



Adviesgroep AVIV BV
Piet Heinstraat 12
7511 JE Enschede

Risicoanalyse / Bunkeren alternatieve brandstoffen haven Amsterdam

Project	224962
Datum	31 maart 2023

Opdrachtgever
Port of Amsterdam
Postbus 19406
1000 GK Amsterdam

Risicoanalyse / Bunkeren alternatieve brandstoffen haven Amsterdam

Project	224962
Datum	31 maart 2023
Auteur(s)	ing. A.M. op den Dries ing. L.M.A. Mentink
Versie nr.	1.1.1
Opdrachtgever	Port of Amsterdam Postbus 19406 1000 GK Amsterdam

Inhoudsopgave

1 Inleiding	4
2 Uitgangspunten	5
2.1 Initiële faalfrequentie	5
2.2 LNG standalone	6
2.3 LNG met T-piece	8
2.4 Methanol	12
2.5 Waterstof gasfase	14
2.6 Waterstof vloeibare fase	15
2.7 Ammoniak	15
2.8 Ontgassen	17
2.9 Omgeving	18
2.10 Parameters	19
3 Resultaten plaatsgebonden risico	20
4 Resultaten groepsrisico	25
5 Beschouwing resultaten	28
5.1 Beschouwing plaatsgebonden risico	28
5.2 Beschouwing groepsrisico	29
6 Effectafstand	30
Referenties	32
Bijlage 1 resultaten plaatsgebonden risico	33

1 Inleiding

In het havengebied van Amsterdam worden de komende jaren veranderingen verwacht met betrekking tot het bunkeren van de zogenoemde nieuwe energiedragers. Het havenbedrijf Amsterdam wil pioniers op het gebied van nieuwe brandstoffen zoals bijvoorbeeld waterstof en methanol faciliteren middels bunkerlocaties. Daarom wil het Havenbedrijf Amsterdam extern veiligheidsonderzoek laten uitvoeren voor het bunkeren van een aantal scheepsbrandstoffen. Specifiek voor het Truck-to-ship bunkeren. In dit rapport wordt inzicht gegeven in de externe veiligheidsafstanden die horen bij het Truck-to-ship bunkeren van verschillende nieuwe energiedragers in de Amsterdamse haven.

Er zijn 14 verschillende scenario's doorgerekend:

1. Bunkeren LNG (single)
2. Bunkeren LNG (t-piece)
3. Bunkeren methanol
4. Bunkeren waterstof gas
5. Bunkeren waterstof vloeibaar
6. Bunkeren ammoniak (NH_3)
7. Alle brandstoffen gecombineerd met LNG als single
8. Alle brandstoffen gecombineerd met LNG T-piece
9. Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH_3 met LNG als single
10. Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH_3 met LNG T-piece
11. Alle brandstoffen gecombineerd met LNG als single en ontgassen
12. Alle brandstoffen gecombineerd met LNG T-piece en ontgassen
13. Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH_3 met LNG als single en ontgassen
14. Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH_3 met LNG T-piece en ontgassen

Voor de gecombineerde scenario's geldt dat het aantal uren bunkeren bij elkaar moet worden opgeteld. Het is dus de optelsom van de activiteiten.

Hoofdstuk 2 toont de uitgangspunten van de risicoberekeningen. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van het plaatsgebonden risico weer. Hoofdstuk 4 tenslotte toont de conclusie.

2 Uitgangspunten

2.1 Initiële faalfrequentie

Tabel 1 toont de initiële faalfrequentie voor onderdelen van de installatie zoals voorgeschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi [1].

Component	Faalwijze	Frequentie
Tankauto	Instantaan	5.0 10 ⁻⁷ /jr
	Continu grootste aansluiting	5.0 10 ⁻⁷ /jr
	Pomp (met pakking) breuk	1.0 10 ⁻⁴ /jr
	Pomp (met pakking) lekkage	4.4 10 ⁻³ /jr
	Losslang (composiet) breuk	4.0 10 ⁻⁷ /uur
	Losslang (composiet) lekkage	4.0 10 ⁻⁵ /uur
	Losslang breuk	4.0 10 ⁻⁶ /uur
	Losslang lekkage	4.0 10 ⁻⁵ /uur
	BLEVE door brand tijdens verlading	5.8 10 ⁻¹⁰ /uur
Losslang naar schip	Losslang (composiet) breuk	4.0 10 ⁻⁷ /uur
	Losslang (composiet) lekkage	4.0 10 ⁻⁵ /uur
Atmosferische tankauto	Instantaan	1.0 10 ⁻⁵ /jr
	Continu grootste aansluiting	5.0 10 ⁻⁷ /jr
	Pomp (met pakking) breuk	1.0 10 ⁻⁴ /jr
	Pomp (met pakking) lekkage	4.4 10 ⁻³ /jr
	Losslang breuk	4.0 10 ⁻⁶ /uur
	Losslang lekkage	4.0 10 ⁻⁵ /uur
	Plasbrand tijdens verlading	5.8 10 ⁻⁹ /uur

Tabel 1. Initiële faalfrequentie onderdelen van de installaties

Voor bunkerlocaties moet ook de kans op externe beschadiging ten gevolge van scheepsbotsingen worden meegenomen. Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten als de bunkerlocatie niet aan een doorgaande route ligt. Dit is hier het geval [1] waardoor de kans op externe beschadigingen niet meegenomen hoeft te worden.

Voor een BLEVE van de tankauto veroorzaakt door een brand in de omgeving en door externe impact is voor LNG-tankstations een methodiek beschikbaar [3]. De gehanteerde frequentie op een brand in de omgeving en op externe impact door een botsing met een ander voertuig zijn afgeleid voor een openbaar tankstation, waar ook benzine kan worden getankt. Een bunkerlocatie is op een andere wijze ingericht. Het aantal verkeersbewegingen op een bunkerlocatie zal aanzienlijk kleiner zijn en er zullen maatregelen zijn getroffen om de snelheid van de aanwezige voertuigen te beperken. Ook is er geen zeer licht ontvlambare

vloeistof zoals benzine aanwezig¹. Bij een bunkerlocatie kunnen deze frequenties daarom niet worden toegepast. Voor een bunkerstation wordt aangenomen dat deze ongevalsoorzaken niet van toepassing zijn. In de Handleiding risicoberekeningen Bevi worden deze scenario's ook niet expliciet voorgeschreven [1].

2.2 LNG standalone

Er is aangenomen dat de bevoorrading plaatsvindt met een dubbelwandige geïsoleerde tankauto. De tankauto heeft een bruto inhoud van 60 m³ en een maximale effectieve inhoud van 50.5 m³. De gemodelleerde doorzet van LNG is 2000 m³/jr. De druk is 0.66 bar(g) bij een temperatuur van -155 °C. Het pompdebiet is 500 l/min. Bij verlading is de druk maximaal 3 bar(g). De tijd voor het lossen is dan 66.7 uur per jaar. Aangenomen is dat de tankauto 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 100 uur, dit is 1.1% van het jaar). Het lossen vindt plaats met een metalbraided losslang². Bij breuk van de pomp of de losslang kan de chauffeur de noodstop activeren. Conform het rekenvoorschrift is aangenomen dat de kans op succes gelijk is aan 0.9. De uitstroomduur is dan beperkt tot 120 s. Bij lekkage van de pomp of de losslang is ingrijpen niet gemodelleerd. De insteldruk van de veerveiligheid van de tankauto is 9 bar(g). Voor de BLEVE bij verhoogde druk is uitgegaan van een druk van 11.1 bar(g) (dit is 1.2 keer de absolute insteldruk van de veerveiligheid).

Er is nu geen rekening gehouden met het aanwezige ESD-systeem. Door het ESD-systeem kan de uitstroomduur bij breuk van de losslang worden beperkt. Eveneens zou de kans of falen van de noodstop kleiner zijn dan 0.1. Conservatief is deze maatregel niet meegenomen in deze risicoanalyse. De nu gekozen benadering leidt mogelijk tot een overschatting van het risico.

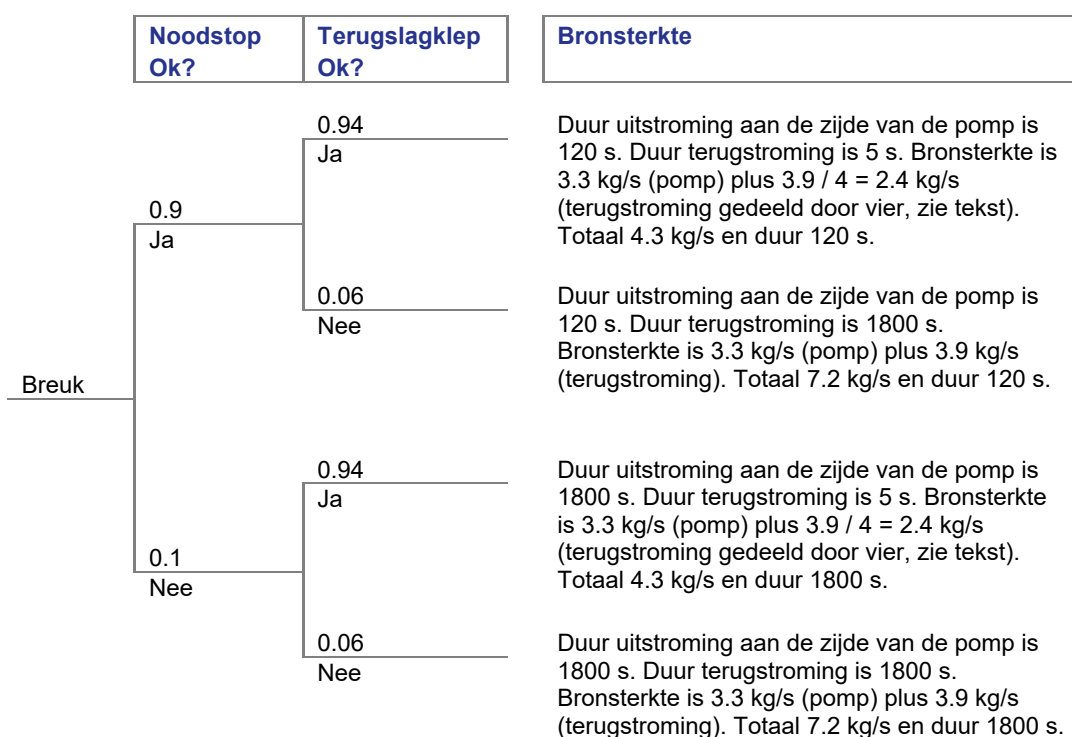
Het pompdebiet is gelijk aan 500 l/min. Uitgaande van de condities in de tankauto is dit debiet gelijk aan circa 3.3 kg/s. Bij breuk van de losslang zal gedurende korte tijd uitstroming plaatsvinden met een bronsterkte die afhangt van de condities in de slang op het moment van de breuk. De slang is relatief kort, zodat de pompdruk snel wegvalt. Aangenomen is dat daarna uitstroming plaatsvindt met een bronsterkte gelijk aan het pompdebiet. Deze aanname is conform het rekenvoorschrift. De voorwaarde is echter dat de voordruk in de tankauto kleiner is dan 3.2 bar(g).

