9 \cdot 10^{-6}$	0.1	Vloeistof 2.5 mm gat, 7 bar(g), duur 1800 s

Tabel 11. Ongevalsscenario's ondergrondse afleverleiding

3.8 Ongevalsscenario's dispensers

De dispensers (aflever-installaties) zijn circa 8.8% van het jaar in gebruik voor het afleveren van LNG naar een vrachtauto (dit is 772 uur). Het pompdebiet is maximaal 160 l/min. Voor de faalfrequentie van de afleververbinding is die van een composiet losslang gebruikt. De diameter van de slang is 25 mm. Er is een bekrachtigingsknop en een automatisch noodstopsysteem gebaseerd op gasdetectie en meting van flow en druk. De kans op falen van de bekrachtigingsknop is 0.01. Bij juiste werking is de uitstroomtijd beperkt tot 5 s. De kans op falen per aanspraak van het noodstopsysteem is 0.001 en de tijd nodig voor het sluiten van de inlokafsluiters is 120 s. De gevolgen van een lekkage zijn verwaarloosbaar, het noodstopsysteem is voor dit scenario niet gemodelleerd. Voor de bronsterkte bij breuk wordt 1.6 kg/s aangenomen, zoals eerder afgeleid voor het falen van de afleverleiding. Deze bronsterkte is onafhankelijk van de afleverdruk. Voor de lekkage wordt uitgegaan van 9 bar(g). Tabel 12 toont de ongevalsscenario's per dispenser.

Slang	Scenario	Toelichting frequentie
Dispenser	Breuk bekrachtigingsknop Ok	$386 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-7} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.99 \text{ (bekrachtigingsknop succesvol)}$
	Breuk bekrachtigingsknop niet Ok, noodstop Ok	$386 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-7} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.01 \text{ (bekrachtigingsknop niet succesvol)} \times 0.999 \text{ (kans noodstop succesvol)}$
	Breuk bekrachtigingsknop niet Ok, noodstop niet Ok	$386 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-7} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.01 \text{ (bekrachtigingsknop niet succesvol)} \times 0.001 \text{ (kans noodstop niet succesvol)}$
	Lekkage	$386 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-5} \text{ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)}$

Slang	Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg]	Toelichting
Dispenser	Breuk bekrachtigingsknop Ok	$1.5 \cdot 10^{-4}$	1.6	Zie tekst, duur 5 s
	Breuk bekrachtigingsknopniet Ok, noodstop Ok	$1.5 \cdot 10^{-6}$	1.6	Zie tekst, duur 120 s
	Breuk bekrachtigingsknopniet Ok, noodstop niet Ok	$1.5 \cdot 10^{-9}$	1.6	Zie tekst, duur 1800 s
	Lekkage	$1.5 \cdot 10^{-2}$	0.1	Vloeistof 2.5 mm gat, druk 9 bar(g), duur 1800 s

Tabel 12. Ongevalsscenario's per dispenser

4 Ongevalsscenario's waterstof

4.1 Selectie van bedrijfsonderdelen

De risicoanalyse is uitgevoerd voor het waterstofvulstation. De volgende insluitsystemen en/of activiteiten zijn gemodelleerd voor zowel het 450 als het 900 bar station:

- Stalling van waterstofcontainer welke dienstdoet als bufferopslag.
- De compressor.
- De bufferopslag met cilinders.
- De hoge druk bufferopslag met cilinders.
- De losverbinding tussen de dispenser en het motorvoertuig.

De compressor is opgesteld in een omkasting. Voor de risicoanalyse is de invloed van de omkasting op de gevolgen van de ongevalsscenario's niet gemodelleerd. Met Safeti-NL is het niet goed mogelijk om de gevolgen van het vrijkomen van een gas in een omkasting te modelleren. Aangenomen is dat de waterstof in de open lucht vrijkomt.

4.2 Initiële faalfrequentie

Tabel 14 toont de initiële faalfrequentie voor onderdelen van de installatie zoals voorgeschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi [1] en een specifiek rekenvoorschrift voor gascilinders [5] en een recente notitie voor waterstof tankstations [7].

Component	Faalwijze	Frequentie
Cilinder (<150L)	Breuk	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Lekkage 3.3 mm gat	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Brand in de omgeving van de gascilinder	Zie tekst
Cilinderpakket	Zie tekst	Zie tekst
Cilinder (>150L)	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 mm gat	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
Compressor	Breuk	$1.0 \cdot 10^{-4}$ /jr
	Lekkage	$4.4 \cdot 10^{-3}$ /jr
Losslang	Breuk	$4.0 \cdot 10^{-6}$ /uur
	Lekkage	$4.0 \cdot 10^{-5}$ /uur
Tubetrailer/container	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu grootste aansluiting	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Vuurbal brand tijdens verlading	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /uur
	Vuurbal brand in omgeving	$4.0 \cdot 10^{-9}$ /uur
	Vuurbal externe impact ²	$5.0 \cdot 10^{-11}$ /uur
	Breuk losslang	$4.0 \cdot 10^{-7}$ /uur
	Lekkage losslang	$4.0 \cdot 10^{-5}$ /uur

Tabel 13. Initiële faalfrequentie onderdelen van de installatie

² Voor de kans op een externe impact is uitgegaan van een geïsoleerde opstelplaats.

Voor een cilinderpakket met N gascilinders dient alleen het scenario ‘instantaan falen’ meegenomen te worden met een faalfrequentie gelijk aan $N \times 5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr. Bij het instantaan falen van één gascilinder zal de gehele inhoud van het cilinderpakket vrijkomen. De uitstroming kan worden beschouwd als het instantaan falen van de eerste cilinder, waarna de inhoud van de overige $N - 1$ cilinders door middel van een 5 mm gat uitstroomt. Het instantaan falen van het gehele cilinderpakket wordt niet aannemelijk geacht.

Het is niet aannemelijk dat een langdurige brand uitbreekt door het falen van een cilinder met brandbaar gas. Daarvoor is de inhoud van een gascilinder namelijk te klein. Wel kan een brand uitbreken door de aanwezigheid van brandbare (vloeistof)stoffen in de directe nabijheid van de opslaglocatie, waardoor gascilinders worden aangestraald (of midden in een plasbrand komen te staan). Pas bij een langdurige brand zal een deel van de opgeslagen cilinders kunnen falen. Het meenemen van het brandscenario is dus afhankelijk van locatiespecifieke omstandigheden. In veel gevallen kan dit scenario worden uitgesloten.

- Wanneer er geen brandbare vloeistoffen en vaste stoffen in de nabijheid van een opslag van gascilinders aanwezig zijn, worden de scenario's "plasbrand" en "brand overig" niet aannemelijk geacht.
- Voor scenario "gevelbrand" geldt dat het betreffende gebouw volgens de PGS 15 richtlijn in ieder geval 60 minuten brandwerend dient te zijn uitgevoerd. Desondanks is een gevelbrand niet volledig uit te sluiten.
- Scenario "brand in een in pandige opslag" tenslotte wordt niet aannemelijk geacht indien de constructie van de betreffende opslagruimte van onbrandbaar materiaal is vervaardigd en er geen brandbare vloeistoffen en vaste stoffen in zowel dezelfde ruimte als in aangrenzende ruimten zijn opgeslagen. De effecten van een in pandige opslag worden gemodelleerd als buiten zijnde.
- Indien brandbare vloeistoffen in de nabijheid van gascilinders aanwezig zijn, kan een plasbrand ontstaan waarbij simultaan falen van meerdere gascilinders niet is uit te sluiten. Bij opslagen van cilinders met brandbare (tot vloeistof verdichte) gassen resulteert dit in gecumuleerde warmtestraling, hetgeen tot grotere effectafstanden zal leiden. Bij de overige gassen heeft het simultaan falen geen extra effecten tot gevolg.

Indien brand niet kan worden uitgesloten, moet de kans op brand van $1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr voor elke opslag afzonderlijk toegepast worden.

Voor deze installatie wordt een brand in de omgeving van de gascilinders door bovenstaande oorzaken uitgesloten geacht.

4.3 Ongevalsscenario's flessencontainer

De waterstofcontainer wordt gebruikt als bufferopslag en is gemodelleerd als continu aanwezig. De totale inhoud van de container bedraagt 42.4 m^3 , bij een druk van 300 barg en 10°C . Voor het modeleren van de container wordt uitgegaan van een flessencontainer met 22 cilinders van elk 1925 l. Uitgegaan wordt van een aansluiting op de container welke gelijk is aan de leidingdiameter van het systeem (10 mm). Tabel 15 toont de ongevalsscenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	22 (aantal tubes) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	22 (aantal tubes) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Vuurbal brand tijdens verlading	8766 (uur per jaar aanwezig) x $5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie vuurbal per uur)
Vuurbal brand in omgeving	8766 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-9}$ (frequentie vuurbal per uur)
Vuurbal externe impact	8766 (uur per jaar aanwezig) x $5.0 \cdot 10^{-11}$ (frequentie vuurbal per uur)
Breuk slang	8766 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage slang	8766 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [Jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$1.1 \cdot 10^{-5}$	40.5 kg	Maximale inhoud van één tube
Continu grootste aansluiting	$1.1 \cdot 10^{-5}$	0.5 kg/s	Gatgrootte 10 mm, uitstroomduur 1800 s.
Vuurbal brand tijdens verlading	$5.1 \cdot 10^{-6}$	40.5 kg	Maximale inhoud van één tube
Vuurbal brand in omgeving	$3.5 \cdot 10^{-5}$	40.5 kg	Maximale inhoud van één tube
Vuurbal externe impact	$4.4 \cdot 10^{-7}$	40.5 kg	Maximale inhoud van één tube
Breuk slang	$3.5 \cdot 10^{-2}$	0.5 kg/s	Gatgrootte 10 mm, uitstroomduur 1800 s.
Lekkage slang	$3.5 \cdot 10^{-1}$	0.01 kg/s	Gatgrootte 1.0 mm, uitstroomduur 1800 s.

Tabel 14. Ongevalsscenario's van een pakket van de flessencontainer

4.4 Bufferopslag cilinders

De bufferopslag bestaat uit een 6 gascilinders van elk 0.9 m^3 . De druk is 520 bar(g). Tabel 15 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's.

Scenario	Frequentie [Jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$3.0 \cdot 10^{-6}$ /jr	28.8 kg	Maximale inhoud van één cilinder
Continu 10 min	$3.0 \cdot 10^{-6}$ /jr	0.29 kg/s	Maximale inhoud van alle cilinders in 600 s
Continu 10 mm gat	$6.0 \cdot 10^{-5}$ /jr	2.0 kg/s	Diameter 10 mm, alle cilinders in 85 s

Tabel 15. Ongevalsscenario's bufferopslag

4.5 Hoge druk bufferopslag cilinders

De hoge druk bufferopslag bestaat uit twee verschillende cilinderpakketten met ieder een eigen druk. Elk cilinderpakket bestaat uit 3 cilinders van elk 300 l. Bij het afnemen van waterstof zal dit in cascade worden gevuld afhankelijk van de benodigde druk. Nadien zullen deze buffers door het compressiestation opnieuw wordt gevuld. Buffer opslag totaal is 1800 l. Dit is onderverdeeld in de drukken 520 bar en 950 bar.