Breuk van de losslang kan leiden tot terugstroming. Uitgaande van een vulleiding met een diameter van 50 mm en een lengte van 15 m is het debiet bij terugstroming gelijk aan circa 3.9 kg/s (berekend voor een dampdruk van 1.4 bar(g) en een vloeistofhoogte van 4 m in het horizontaal opgestelde opslagvat op het schip). Er wordt rekening gehouden met de noodstop door ingrijpen van de chauffeur (kans op succes 0.9 met een uitstroomduur van 120 s) en een terugslagklep bij het opslagvat (kans op succes 0.96 en duur uitstroming 5 s). Gelet op deze verschillende uitstroomduren is een benadering nodig zoals geformuleerd in

¹ Er wordt niet gelijktijdig LNG en bijvoorbeeld methanol gebunkerd.

² Voor dit type slang zijn nog geen aparte faalkansen afgeleid door RIVM. Er wordt daarom uitgegaan van een standaard losslang.

onderstaande gebeurtenisboom (het debiet bij terugstroming gedurende 5 s wordt uitgesmeerd over een effectieve blootstellingstijd van 20 s). Deze werkwijze is conform de interim rekenmethode LNG-bunkerstations [2].



Tabel 2 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van LNG per tankauto. Het lossen kan zowel overdag als 's nachts plaatsvinden. Aangenomen is dat het lossen evenredig plaatsvindt.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	0.011 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	0.011 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Breuk pomp noodstop Ok	100 (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	100 (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	100 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep Ok	100 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol) $\times 0.94$ (kans terugslagklep succesvol)
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep niet Ok	100 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol) $\times 0.06$ (kans terugslagklep succesvol)

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep Ok	100 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) x 0.1 (kans noodstop niet succesvol) x 0.94 (kans terugslagklep succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	100 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) x 0.1 (kans noodstop niet succesvol) x 0.06 (kans terugslagklep niet succesvol)
Lekkage losslang	100 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)
BLEVE door brand tijdens lossen	100 (uren in bedrijf) x $5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie per uur in bedrijf) x 0.05 (kans BLEVE voor een dubbelwandige vacuüm geïsoleerde tankauto)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$5.7 \cdot 10^{-9}$	20.8 ton	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$5.7 \cdot 10^{-9}$	20.8 kg/s	Vloeistof 3 inch gat
Breuk pomp noodstop Ok	$1.0 \cdot 10^{-6}$	15.2 kg/s	Diameter 3", leiding 5 m, duur 120 s
Breuk pomp noodstop niet Ok	$1.1 \cdot 10^{-7}$	15.2 kg/s	Diameter 3", leiding 5 m, duur 1300 s
Lekkage pomp	$5.0 \cdot 10^{-5}$	0.2 kg/s	Vloeistof 7.5 mm gat, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep Ok	$3.4 \cdot 10^{-4}$	4.3 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep niet Ok	$2.2 \cdot 10^{-5}$	7.2 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep Ok	$3.8 \cdot 10^{-5}$	4.3 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	$2.4 \cdot 10^{-6}$	7.2 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$4.0 \cdot 10^{-3}$	0.21 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s
BLEVE door brand tijdens lossen	$2.9 \cdot 10^{-9}$	20.8 ton	Maximale inhoud, druk 11.1 bar(g)

Tabel 2. Ongevalsscenario's overslag tankauto LNG standalone

2.3 LNG met T-piece

Voor de LNG levering met een T-piece is aangenomen dat de bevoorrading plaatsvindt met twee dubbelwandige geïsoleerde tankauto's. De tankauto's hebben elk een bruto inhoud van 60 m^3 en een maximale effectieve inhoud van 50.5 m^3 . De gemodelleerde doorzet van LNG is $2000 \text{ m}^3/\text{jr}$. De druk is 0.66 bar(g) bij een temperatuur van $-155 \text{ }^\circ\text{C}$. Het pompdebiet is 333 l/min per tankauto. Bij verlading is de druk maximaal 3 bar(g). De tijd voor het lossen is dan 100 uur per jaar (50 uur per jaar voor elk van beide posities van de tankauto). Aangenomen is dat de tankauto's 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 75 uur, dit is 0.5% van het jaar voor elk van beide posities van de tankauto). Het lossen vindt

plaats met een metalbraided losslang³. Bij breuk van de pomp of de losslang kan de chauffeur de noodstop activeren. Conform het rekenvoorschrift is aangenomen dat de kans op succes gelijk is aan 0.9. De uitstroomduur is dan beperkt tot 120 s. Bij lekkage van de pomp of de losslang is ingrijpen niet gemodelleerd. De insteldruk van de veerveiligheid van de tankauto is 9 bar(g). Voor de BLEVE bij verhoogde druk is uitgegaan van een druk van 11.1 bar(g) (dit is 1.2 keer de absolute insteldruk van de veerveiligheid).

Er is nu geen rekening gehouden met het aanwezige ESD-systeem. Door het ESD-systeem kan de uitstroomduur bij breuk van de losslang worden beperkt. Eveneens zou de kans of falen van de noodstop kleiner zijn dan 0.1. Conservatief is deze maatregel niet meegenomen in deze risicoanalyse. De nu gekozen benadering leidt mogelijk tot een overschatting van het risico.

Het pompdebiet is gelijk aan 667 l/min. Uitgaande van de condities in de tankauto is dit debiet gelijk aan circa 4.6 kg/s. Bij breuk van de losslang zal gedurende korte tijd uitstroming plaatsvinden met een bronsterkte die afhangt van de condities in de slang op het moment van de breuk. De slang is relatief kort, zodat de pompdruk snel wegvalt. Aangenomen is dat daarna uitstroming plaatsvindt met een bronsterkte gelijk aan het pompdebiet. Deze aanname is conform het rekenvoorschrift. De voorwaarde is echter dat de voordruk in de tankauto kleiner is dan 3.2 bar(g).

Breuk van de losslang tussen een tankauto en het T piece leidt tot uitstroming met het pompdebiet aan weerszijde van de breuk. Er vindt geen terugstroming plaats vanuit de tanks op de flexfueller. Dit scenario is gemodelleerd met een bronsterkte van 9.2 kg/s.

Breuk van de losslang tussen het T piece en de flexfueller kan wel leiden tot terugstroming. Uitgaande van een vulleiding met een diameter van 80 mm en een lengte van 15 m is het debiet bij terugstroming gelijk aan circa 9.7 kg/s (berekend voor een dampdruk van 1.4 bar(g) en een vloeistofhoogte van 4 m in het horizontaal opgestelde opslagvat op het schip). Er wordt rekening gehouden met de noodstop door ingrijpen van de chauffeur (kans op succes 0.9 met een uitstroomduur van 120 s) en een terugslagklep bij het opslagvat (kans op succes 0.96 en duur uitstroming 5 s). Gelet op deze verschillende uitstroomduren is een benadering nodig zoals geformuleerd in onderstaande gebeurtenisboom (het debiet bij terugstroming gedurende 5 s wordt uitgesmeerd over een effectieve blootstellingstijd van 20 s). Deze werkwijze is conform de interim rekenmethode LNG-bunkerstations [2].

³ Voor dit type slang zijn nog geen aparte faalkansen afgeleid door RIVM. Er wordt daarom uitgegaan van een standaard losslang.

	Noodstop Ok?	Terugslagklep Ok?	Bronsterkte
Breuk	0.9 Ja	0.94 Ja	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 120 s. Duur terugstroming is 5 s. Bronsterkte is 9.2 kg/s (pomp) plus $9.7 / 4 = 2.4$ kg/s (terugstroming gedeeld door vier, zie tekst). Totaal 11.6 kg/s en duur 120 s.
		0.06 Nee	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 120 s. Duur terugstroming is 1800 s. Bronsterkte is 9.2 kg/s (pomp) plus 9.7 kg/s (terugstroming). Totaal 18.9 kg/s en duur 120 s.
	0.1 Nee	0.94 Ja	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 1800 s. Duur terugstroming is 5 s. Bronsterkte is 9.2 kg/s (pomp) plus $9.7 / 4 = 2.4$ kg/s (terugstroming gedeeld door vier, zie tekst). Totaal 11.6 kg/s en duur 1800 s.
		0.06 Nee	Duur uitstroming aan de zijde van de pomp is 1800 s. Duur terugstroming is 1800 s. Bronsterkte is 9.2 kg/s (pomp) plus 9.7 kg/s (terugstroming). Totaal 18.9 kg/s en duur 1800 s.

Tabel 3 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van LNG per tankauto met een T piece voor elk van de twee posities van de tankauto. Tabel 4 toont de scenario's voor de losslang tussen het T piece en het schip. Het lossen kan zowel overdag als 's nachts plaatsvinden. Aangenomen is dat het lossen evenredig plaatsvindt.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	0.057 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	0.057 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Breuk pomp noodstop Ok	50 (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	50 (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	50 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Breuk losslang noodstop Ok	50 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok	50 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.1$ (kans noodstop niet succesvol)
Lekkage losslang	50 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)
BLEVE door brand tijdens lossen	50 (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)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$2.9 \cdot 10^{-9}$	20.8 ton	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$2.9 \cdot 10^{-9}$	20.8 kg/s	Vloeistof 3 inch gat
Breuk pomp noodstop Ok	$5.1 \cdot 10^{-6}$	15.2 kg/s	Diameter 3", leiding 5 m, duur 120 s
Breuk pomp noodstop niet Ok	$5.7 \cdot 10^{-7}$	15.2 kg/s	Diameter 3", leiding 5 m, duur 1300 s
Lekkage pomp	$2.5 \cdot 10^{-5}$	0.2 kg/s	Vloeistof 7.5 mm gat, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop Ok	$1.8 \cdot 10^{-4}$	9.2 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop niet Ok	$2.0 \cdot 10^{-5}$	9.2 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$2.0 \cdot 10^{-3}$	0.21 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s
BLEVE door brand tijdens lossen	$1.5 \cdot 10^{-9}$	20.8 ton	Maximale inhoud, druk 11.1 bar(g)

Tabel 3. Ongevalsscenario's overslag tankauto met T piece voor elke positie van de tankauto

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep Ok	$50 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-6} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.9 \text{ (kans noodstop succesvol)} \times 0.94 \text{ (kans terugslagklep succesvol)}$
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep niet Ok	$50 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-6} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.9 \text{ (kans noodstop succesvol)} \times 0.06 \text{ (kans terugslagklep succesvol)}$
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep Ok	$50 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-6} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.1 \text{ (kans noodstop niet succesvol)} \times 0.94 \text{ (kans terugslagklep succesvol)}$
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	$50 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-6} \text{ (frequentie breuk per uur in bedrijf)} \times 0.1 \text{ (kans noodstop niet succesvol)} \times 0.06 \text{ (kans terugslagklep niet succesvol)}$
Lekkage losslang	$50 \text{ (uren in bedrijf)} \times 4.0 \cdot 10^{-5} \text{ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)}$

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep Ok	$1.7 \cdot 10^{-4}$	11.6 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop Ok terugslagklep niet Ok	$1.1 \cdot 10^{-5}$	18.9 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep Ok	$1.9 \cdot 10^{-5}$	11.6 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk losslang noodstop niet Ok terugslagklep niet Ok	$1.2 \cdot 10^{-6}$	18.9 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$2.0 \cdot 10^{-3}$	0.5 kg/s	Vloeistof 8 mm gat, duur 1800 s

Tabel 4. Ongevalsscenario's slang tussen T piece en flexfueler

2.4 Methanol

2.4.1 Beschrijving methanol-installatie

De methanol wordt met een tankwagen over de weg vervoerd en rechtstreeks verpompt naar het schip. Er wordt gebruik gemaakt van een slang als verbinding tussen de tankauto en het schip. Aangenomen is dat de verlading plaatsvindt met een standaard atmosferische tankwagen.