Tabel 17 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's. Er is aangenomen dat de bufferopslag kan worden beschouwd als één flessenpakket. De kans op instantaan falen van een cilinder is dan $6 \times 5.0 \cdot 10^{-7} = 3.0 \cdot 10^{-6}$ /jr. Conservatief wordt alleen van de hoogste druk uitgegaan.

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$3.0 \cdot 10^{-6}$	14.2 kg	Maximale inhoud van één buffer
Continu 10 min	$3.0 \cdot 10^{-6}$	0.14 kg/s	Maximale inhoud van alle cilinders in 600 s
Continu 10 mm	$6.0 \cdot 10^{-5}$	3.5 kg/s	Diameter 10 mm, alle cilinders in 24 s

Tabel 16. Ongevalsscenario's hoge druk bufferopslag

4.6 Compressorsysteem

Aangenomen is dat de compressor continu in gebruik zal zijn. Tabel 18 toont de ongevalsscenario's. Voor de berekening van de bronsterkte is uitgegaan van de kenmerken van het leidingwerk voor de compressor en de druk in de container.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk	$1.0 \cdot 10^{-4}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Lekkage	$4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Breuk	$1.0 \cdot 10^{-4}$	2.8 kg/s	Diameter 9 mm, lengte 5 m, uitstroomduur 16 s.
Lekkage	$4.4 \cdot 10^{-3}$	0.02 kg/s	Diameter 0.9 mm, uitstroomduur 1560 s.

Tabel 17. Ongevalsscenario's compressor

4.7 Dispenser 350 bar

De doorzet van deze dispenser is 725 kg waterstof per dag. Het afleverdebiet is 0.06 kg/s, zodat de dispenser maximaal circa 1225 uur van het jaar in gebruik is. De bronsterkte is berekend met Safeti-NL door uit te gaan van een leiding aan een vat met een lengte van 16 m. Tabel 19 toont de ongevalsscenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk	1225 (uren in bedrijf) $\times$ $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage	1225 (uren in bedrijf) $\times$ $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Breuk	$4.9 \cdot 10^{-3}$	0.33	Diameter 10 mm, inhoud van 2.75 m ³ , uitstroomduur 267 s.

Lekkage	$4.9 \cdot 10^{-2}$	0.014	Diameter 1 mm, inhoud van 2.75 m ³ , uitstroomduur 1800 s.
---------	---------------------	-------	---

Tabel 18. Ongevalsscenario's dispenser 350 bar station

4.8 Dispenser 700 bar

De doorzet van deze dispenser is 275 kg waterstof per dag. Het afleverdebiet is gemiddeld 0.03 kg/s, zodat de dispenser maximaal circa 929 uur van het jaar in gebruik is. De bronsterkte is berekend met Safeti-NL door uit te gaan van een leiding aan een vat met een lengte van 16 m. Tabel 20 toont de ongevalsscenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk	929 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage	929 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk	$3.7 \cdot 10^{-3}$	0.65 kg/s	Diameter 10 mm, inhoud van 930 l, uitstroomduur 59 s.
Lekkage	$3.7 \cdot 10^{-2}$	0.03 kg/s	Diameter 1 mm, inhoud van 930 l, uitstroomduur 587 s.

Tabel 19. Ongevalsscenario's dispenser 700 bar station

5 Overige aspecten

5.1 Parameters

De standaard parameters van Safeti-NL versie 8.3 zijn gebruikt voor de berekening. De gegevens voor het weerstation Volkel worden gebruikt voor de kans op het voorkomen van een bepaalde weersklasse. Voor de ruwheidslengte is de standaard waarde van 0.3 m gehanteerd.

De hoogspanningskabel ten westen van de inrichting is als externe ontstekingsbron gedefinieerd. Er zijn verder geen activiteiten buiten de inrichting die invloed hebben op het risico veroorzaakt door de inrichting.

Voor waterstof is de kans op directe ontsteking gelijk aan 1.0 [5].

5.2 Aanwezigen rond de inrichting

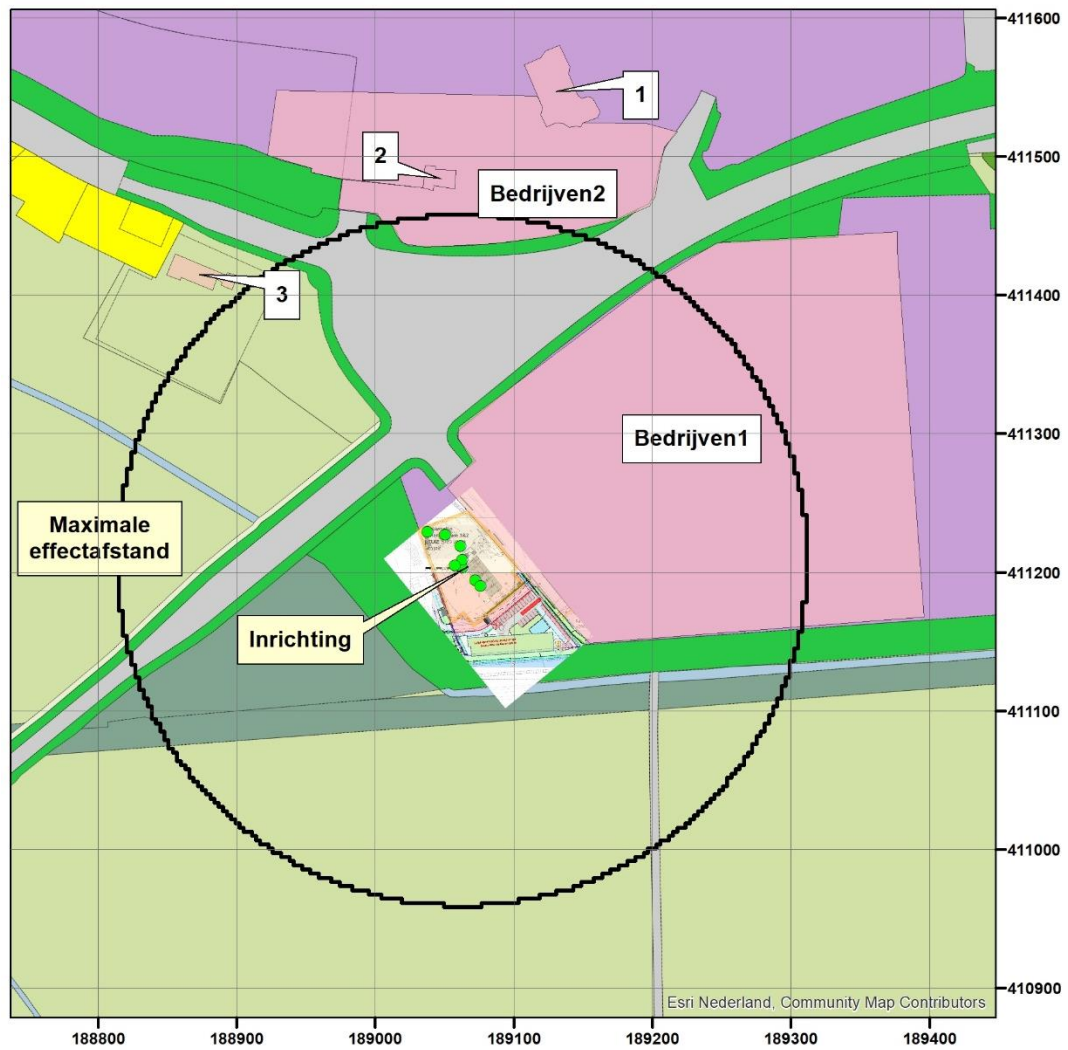
Figuur 3 toont het gebied rond de inrichting begrensd door de maximale effectafstand van circa 270 m rond het LNG opslagvat (zie hoofdstuk 6).

De invulling van de meeste gemodelleerde gebieden is nog niet definitief. Er is voor de bedrijven uitgegaan van 40 personen per hectare overdag (kencijfer voor een gemiddeld druk industrieterrein). 's Avonds en 's nachts zijn vijf procent van de personen overdag aanwezig. De drie reeds bestaande objecten binnen het invloedsgebied zijn gemodelleerd conform de BAG populatieservice [3].

Tabel 22 toont het aantal personen. De aanduiding in de kolom label stemt overeen met de markering van het gebied in figuur 3 (roze gekleurd).

Label	Aantal dag	Aantal avond	Aantal nacht	Opmerking
Bedrijven1	303.8	15.2	15.2	Dichtheid 40 personen per hectare overdag en 2 personen per hectare 's avonds en 's nachts.
Bedrijven2	93.7	4.7	4.7	Dichtheid 40 personen per hectare overdag en 2 personen per hectare 's avonds en 's nachts.
1	13.6	0	0	Conform populatieservice
2	15.6	2.7	2.7	Conform populatieservice
3	6.4	2.7	2.7	Conform populatieservice

Tabel 20. Aantal personen aanwezig rond de inrichting



Figuur 3. Bevolkingsgebieden rond de inrichting

6 Resultaat risicoberekening

6.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een bepaalde plaats in de omgeving van een inrichting bevindt, overlijdt door een ongeval met gevaarlijke stoffen. Plaatsen met een gelijk risico worden door risicocontouren op een kaart weergegeven. Het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr dient volgens het Bevi (Besluit externe veiligheid inrichtingen) gehanteerd te worden als grenswaarde voor kwetsbare objecten en als richtwaarde voor beperkt kwetsbare objecten.

Figuur 4 toont de plaatsgebonden risicocontouren. De contour voor de grenswaarde van het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr ligt gedeeltelijk buiten de inrichting. Binnen de contour bevindt zich aan de oostzijde gebied dat is bestemd voor bedrijven ((geprojecteerd) beperkt kwetsbare objecten).

Tabel 23 toont de relatieve bijdrage van de ongevalsscenario's aan het plaatsgebonden risico in de punten P1, P2 en P3 (zie figuur 4 voor de ligging van deze punten). Deze punten zijn representatief voor de grenswaarde van het plaatsgebonden risico. Scenario's met een relatief kleine bijdrage zijn niet afgedrukt. Bepalend voor de ligging van de contour van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr in deze punten is het scenario breuk van de breuk van de pomp en de slang van de tankauto, de breuk van de compressor en instantaan falen van de LNG tank.