De gemodelleerde doorzet van methanol is $3000 \text{ m}^3/\text{jr}$. Uitgaande van een dichtheid van 803.75 kg/m^3 (de dichtheid van methanol voor een temperatuur van 10°C en een druk van 0 bar(g)) is dit gelijk aan 2411 ton/jr . Het afleverdebiet vanuit een tankauto is 833 l/min . Er vindt dan gedurende circa 60 uur per jaar aflevering van methanol plaats (dit is 0.68% van het jaar).

2.4.2 Selectie van bedrijfsonderdelen

De risicoanalyse is uitgevoerd voor de tankauto (inclusief de pomp en de losslang). Er worden daarbij geen scenario's gemodelleerd voor leidingen die alleen gas bevatten (dampretourleiding). Het effect van deze scenario's is verwaarloosbaar klein.

De scenario's voor deze onderdelen van de installatie worden beschreven in paragraaf 2.4.3. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de standaard scenario's voor onderdelen zoals voorgeschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi [1]. Deze standaard scenario's voor de onderdelen worden getoond in tabel 1.

2.4.3 Ongevalsscenario's overslag tankauto

De doorzet van methanol is $3000 \text{ m}^3/\text{jr}$. Er is aangenomen dat de bevoorrading plaatsvindt met een atmosferische tankauto. De tankauto heeft een bruto inhoud van 30 m^3 . Het pompdebiet is 833 l/min . De tijd voor het lossen is dan 60 uur per jaar. Aangenomen is dat de tankauto 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 90 uur, dit is 1.0% van het jaar). Het lossen vindt plaats met een losslang. Bij breuk van de pomp of de losslang kan de chauffeur de noodstop activeren. Conform het rekenvoorschrift is aangenomen dat de kans op succes gelijk is aan 0.9. De uitstroomduur is dan beperkt tot 120 s. Bij lekkage van de pomp of de losslang is ingrijpen niet gemodelleerd.

Het pompdebiet is gelijk aan 833 l/min. Uitgaande van de condities in de tankauto is dit debiet gelijk aan circa 11.2 kg/s. Bij breuk van de losslang zal gedurende korte tijd uitstroming plaatsvinden met een bronsterkte die afhangt van de condities in de slang op het moment van de breuk. De slang is relatief kort, zodat de pompdruk snel wegvalt. Aangenomen is dat daarna uitstroming plaatsvindt met een bronsterkte gelijk aan het pompdebiet.

Bij breuk van de slang of pomp wordt niet uitgegaan van terugstroming uit het schip. Tabel 5 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van methanol per tankauto. Voor de berekeningen is aangenomen dat het lossen alleen overdag zal plaatsvinden.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	0.01 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	0.01 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Breuk pomp noodstop Ok	60 (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	60 (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	60 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Breuk losslang noodstop Ok	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.1$ (kans noodstop niet succesvol)
Lekkage losslang	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)
Plasbrand tijdens lossen	60 (uren in bedrijf) $\times 5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$1.0 \cdot 10^{-7}$	24.1 ton	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$5.1 \cdot 10^{-9}$	18.8 kg/s	Vloeistof 3 inch gat
Breuk pomp noodstop Ok	$6.2 \cdot 10^{-7}$	8.5 kg/s	Diameter 2", leiding 5 m, duur 120 s
Breuk pomp noodstop niet Ok	$6.8 \cdot 10^{-8}$	8.5 kg/s	Diameter 2", leiding 5 m, duur 1800 s
Lekkage pomp	$3.0 \cdot 10^{-5}$	0.1 kg/s	Vloeistof 5.7 mm gat, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop Ok	$2.2 \cdot 10^{-4}$	11.2 kg/s	Zie tekst, duur 120 s
Breuk losslang noodstop niet Ok	$2.4 \cdot 10^{-5}$	11.2 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$2.7 \cdot 10^{-3}$	0.1 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s
Plasbrand tijdens lossen	$3.5 \cdot 10^{-7}$	24.1 ton	Maximale inhoud, laagdikte 5mm

Tabel 5. Ongevalsscenario's bunkeren Methanol

2.5 Waterstof gasfase

Het waterstof wordt met een flessentrailer⁴ over de weg vervoerd en rechtstreeks verpompt naar het schip. Er wordt gebruik gemaakt van een slang als verbinding tussen de tankauto en het schip.

De gemodelleerde doorzet van waterstof is 360 ton/jr. Er wordt uitgegaan van 500 kg per uur verlading. Er vindt dan gedurende circa 720 uur per jaar aflevering van waterstof plaats. Aangenomen is dat de tankauto's 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 1080 uur, (dit is 12.3% van het jaar).

Voor het modeleren van de trailers wordt uitgegaan van een flessentrailer met 104 flessen van elk 347 l. De druk is 500 bar(g). Per flessentrailer wordt circa 1115 kg waterstof aangevoerd. Voor de kans op een vuurbal door brand in de omgeving is afhankelijk van de omgeving. In de memo [4] is hiervoor een toetsingsafstandentabel opgenomen. Er wordt aangenomen dat de opstelplaats buiten de toetsingsafstanden ligt. Er is geen rekening gehouden met het ingrijpen van de operator aangezien dit niet leidt tot een andere ligging van de plaatsgebonden risicocontour 10^{-6} . Hiervoor zijn de faalkansen te hoog. Tabel 6 toont de ongevalsscenario's. Voor de uitstroomduur van de continu scenario's wordt het totale volume van één trailer gebruikt.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	(1080/8766) (uur per jaar aanwezig / uur per jaar) x 104 (aantal flessen) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	(1080/8766) (uur per jaar aanwezig / uur per jaar) x 104 (aantal flessen) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Vuurbal brand tijdens verlading	720 (uur per jaar aanwezig) x $5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie vuurbal per uur)
Breuk slang	720 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage slang	720 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$6.4 \cdot 10^{-6}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Continu grootste aansluiting	$6.4 \cdot 10^{-6}$	12.3 kg/s	Gatgrootte 15 mm, uitstroomduur 91 s.
Vuurbal brand tijdens verlading	$4.2 \cdot 10^{-7}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Breuk slang	$2.9 \cdot 10^{-3}$	12.3 kg/s	Gatgrootte 15 mm, uitstroomduur 91 s.
Lekkage slang	$2.9 \cdot 10^{-2}$	0.12 kg/s	Gatgrootte 1.5 mm, uitstroomduur 1800 s.

Tabel 6. Ongevalsscenario's bunkeren waterstof gasfase

⁴ Bunkeren kan ook gebeuren met een tubetrailer of een (swap)container. Het maatgevende scenario, breuk slang, is voor alle opties hetzelfde waardoor de risicocontouren van alle opties hetzelfde zijn.

2.6 Waterstof vloeibare fase

Het waterstof wordt met een tankwagen over de weg vervoerd en rechtstreeks verpompt naar het schip. Er wordt gebruik gemaakt van een cryogene slang als verbinding tussen de tankauto en het schip [4]. Er is aangenomen dat de bevoorrading plaatsvindt met een dubbelwandige geïsoleerde tankauto. De tankauto is per verlading van 1500 kg 1 uur aanwezig en bevat 45 m³. De druk is 4 bar(g) met temperatuur -246 °C.

De gemodelleerde doorzet van waterstof is 5000 m³/jr. Uitgaande van een dichtheid van 803.75 kg/m³ (de dichtheid van waterstof voor een temperatuur van -246 °C en een druk van 4 bar(g)) is dit gelijk aan 303 ton/jr. Er vindt dan gedurende circa 202 uur per jaar aflevering van waterstof plaats. Aangenomen is dat de tankauto's 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 303 uur dit is 3.4% van het jaar).

De trailer wordt met een slang gekoppeld aan de installatie. Op dit moment is nog onbekend welke type slang zal worden gebruikt, er wordt daarom conservatief uitgegaan van de faalkansen van een standaard slang. De inwendige diameter van de slang is 12 mm. Tabel 7 toont de ongevalsscenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar) x 0.034 (fractie aanwezig)
Continu 10 mm	$5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar) x 0.034 (fractie aanwezig)
Breuk slang	202 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage slang	202 (uren in bedrijf) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
BLEVE tijdens verlading	202 (uren in bedrijf) x $5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie BLEVE per uur in bedrijf) x 0.05 (reductiefactor dubbelwandig)

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Instantaan	$1.7 \cdot 10^{-8}$	2727 kg	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$1.7 \cdot 10^{-8}$	0.3 kg/s	Uitstroomduur 1800 s.
Breuk slang	$8.1 \cdot 10^{-4}$	0.3 kg/s	Gatgrootte 12 mm, uitstroomduur 1800 s.
Lekkage slang	$8.1 \cdot 10^{-3}$	< 0.01 kg/s	Gatgrootte 1.2 mm, uitstroomduur 1800 s.
BLEVE tijdens verlading	$5.9 \cdot 10^{-9}$	2727 kg	BLEVE alleen tijdens verlading

Tabel 7. Ongevalsscenario's bunkeren waterstof vloeistoffase

2.7 Ammoniak

Het ammoniak wordt met een tankwagen over de weg vervoerd en rechtstreeks verpompt naar het schip. Er wordt gebruik gemaakt van een slang als verbinding tussen de tankauto en het schip. Aangenomen is dat de verlading plaatsvindt met een standaard druk tankwagen.

De gemodelleerde doorzet van ammoniak is 4000 m³/jr. Uitgaande van een dichtheid van 623.89 kg/m³ (de dichtheid van ammoniak voor een temperatuur van 10 °C en een druk van

5.1 bar(g)) is dit gelijk aan 2496 ton/jr. Het afleverdebiet vanuit een tankauto is 500 l/min. Er vindt dan gedurende circa 133 uur per jaar aflevering van ammoniak plaats. Aangenomen is dat de tankauto 1.5 keer zo lang op de bunkerplaats aanwezig is (totaal 200 uur, dit is 2.2% van het jaar). Het lossen vindt plaats met een losslang. Bij breuk van de pomp of de losslang kan de chauffeur de noodstop activeren. Conform het rekenvoorschrift is aangenomen dat de kans op succes gelijk is aan 0.9. De uitstroomduur is dan beperkt tot 120 s. Bij lekkage van de pomp of de losslang is ingrijpen niet gemodelleerd.

Het pompdebiet is gelijk aan 500 l/min. Uitgaande van de condities in de tankauto is dit debiet gelijk aan circa 5.2 kg/s. Bij breuk van de losslang zal gedurende korte tijd uitstroming plaatsvinden met een bronsterkte die afhangt van de condities in de slang op het moment van de breuk. De slang is relatief kort, zodat de pompdruk snel wegvalt. Aangenomen is dat daarna uitstroming plaatsvindt met een bronsterkte gelijk aan het pompdebiet.