Punt	Waarde	Scenario	Bijdrage [%]
P1	9.9 10 ⁻⁶	Opslagvat\Instantaan	46.7
		Tankauto\BreukPompNoodstopOk	34.6
		Opslagvat\Continu10min	5.1
		Tankauto\BLEVE door omgevingsbrand	4.2
		Tankauto\BreukPompNoodstopNietOk	3.9
		Tankauto\Instantaan	2.0
		OpslagvatPomp\Continu50mm	1.4
		Tankauto\BLEVE door externe impact	1.0
P2	9.0 10 ⁻⁷	Opslagvat\Instantaan	51.2
		Tankauto\BreukPompNoodstopOk	30.5
		Opslagvat\Continu10min	5.8
		Tankauto\BLEVE door omgevingsbrand	4.7
		Tankauto\BreukPompNoodstopNietOk	3.5
		Tankauto\Instantaan	2.0
P3	3.8 10 ⁻⁶	Tankauto\BreukSlangNoodstopOk	76.6
		Opslagvat\Instantaan	13.0
		Tankauto\BreukPompNoodstopOk	5.3
		Tankauto\BLEVE door omgevingsbrand	1.1

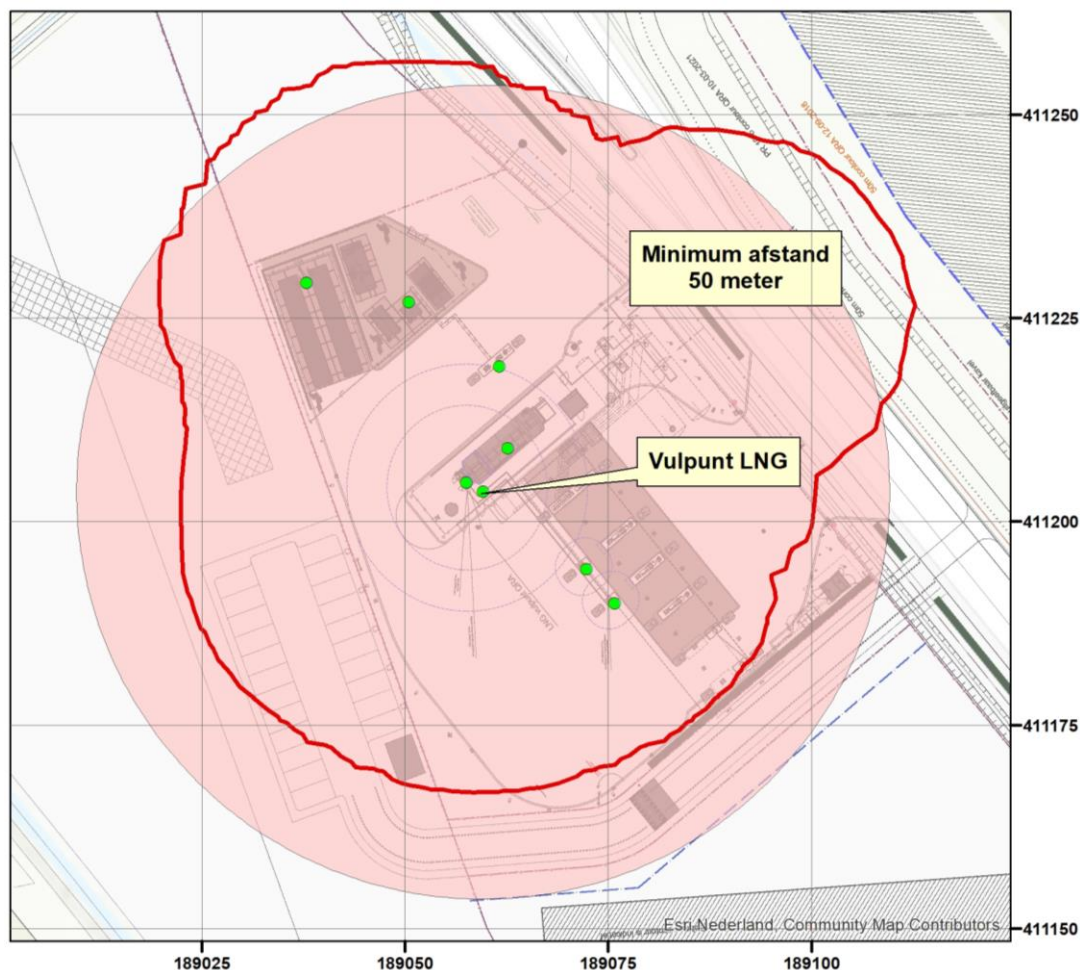
Tabel 21. Relatieve bijdrage scenario's

Het ministerie I&M heeft een interim beleid voor LNG-tankstations ontwikkeld [4]. Eén van de uitgangspunten is een minimum afstand voor het plaatsgebonden risico van 50 m aan te houden vanaf het vulpunt tot (beperkt) kwetsbare objecten, onafhankelijk van de berekende grenswaarde van het plaatsgebonden risico. Een ander uitgangspunt is de locatie van het LNG-tankstation danwel objecten in de omgeving zo te kiezen dat in het gebied tussen de grenswaarde van het plaatsgebonden risico en de effectafstand van het LNG-tankstation geen kwetsbare objecten zijn gelegen of gerealiseerd kunnen worden. Beperkt kwetsbare objecten zijn mogelijk, maar hieraan moet een motivering ten grondslag liggen. Deze effectafstand is minimaal 50 m en kan groter zijn afhankelijk van de wijze waarop de installatie is ontworpen. Voor de hier beschreven installatie (ESD-systeem waarmee de uitstroming bij breuk van de losslang wordt gedetecteerd en ingeblokt, vullen van het opslagvat via de dampruimte, lossen vanuit de tankauto met een pomp en een voordruk kleiner dan 3.2 bar(g)) is de effectafstand gelijk aan 50 m. Figuur 5 toont de minimum afstand en de effectafstand samen met de berekende grenswaarde van het plaatsgebonden risico. De grenswaarde ligt gedeeltelijk binnen het gebied van 50 m rond het vulpunt. Voor de beoordeling is dan het gebied begrensd door de omhullende van de minimum afstand van 50 m en de grenswaarde maatgevend. Ook binnen dit gebied bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten, maar wel (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten.