Bij breuk van de slang of pomp wordt niet uitgegaan van terugstroming uit het schip. Tabel 8 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van ammoniak per tankauto. Voor de berekeningen is aangenomen dat het lossen alleen overdag zal plaatsvinden.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	0.01 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	0.01 (tijdsfractie aanwezig) $\times 5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Breuk pomp noodstop Ok	60 (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	60 (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	60 (uren in bedrijf) / 8760 (uren per jaar) $\times 4.4 \cdot 10^{-3}$ (frequentie breuk per jaar in bedrijf)
Breuk losslang noodstop Ok	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.9$ (kans noodstop succesvol)
Breuk losslang noodstop niet Ok	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf) $\times 0.1$ (kans noodstop niet succesvol)
Lekkage losslang	60 (uren in bedrijf) $\times 4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie lekkage per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$1.0 \cdot 10^{-7}$	24.1 ton	Maximale inhoud
Continu grootste aansluiting	$5.1 \cdot 10^{-9}$	18.8 kg/s	Vloeistof 3 inch gat
Breuk pomp noodstop Ok	$6.2 \cdot 10^{-7}$	8.5 kg/s	Diameter 2", leiding 5 m, duur 120 s
Breuk pomp noodstop niet Ok	$6.8 \cdot 10^{-8}$	8.5 kg/s	Diameter 2", leiding 5 m, duur 1800 s
Lekkage pomp	$3.0 \cdot 10^{-5}$	0.1 kg/s	Vloeistof 5.7 mm gat, duur 1800 s
Breuk losslang noodstop Ok	$2.2 \cdot 10^{-4}$	5.2 kg/s	Zie tekst, duur 120 s

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Breuk losslang noodstop niet Ok	$2.4 \cdot 10^{-5}$	5.2 kg/s	Zie tekst, duur 1800 s
Lekkage losslang	$2.7 \cdot 10^{-3}$	0.1 kg/s	Vloeistof 5 mm gat, duur 1800 s

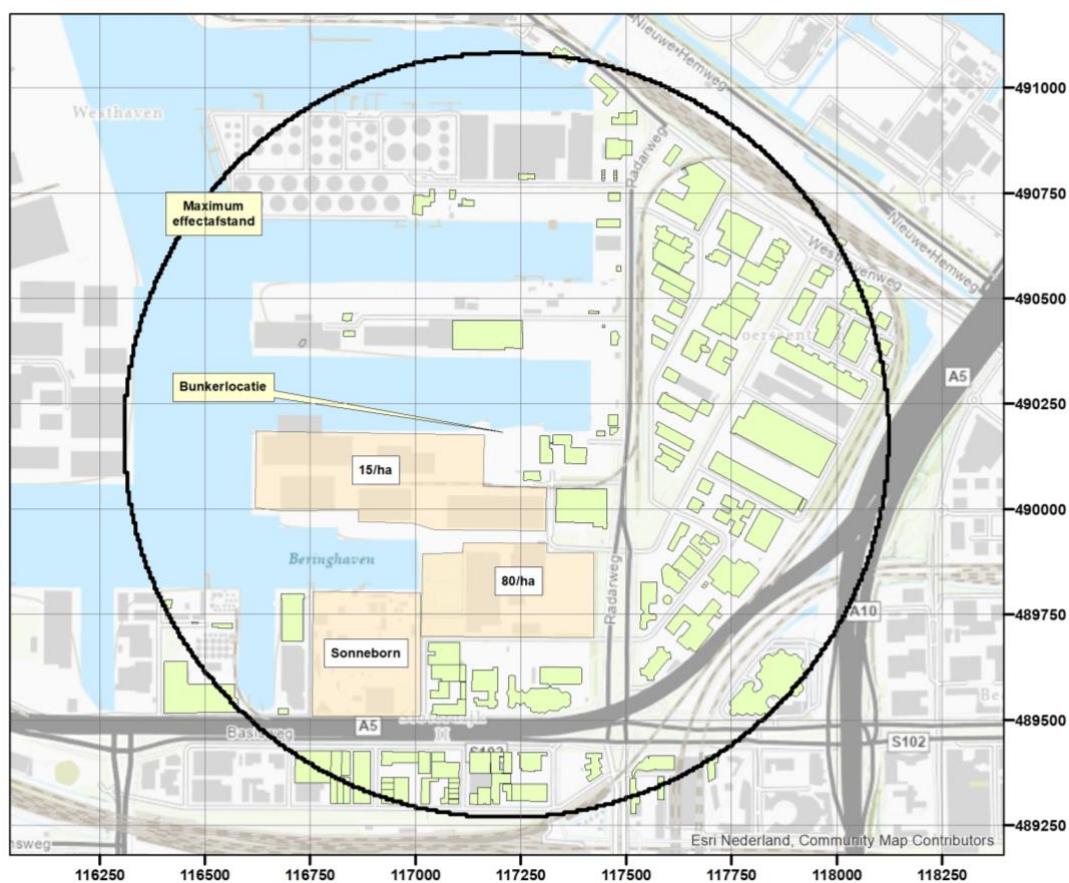
Tabel 8. Ongevalsscenario's bunkeren ammoniak

2.8 Ontgassen

Naast de bunkeractiviteiten wenst het havenbedrijf ook inzicht in de externe veiligheid van ontgassen van schepen. Royal Haskoning DHV heeft hiervoor een rapport opgesteld met hiervoor te gebruiken scenario's [5]. In dit rapport wordt verondersteld dat er continu een schip aanwezig is, conform [5]. De gebruikte scenario's en door Royal Haskoning DHV gemaakte aannames worden getoond in [5].

2.9 Omgeving

Figuur 1 toont de ligging van één van de potentiële bunkerlocaties. Deze locatie is door de opdrachtgever gekozen vanwege de grote bevolkingsdichtheid in de omgeving. Voor de berekening van het groepsrisico dient de aanwezigheid van personen te worden gemodelleerd binnen de maximale afstand tot 1% kans op overlijden. Deze afstand bedraagt circa 763 m vanaf de bunkerlocatie, zie hoofdstuk 6. In de figuur wordt dit zogenaamde invloedsgebied getoond. De aanwezigheid van personen is gemodelleerd met de BAG populatieservice (geraadpleegd 17 november 2022). De hiermee verkregen gegevens zijn opgenomen in het Safeti-NL model (de groene vlakken in figuur 1). Deze gegevens zijn aangevuld met 2 extra vlakken (de oranje vlakken in figuur 1). Het terrein van Sonneborn is groter gemodelleerd dan opgegeven, maar met het gelijke aantal personen als in de populatieservice.



Figuur 1. Voorbeeld omgeving van de bunkerlocatie

2.10 Parameters

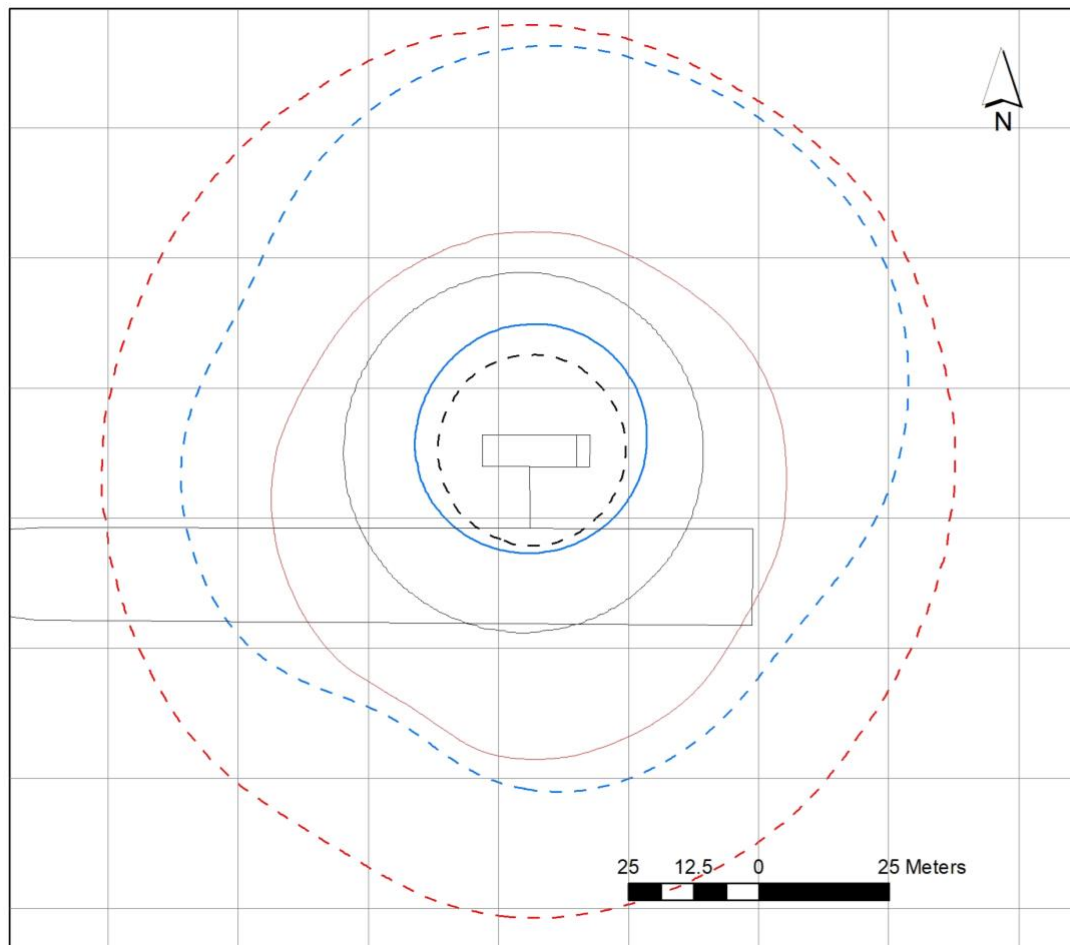
De standaard parameters van Safeti-NL versie 8.5 zijn gebruikt voor de berekening. De gegevens voor het weerstation Schiphol worden gebruikt voor de kans op het voorkomen van een bepaalde weersklasse. Voor de ruwheidslengte is de standaard waarde van 0.3 m gehanteerd.

3 Resultaten plaatsgebonden risico

De plaatsgebonden risicocontouren 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} /jr per scenario worden getoond in bijlage 1. Uit deze resultaten is te concluderen dat de 10^{-6} contour het kleinst is bij standalone methanol. De grootste 10^{-6} contour volgt uit scenario 12. De afstanden zijn respectievelijk 22 en 93 meter vanaf de opstelplaats van de tankauto's. Verder blijkt dat alle scenario's relatief gelijkvormige 10^{-6} contouren hebben, waarbij voor ammoniak en LNG invloed van de weersklassen meer effect op de vorm van de 10^{-6} contour heeft dan bij methanol of waterstof.