Figuur 4. Plaatsgebonden risicocontouren

—	1.0 10 ⁻⁵ /jr
—	1.0 10 ⁻⁶ /jr
—	1.0 10 ⁻⁷ /jr
—	1.0 10 ⁻⁸ /jr



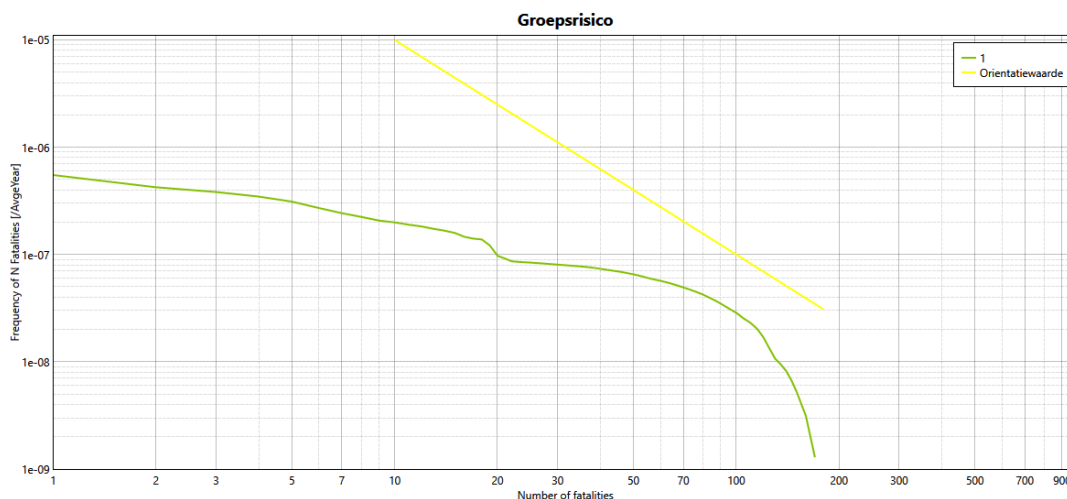
Figuur 5. Ministerie I&M interim beleid LNG-tankstations (roze gebied rond het vulpunt met een straal van 50 m) en de grenswaarde van het plaatsgebonden risico (rode contour)

6.2 Groepsrisico

Het groepsrisico geeft aan wat de kans is op een ongeval met tien of meer dodelijke slachtoffers in de omgeving van de inrichting. Het aantal personen dat in de omgeving van de inrichting verblijft, bepaalt daardoor mede de hoogte van het groepsrisico. Het groepsrisico wordt weergegeven in een zogenaamde fN -curve: op de verticale as staat de cumulatieve kans per jaar f op een ongeval met N of meer slachtoffers en op de horizontale as het aantal slachtoffers N . De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico is gelijk aan $10^{-3} / N^2$, dat wil zeggen een frequentie van 10^{-5} /jr voor 10 slachtoffers, 10^{-7} /jr voor 100 slachtoffers en geldt vanaf het punt met 10 slachtoffers.

Figuur 6 toont het berekende groepsrisico (blauwe lijn) en de oriëntatiewaarde $fN^2 = 10^{-3}$ (bruine lijn). Het groepsrisico ligt onder de oriëntatiewaarde. Het maximaal aantal slachtoffers is circa 170.

Tabel 24 toont de scenario's die bepalend zijn voor het groepsrisico. De scenario's zijn gerangschikt naar de relatieve bijdrage aan de risico integraal (het oppervlak van de bijdrage van dit scenario aan de fN-curve). Tevens is aangeduid de frequentie in het bereik > 10 slachtoffers. De belangrijkste scenario's zijn het falen van de LNG opslagtank.



Figuur 6. Groepsrisico

Scenario	Risico integraal [1/jr]	Risico integraal [% totaal]	Freq > 10 [1/jr]
Opslagvat\Instantaan	7.8E-06	75.9	2.0E-07
Tankauto\BLEVE door omgevingsbrand	5.6E-07	5.5	3.2E-08
Tankauto\BreukPompNoodstopOk	5.3E-07	5.1	8.1E-08
Opslagvat\Continu10min	4.6E-07	4.5	5.5E-08
Tankauto\BreukPompNoodstopNietOk	4.2E-07	4.1	5.9E-08
Tankauto\Instantaan	2.2E-07	2.2	1.1E-08

Tabel 22. Relatieve bijdrage scenario's

7 Effectafstand

Effectafstanden zijn berekend voor alle scenario's. Tabellen 24 en 25 tonen de afstand tot 1% kans op overlijden (bij onbeschermd blootstelling) voor weersklasse D-5.0 overdag (neutraal weer met een windsnelheid van 5 m/s) en weersklasse F-1.5 's nachts (zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1.5 m/s) voor LNG en waterstof. De aanduiding in de kolommen onderdeel en scenario zijn een referentie naar de tekst in hoofdstukken 3 en 4.