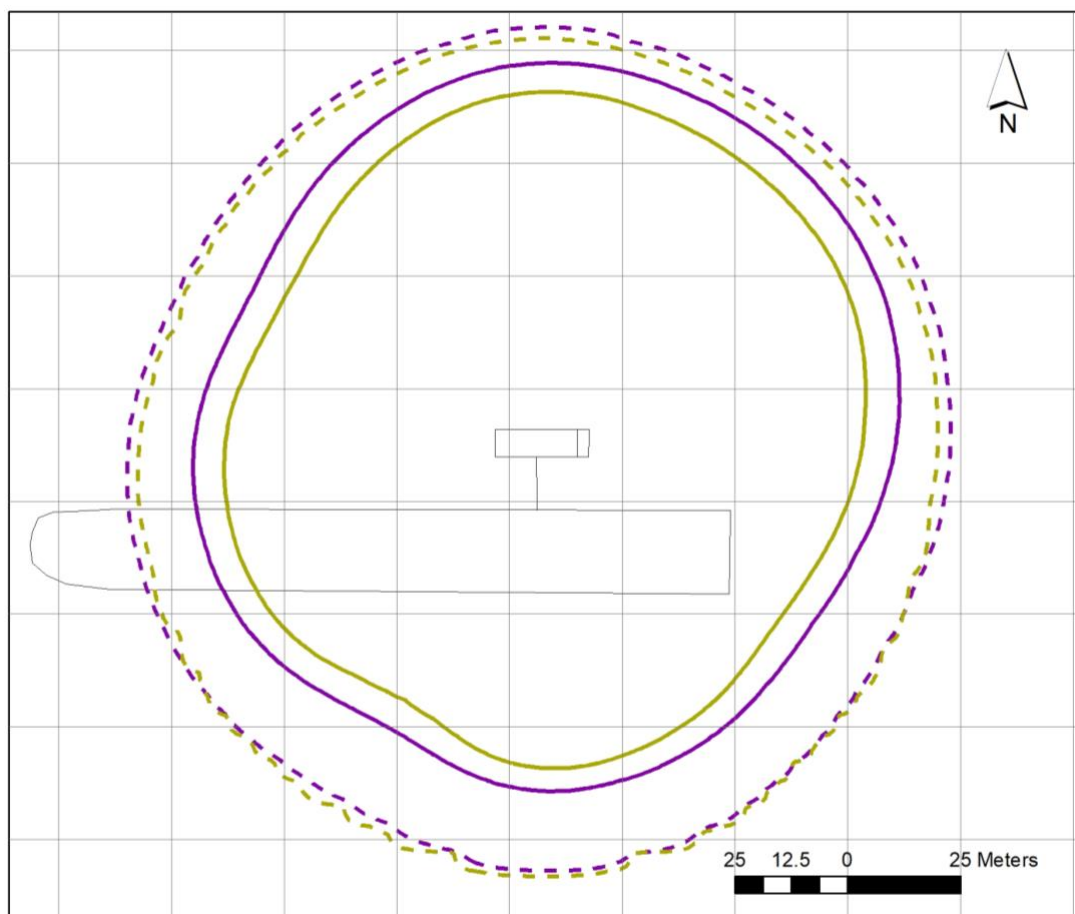
De ligging van de plaatsgebonden risico 10^{-6} /jr wordt in dit hoofdstuk onderling vergeleken. Figuur 2 toont de ligging van deze contour voor elke standalone (scenario 1 t/m 6).

Uit figuur 2 blijkt dat de plaatsgebonden risicocontour 10^{-6} /jr van methanol het dichtst bij de bunkerlocatie ligt. Overigens gaat het model uit van verspreiding over een harde ondergrond. In werkelijkheid zijn een deel uitstromen in het water en hiermee op mengen. Er zal geen plasbrand op water kunnen ontstaan. Verder blijkt uit figuur 2 dat de plaatsgebonden risicocontouren 10^{-6} /jr van LNG met Tpiece en ammoniak het verst af liggen van de bunkerlocatie.



Figuur 2. Vergelijking PR 10^{-6} contouren standalone stoffen

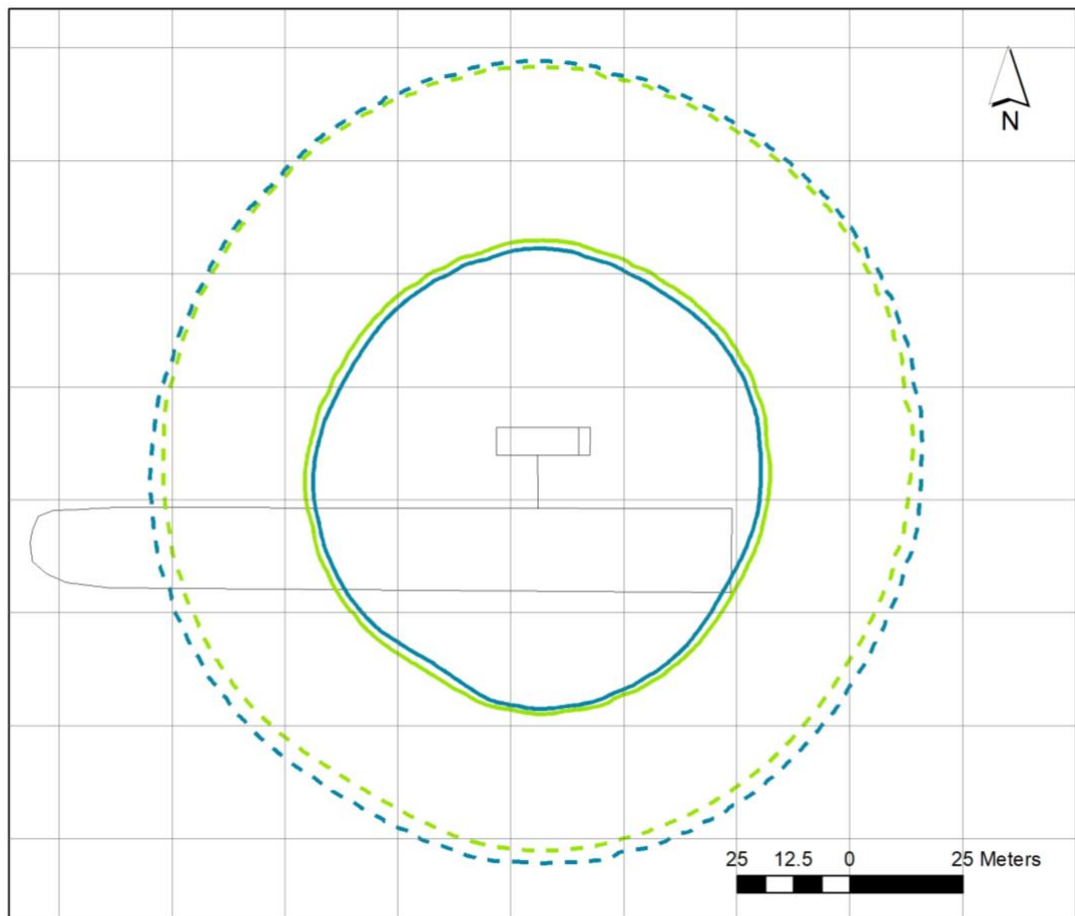
—————	1.0 10^{-6} /year Scenario 1 LNG Single
- - - - -	1.0 10^{-6} /year Scenario 2 LNG Tpiece
- - - - -	1.0 10^{-6} /year Scenario 3 Methanol
—————	1.0 10^{-6} /year Scenario 4 Waterstof gasfase
—————	1.0 10^{-6} /year Scenario 5 Waterstof vloeistof
- - - - -	1.0 10^{-6} /year Scenario 6 Ammoniak



Figuur 3. Vergelijking PR 10^{-6} contouren scenario's 7, 8, 11 en 12

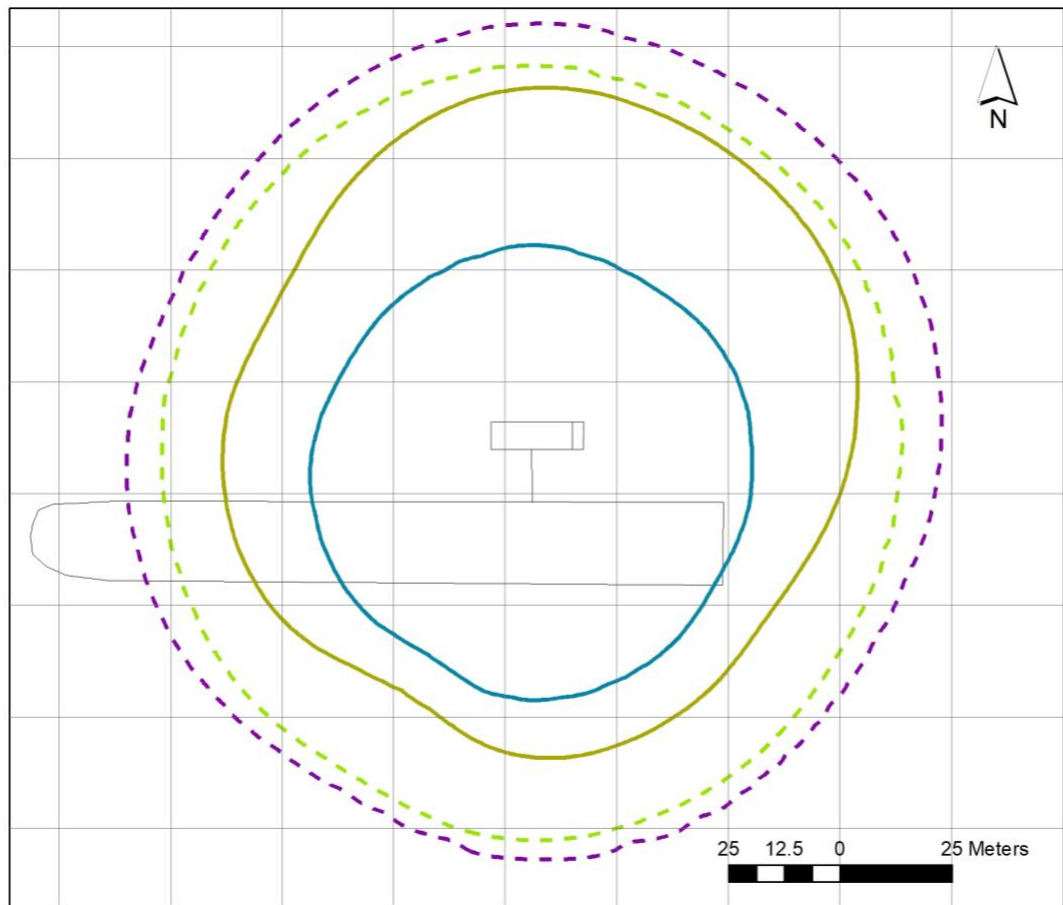
———	1.0 10^{-6} /jr scenario 7 alle gecombineerd met single LNG
- - - - -	1.0 10^{-6} /jr scenario 8 alle gecombineerd met LNG Tpiece
———	1.0 10^{-6} /jr scenario 11 alle gecombineerd met single LNG en ontgassen
- - - - -	1.0 10^{-6} /jr scenario 12 alle gecombineerd met LNG Tpiece en ontgassen

Uit figuur 3 blijkt dat het bunkeren van LNG met Tpiece ook bij de gecombineerde scenario's leidt tot duidelijk grotere afstanden in vergelijking met bunkeren van LNG met een enkele tankauto. Ook is uit dit figuur op te maken dat het ontgassen vooral bijdraagt aan de PR 10^{-6} contour indien deze dichterbij de bunkerlocatie ligt.



Figuur 4. Vergelijking PR 10^{-6} contouren scenario's 9, 10, 13 en 14

- | | |
|---|---|
|  | 1.0 10^{-6} /jr scenario 9 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met single LNG |
|  | 1.0 10^{-6} /jr scenario 10 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met LNG Tpiece |
|  | 1.0 10^{-6} /jr scenario 13 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met single LNG en ontgassen |
|  | 1.0 10^{-6} /jr scenario 14 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met LNG Tpiece en ontgassen |



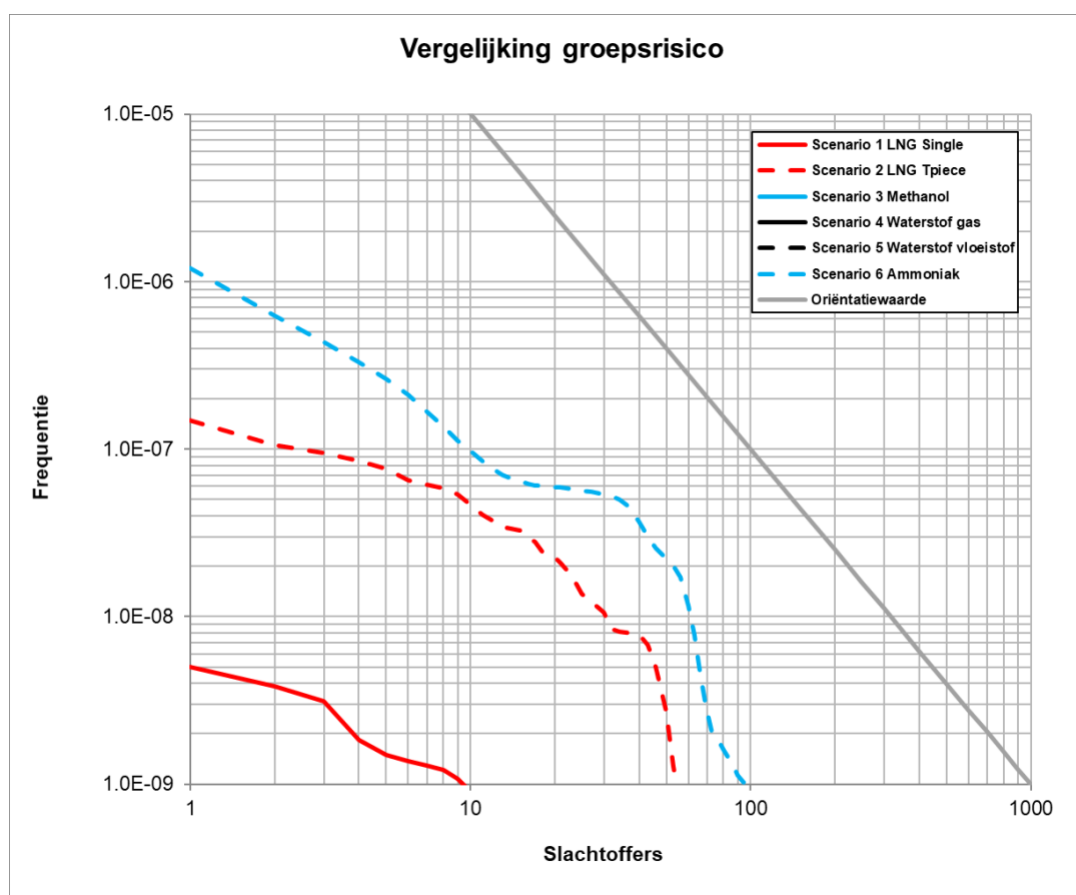
Figuur 5. Vergelijking PR 10^{-6} contouren scenario's 7, 9, 12 en 14

- | | |
|---|---|
| — | 1.0 10^{-6} /jr scenario 7 alle gecombineerd met single LNG |
| — | 1.0 10^{-6} /jr scenario 9 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met single LNG |
| --- | 1.0 10^{-6} /jr scenario 12 alle gecombineerd met LNG Tpiece en ontgassen |
| --- | 1.0 10^{-6} /jr scenario 14 alle gecombineerd, zonder NH ₃ met LNG Tpiece en ontgassen |

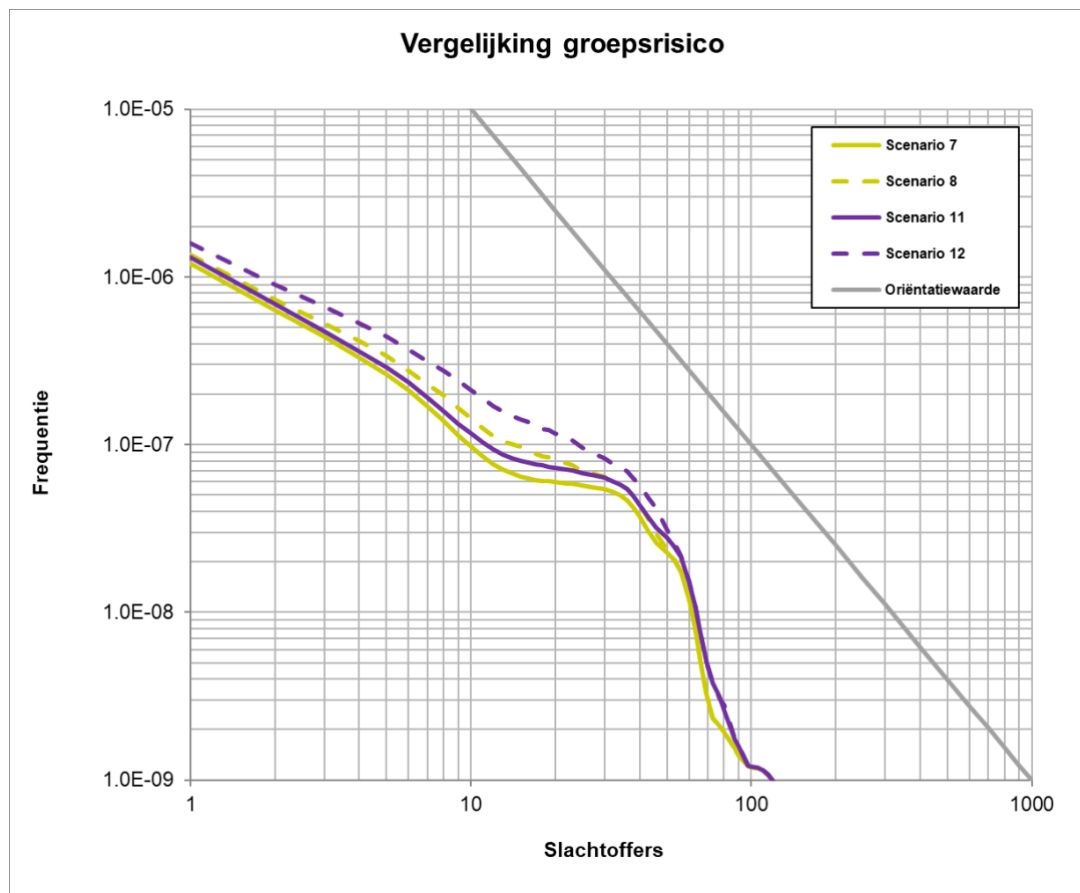
4 Resultaten groepsrisico

De ligging van de groepsrisico curves worden in dit hoofdstuk onderling vergeleken. Figuur 6 toont de ligging van deze contour voor elke standalone (scenario 1 t/m 6).

Uit figuur 6 blijkt dat alleen bij het bunkeren van LNG met Tpiece en ammoniak sprake is van een duidelijk groepsrisico. Bij de overige stoffen is het maximaal aantal slachtoffers kleiner dan 10. Voor beide opties met waterstof en methanol is het groepsrisico zodanig klein dat deze niet getoond kan worden op figuur 6. Het groepsrisico ligt in alle gevallen onder de oriëntatiewaarde.

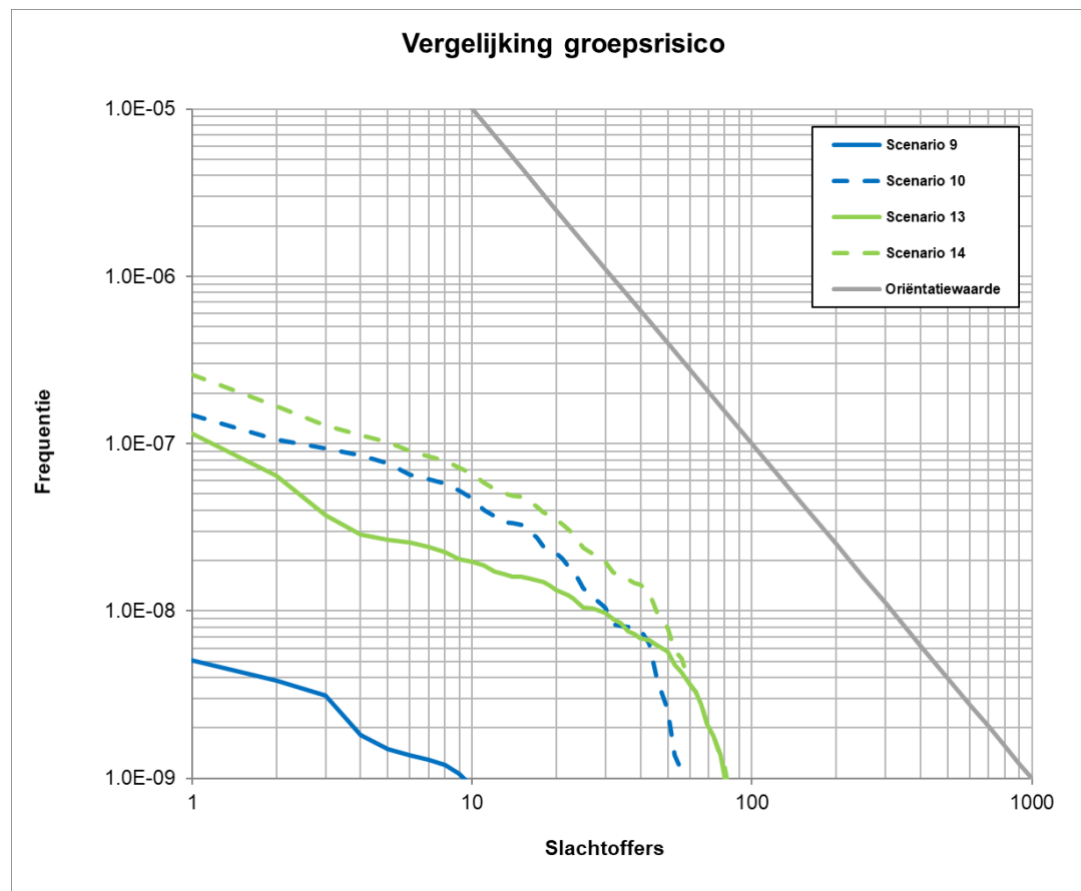


Figuur 6. Vergelijking groepsrisico standalone stoffen



Figuur 7. Vergelijking groepsrisico scenario's 7, 8, 11 en 12

—	Groepsrisico scenario 7 alle gecombineerd met single LNG
- - -	Groepsrisico scenario 8 alle gecombineerd met LNG Tpiece
—	Groepsrisico scenario 11 alle gecombineerd met single LNG en ontgassen
- - -	Groepsrisico scenario 12 alle gecombineerd met LNG Tpiece en ontgassen



Figuur 8. Vergelijking groepsrisico scenario's 9, 10, 13 en 14

- Groepsrisico scenario 9 alle gecombineerd, zonder NH₃ met single LNG
- Groepsrisico scenario 10 alle gecombineerd, zonder NH₃ met LNG Tpiece
- Groepsrisico scenario 13 alle gecombineerd, zonder NH₃ met single LNG en ontgassen
- Groepsrisico scenario 14 alle gecombineerd, zonder NH₃ met LNG Tpiece en ontgassen

5 Beschouwing resultaten

5.1 Beschouwing plaatsgebonden risico

Uit de berekeningen blijkt dat de plaatsgebonden risico contour 10^{-6} het kleinst is voor alleen methanol en het grootst bij scenario 12 (combinatie met alle stoffen, LNG met T-piece en ontgassen. Bij methanol is de afstand circa 22 meter vanaf de bunkerlocatie. Bij scenario 12 is dit circa 94 meter. Tabel 9 toont de verschillende scenario's en de maximale afstand tot aan de PR 10^{-6} contour.