Onderdeel	Scenario	D-5.0	F-1.5
Hoofdopslagvat	Instantaan	270	251
	Continu10min	148	140
	Continu10mm	21	25
Pomp hoofdopslagvat	Breuk	66	68
	Lekkage	11	14
Tankauto	Instantaan	222	207
	ContinuGrootsteAansluiting	127	211
	BreukPompNoodstopOk	92	133
	BreukPompNoodstopNietOk	92	152
	LekkagePomp	11	13
	BreukSlangNoodstopOk	48	49
	BreukSlangNoodstopNietOk- TerugslagklepOk	40	65
	BreukSlangNoodstopNietOk- TerugslagklepNietOk	45	73
	LekkageSlang	11	13
	BLEVE tijdens verlading	216	217
	BLEVE omgevingsbrand	216	217
	BLEVE externe impact	86	86
Vulleiding	BreukNoodstopOk	48	48
	BreukNoodstopNietOkTerugslag- klepOk	40	65
	BreukNoodstopNietOkTerugslag- klepNietOk	44	72
	Lekkage	9	12
Afleverleiding dispenser	Breuk	12	7
	Lekkage	4	3
Slang dispenser	BreukKnopOk	19	24
	BreukNoodstopOk	22	27
	BreukNoodstopNietOk	22	27
	Lekkage	6	7

Tabel 23. Effectafstand LNG tot 1% kans op overlijden

Onderdeel	Scenario	D-5.0	F-1.5
Buffer 350 bar	Instantaan	14	14
	Continu10min	9	9
	Continu10mm	24	24
Slang Dispenser 350 bar	Breuk	10	10
	Lekkage	2	2
Buffer 700 bar	Instantaan	10	10
	Continu10min	6	6
	Continu10mm	30	30
Slang dispenser 700 bar	Breuk	13	13
	Lekkage	3	3
Compressor	Breuk	26	27
	Lekkage	3	3
Flessencontianer	Instantaan	16	16
	ContinuGrootsteAansluiting	11	12
	VuurbaVerlading	16	16
	VuurbaOmgevingsbrand	16	16
	VuurbaExternImpact	16	16
	BreukLosslang	11	12
	LekkageLosslang	2	2

Tabel 24. Effectafstand waterstof tot 1% kans op overlijden

8 Conclusie

Het voornemen is om een bestaand in werking zijnde tankstation uit te breiden met een EV-, LNG- en H2-installatie op bedrijvenpark Laarakker-Zuid te Haps (gemeente Cuijk). In het kader van de aanvraag voor de omgevingsvergunning is deze risicoanalyse opgesteld.

De contour voor de grenswaarde van het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr ligt gedeeltelijk buiten de inrichting. Binnen de contour bevindt zich aan de oostzijde gebied dat is bestemd voor bedrijven ((geprojecteerd) beperkt kwetsbare objecten).

Het ministerie I&M heeft een interim beleid voor LNG-tankstations ontwikkeld. Eén van de uitgangspunten is een minimum afstand voor het plaatsgebonden risico van 50 m aan te houden vanaf het vulpunt tot (beperkt) kwetsbare objecten, onafhankelijk van de berekende grenswaarde van het plaatsgebonden risico. Een ander uitgangspunt is de locatie van het LNG-tankstation danwel objecten in de omgeving zo te kiezen dat in het gebied tussen de grenswaarde van het plaatsgebonden risico en de effectafstand van het LNG-tankstation geen kwetsbare objecten zijn gelegen of gerealiseerd kunnen worden. Beperkt kwetsbare objecten zijn mogelijk, maar hieraan moet een motivering ten grondslag liggen. Deze effectafstand is minimaal 50 m en kan groter zijn afhankelijk van de wijze waarop de installatie is ontworpen. Voor de hier beschreven installatie (ESD-systeem waarmee de uitstroming bij breuk van de losslang wordt gedetecteerd en ingeblokt, vullen van het opslagvat via de damp ruimte, lossen vanuit de tankauto met een pomp en een voordruk kleiner dan 3.2 bar(g)) is deze minimum afstand gelijk aan 50 m. De grenswaarde ligt gedeeltelijk binnen het gebied van 50 m rond het vulpunt. Voor de beoordeling is dan het gebied begrensd door de omhullende van de minimum afstand van 50 m en de grenswaarde maatgevend. Ook binnen dit gebied bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten, maar wel (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten.

Het groeprisico is kleiner dan de oriëntatiewaarde. Het maximaal aantal slachtoffers is circa 170. De belangrijkste scenario's zijn het falen van de LNG opslagtank.

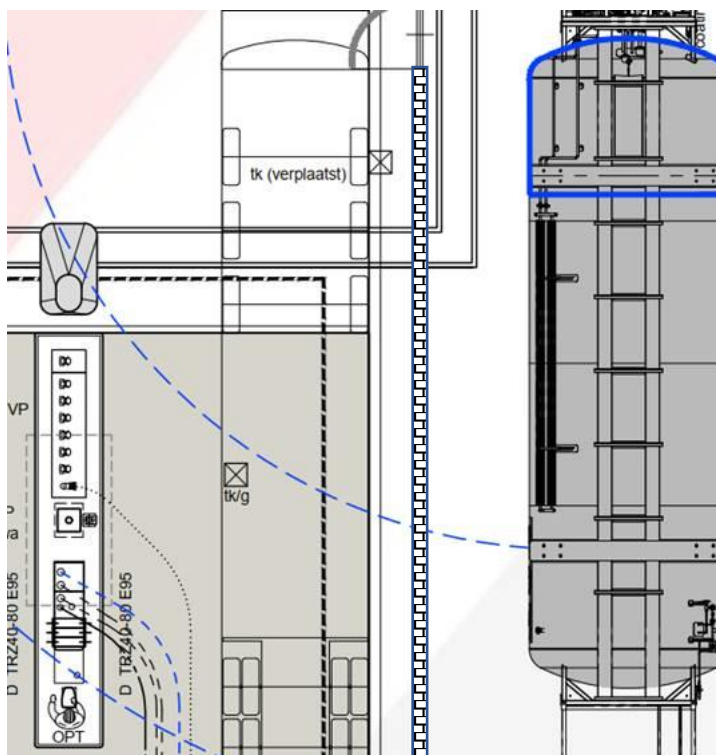
Referenties

1. RIVM 2021 Handleiding risicoberekeningen BEVI
Versie 4.3 gedateerd 1 januari 2021
2. RIVM 2015 Rekenmethodiek LNG-Tankstations
Versie 1.0.2 gedateerd 25 april 2017
3. Provincie Zuid-Holland 2015 <http://populatieservice.demis.nl/>
4. I&M 2015 Circulaire externe veiligheid LNG-tankstations
Kenmerk IENM/BSK-20 14/270558 gedateerd 28 januari 2015
5. RIVM 2016 Risico- en effectafstanden waterstoftankstations
Memo kenmerk 20160149 VLH HAS/Sta/sij gedateerd 3 oktober 2016

Bijlage Invloed brandmuur op veiligheidsafstand

De in PGS richtlijnen genoemde veiligheidsafstanden hebben tot doel de kans op escalatie van een brand op het terrein van de inrichting te verkleinen. In de PGS 33-1 2020 is in maatregel M104 ten behoeve van de veiligheid gesteld dat door middel van afstand voorkomen moet worden dat dubbelwandig en vacuüm geïsoleerde gedeelten van de installatie worden blootgesteld aan warmtestraling groter dan 35 kW/m^2 . Voor onbeschermde installatieonderdelen is die waarde 10 kW/m^2 . Dit ten gevolge van een brand bij een niet LNG-gebonden activiteit.

De RIVM notitie Interne veiligheidsafstanden PGS19 (RIVM 2012) geeft de uitgangspunten voor de berekening van de warmtestraling als functie van de afstand voor de brandtypen gevelbrand, fakkelbrand en vloeistofbrand. Deze methodiek wordt breed in PGS richtlijnen gebruikt o.a. voor cryogene opslagtanks. In dit geval vindt naast de LNG tank aflevering van vloeibare brandstoffen plaats. De afstand tussen de straatkolk en de LNG tank is ca. 5.2 m, de brandmuur staat op 3.2 m van de straatkolk, zie figuur 7. De vraag is nu wat dit betekent voor de LNG tank in geval van brand.

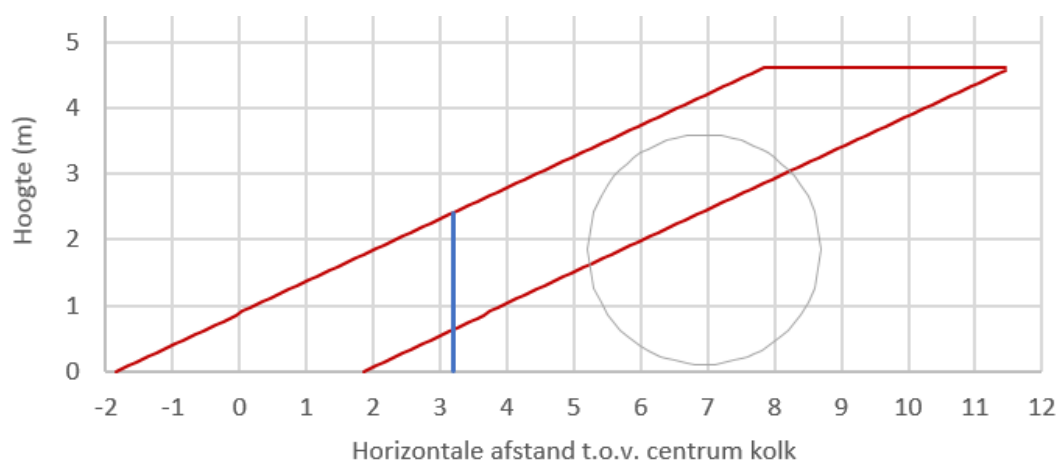


Figuur 7. Aanduiding locatie opvangkolk (tk/g), brandmuur en LNG tank

Bij interne veiligheidsafstanden gaat het niet om catastrofale scenario's als breuk slang of scheuren ladingtank. Die worden in een QRA behandeld. Bij interne veiligheidsafstanden gaat het om de vaker voorkomende kleine lekkages. In de genoemde RIVM notitie zijn de interne veiligheidsafstanden voor plasbranden door het RIVM onderbouwd met plasbrandberekeningen bij sterke wind (9 m/s) dwz. sterke afbuiging van de vlam.

Voor benzinestations is het gebruikelijk om als representatief scenario voor falen van de afleverzuil een berekening te maken voor een plas van 11 m² oppervlak rond de kolk. Uitgangspunt is daarbij dat de kolk verstopt zit en 80 liter benzine uitstroomt en ontsteekt (zie RIVM 2017 Beschouwing risico's benzinestations voor omgevingsveiligheid). De duur van de plasbrand is in dat geval ca. 1 minuut.

Onderstaande figuur toont op schaal de vlam, brandmuur en de LNG tank in zij aanzicht afgebeeld bij 9 m/s wind in de richting van de tank. De figuur is gebaseerd op een Safeti-nl berekening (D_{pool}=3.7 m, weersklasse D-9, voorbeeldstof n-hexaan, vlamlengte is 10.8 m, afbuiging van de verticaal is 64.5 °). Het centrum van de plas (de kolk) ligt op (0,0). De figuur laat zien dat zonder brandmuur direct vlamcontact met de opslagtank zeer wel mogelijk is. Tevens blijkt dat een brandmuur met een hoogte van ca. 2.5 m voldoende is om direct vlamcontact te vermijden. Mede gezien de korte duur van de brand biedt de brandmuur dan voldoende bescherming aan de tank.



Figuur 8. Afmetingen plasbrand, vlam en tank