Scenario	Afstand [m]	Toelichting
1	52	Bunkeren LNG (single)
2	83	Bunkeren LNG (t-piece)
3	22	Bunkeren methanol
4	35	Bunkeren waterstof gas
5	26	Bunkeren waterstof vloeibaar
6	78	Bunkeren ammoniak
7	78	Alle brandstoffen gecombineerd met LNG als single
8	92	Alle brandstoffen gecombineerd met LNG T-piece
9	48	Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH ₃ met LNG als single
10	93	Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH ₃ met LNG T-piece
11	82	Alle brandstoffen gecombineerd met LNG als single en ontgassen
12	94	Alle brandstoffen gecombineerd met LNG T-piece en ontgassen
13	54	Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH ₃ met LNG als single en ontgassen
14	87	Alle brandstoffen gecombineerd, excl NH ₃ met LNG T-piece en ontgassen

Tabel 9. Afstanden plaatsgebonden risicocontour 10^{-6}

Uit bovenstaande tabel en de figuren is af te leiden dat het bunkeren van LNG met T-piece en het bunkeren van ammoniak de grootste bijdrage leveren aan de ligging van de 10^{-6} contour. Daarnaast blijkt dat het ontgassen enigszins van invloed is op de 10^{-6} contour. Deze wordt enkele meters 'opgetild'.

In de bijlage worden alle risicocontouren van de verschillende opties getoond. Hieruit blijkt het volgende:

- Bij alle scenario's ligt de PR 10^{-8} contour op ruime afstand van de 10^{-6} contour, afgezien van waterstof. Dit komt door de relatief hoge faalkansen van het bepalende scenario, breukslang 15mm. Indien een dunnere slang wordt gebruikt zullen de PR contouren kleiner zijn bij dit scenario.
- Alle PR 10^{-6} contouren zijn rond, behalve de LNG en de scenario's met NH₃ en/of ontgassen. Dit komt doordat de plasbranden en fakkels zorgen voor cirkelvormige effecten die nauwelijks effect ondervinden van verschillende windrichtingen. Bij het ontgassen en

de uitstroom van NH_3 is sprake van toxische stoffen die als gas vrijkomen of verdampen vanuit een plas. Deze toxische wolken zijn meer weersafhankelijk.

- Uit figuur 3 blijkt dat het bunkeren van LNG met Tpiece ook bij de gecombineerde scenario's leidt tot duidelijk grotere afstanden in vergelijking met bunkeren van LNG met een enkele tankauto. Ook is uit dit figuur op te maken dat het ontgassen vooral bijdraagt aan de PR 10^{-6} contour indien deze dicht bij de bunkerlocatie ligt.

5.2 Beschouwing groepsrisico

Uit de resultaten van de groepsrisico berekeningen blijkt dat alleen het bunkeren van LNG met Tpiece en NH_3 significante invloed heeft op het groepsrisico. Alle andere stoffen leiden of tot minder dan 10 slachtoffers. Het groepsrisico ligt in alle gevallen onder de oriëntatiewaarde.

Bij bunkeren van NH_3 is de kans op meerdere slachtoffers alleen hoger dan $4 \cdot 10^{-8}$ bij maximaal 40 slachtoffers. De kans op meer dan 40 slachtoffers is kleiner dan $4 \cdot 10^{-8}$. Dit komt door de scenario's instantaan falen, grootste aansluiting, breuk slang (noodstop niet Ok) en breuk pomp (noodstop niet Ok). De effecten van de toxische wolk reiken verder dan die van de andere scenario's (zie hoofdstuk 6). Hierdoor worden meer mensen blootgesteld aan deze effecten.

6 Effectafstand

Effectafstanden zijn berekend voor alle scenario's. Tabel 10 toont de afstand tot 1% kans op overlijden (bij onbeschermde blootstelling) voor weersklasse D-5.0 overdag en voor weersklasse F-1.5 's nachts. De letter in de weersklasse toont de ruwheid van het weer. A is stormachtig, waar F vrijwel windstil is. Het cijfer geeft de gemiddelde windsnelheid in m/s weer. In de handleiding risicoberekeningen Bevi is voorgeschreven dat in een QRA de 1% effectafstanden voor deze weersklassen wordt weergegeven.

De aanduiding in de kolommen onderdeel en scenario zijn een referentie naar de tekst in hoofdstuk 2. De inhoud van een cel is leeg als er door Safeti-NL geen waarde wordt gerapporteerd.

Het criterium voor de afstand tot 1% kans op overlijden hangt af van het effect dat voor elk scenario leidt tot de grootste afstand (bijvoorbeeld 10 kW/m² voor een fakkelt die langer dan 20 s duurt). Voor de effectafstanden van het ontgassen wordt verwezen naar het desbetreffende rapport.

Stof	Onderdeel	Scenario	1% Overlijden	
			D-5.0 [m]	F1.5 [m]
LNG	Tankauto	Instantaan	219	204
		ContinuGrootsteAansluiting	103	145
		BreukPompNoodstopOk	93	109
		BreukPompNoodstopNietOk	93	128
		LekkagePomp	14	17
		BreukSlangNoodstopOk	70	86
		BreukSlangNoodstopNietOk	70	96
		LekkageSlang	6	1
		BLEVE tijdens verlading	199	200
	T piece naar schip	BreukSlangNoodstopOk TerugslagklepOk	71	88
		BreukSlangNoodstopOk TerugslagklepNietOk	103	119
		BreukSlangNoodstopNietOk TerugslagklepOk	71	98
		BreukSlangNoodstopNietOk TerugslagklepNietOk	103	142
		LekkageSlang	9	3
Methanol	Tankauto	Instantaan	35	30
		ContinuGrootsteAansluiting	45	41
		BreukPompNoodstopOk	22	20
		BreukPompNoodstopNietOk	30	28
		LekkagePomp	7	6
		BreukSlangNoodstopOk	25	23
		BreukSlangNoodstopNietOk	35	32

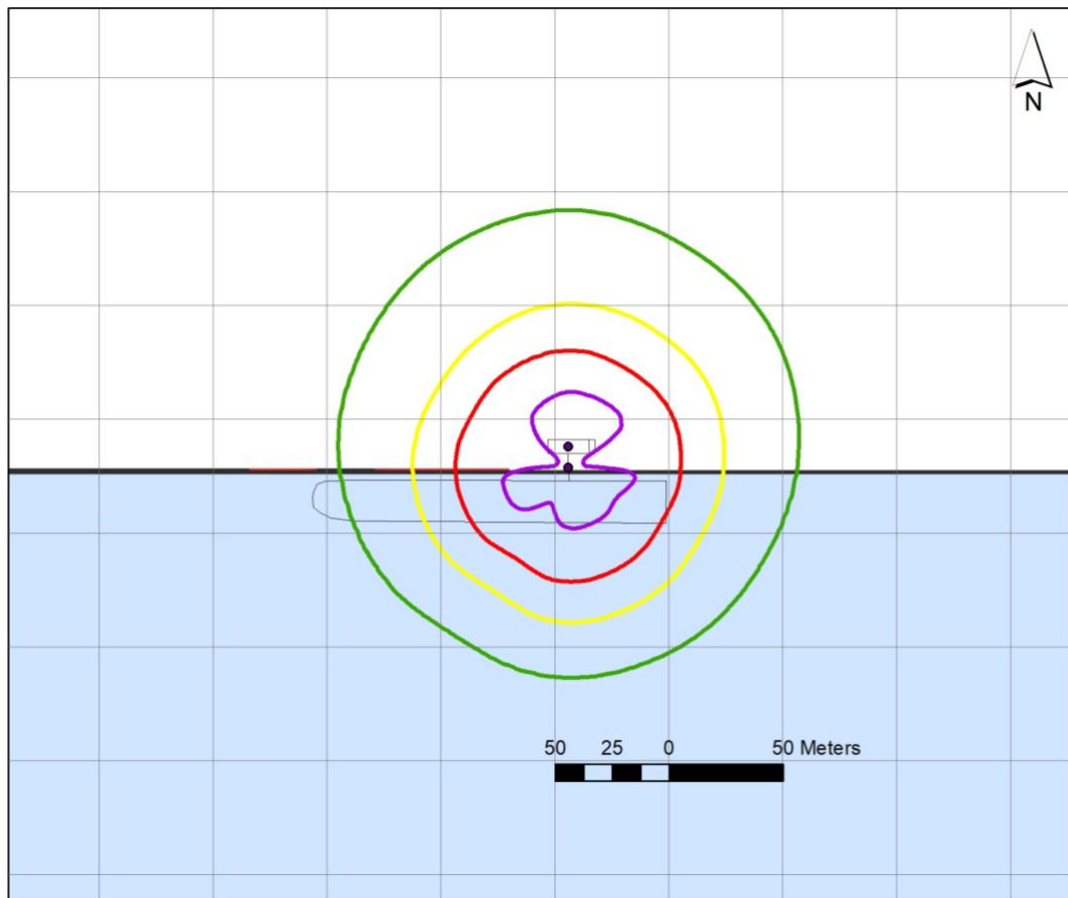
Stof	Onderdeel	Scenario	1% Overlijden	
			D-5.0 [m]	F1.5 [m]
Stof	Onderdeel	Scenario	1% Overlijden	
			D-5.0 [m]	F1.5 [m]
Methanol	Tankauto	LekkageSlang	7	6
		Plasbrand tijdens verlading	29	26
Waterstof gasfase	Flessentrailer	Instantaan	9	9
		Continu grootste aansluiting	34	34
		Breuk slang	34	34
		Lekkage slang	4	4
		Vuurbal brand tijdens verlading	9	9
Waterstof vloeistof	Tankauto	Instantaan	187	104
		Continu grootste aansluiting	27	26
		Breuk slang	27	26
		Lekkage slang	3	3
		BLEVE tijdens verlading	95	96
Ammoniak	Tankauto	Instantaan	327	449
		Continu grootste aansluiting	494	763
		Breuk pomp noodstop Ok	218	282
		Breuk pomp noodstop niet Ok	346	560
		Lekkage pomp	78	125
		Breuk losslang noodstop Ok	116	153
		Breuk losslang noodstop niet Ok	193	314
		Lekkage losslang	0	0

Tabel 10. Effectafstand weersklasse D-5.0 overdag en F-1.5

Referenties

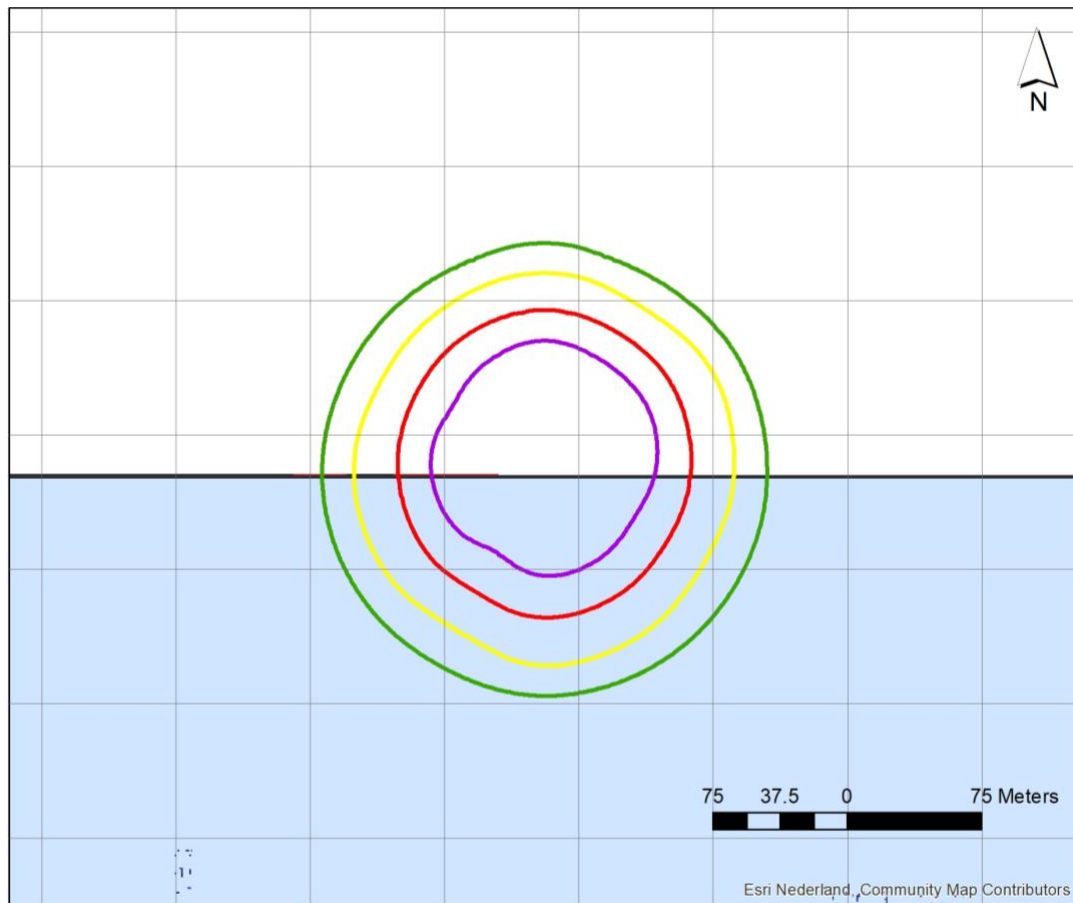
1. RIVM 2021 Handleiding risicoberekeningen BEVI
(versie 4.3 gedateerd 1 januari 2021)
2. RIVM 2014 Interim rekenmethode LNG-bunkerstations
Versie 1.0 gedateerd 18 december 2014
3. RIVM 2015 Rekenmethodiek LNG-Tankstations
Versie 1.0.1 gedateerd 2 februari 2015
4. RIVM 2016 Risico- en effectafstanden waterstoftankstations
Memo kenmerk 20160149 VLH HAS/Sta/sij gedateerd 3
oktober 2016
5. Royal HaskoningDHV 2022 Risicoberekening stilliggend ontgassen
Referentie: BI1453-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
September 2022

Bijlage 1 resultaten plaatsgebonden risico

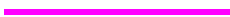


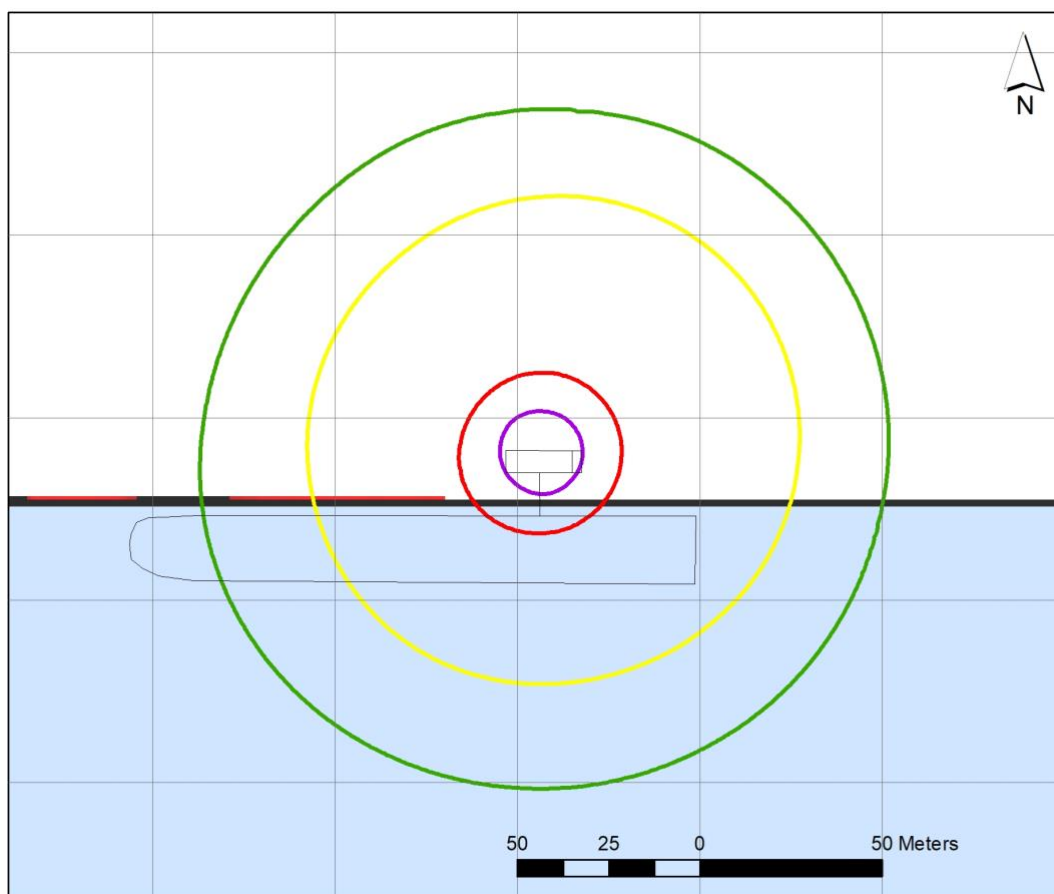
Figuur 9. Plaatsgebonden risico contouren (1) stand alone LNG (single tankauto)

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



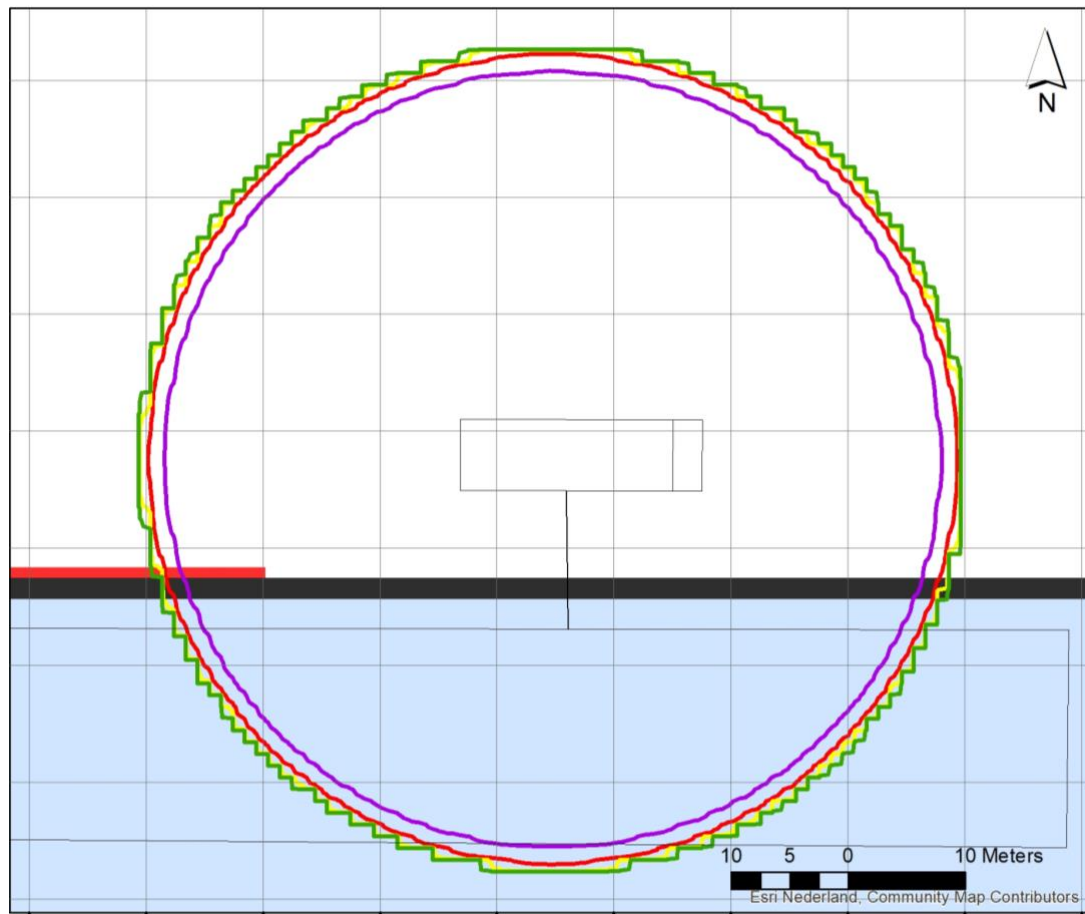
Figuur 10. Plaatsgebonden risico contouren (2) stand alone LNG (Tpiece 2 tankauto's)

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



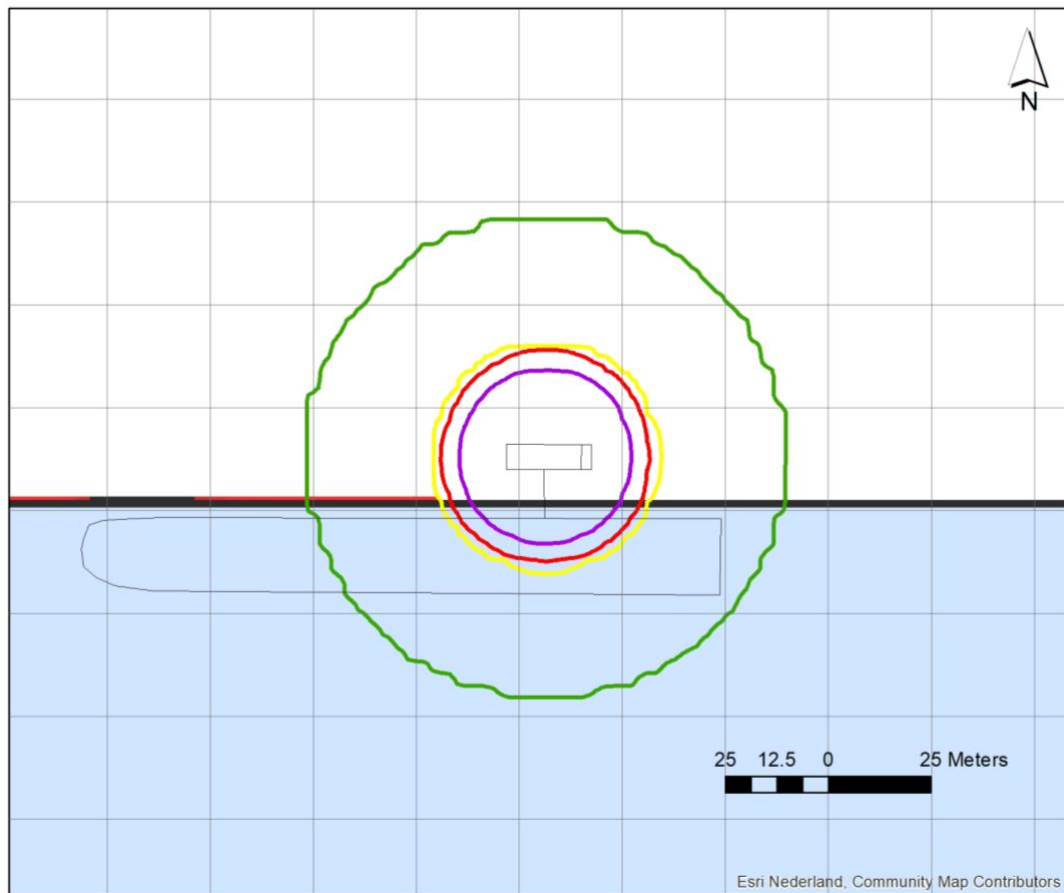
Figuur 11. Plaatsgebonden risico contouren (3) stand alone methanol

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



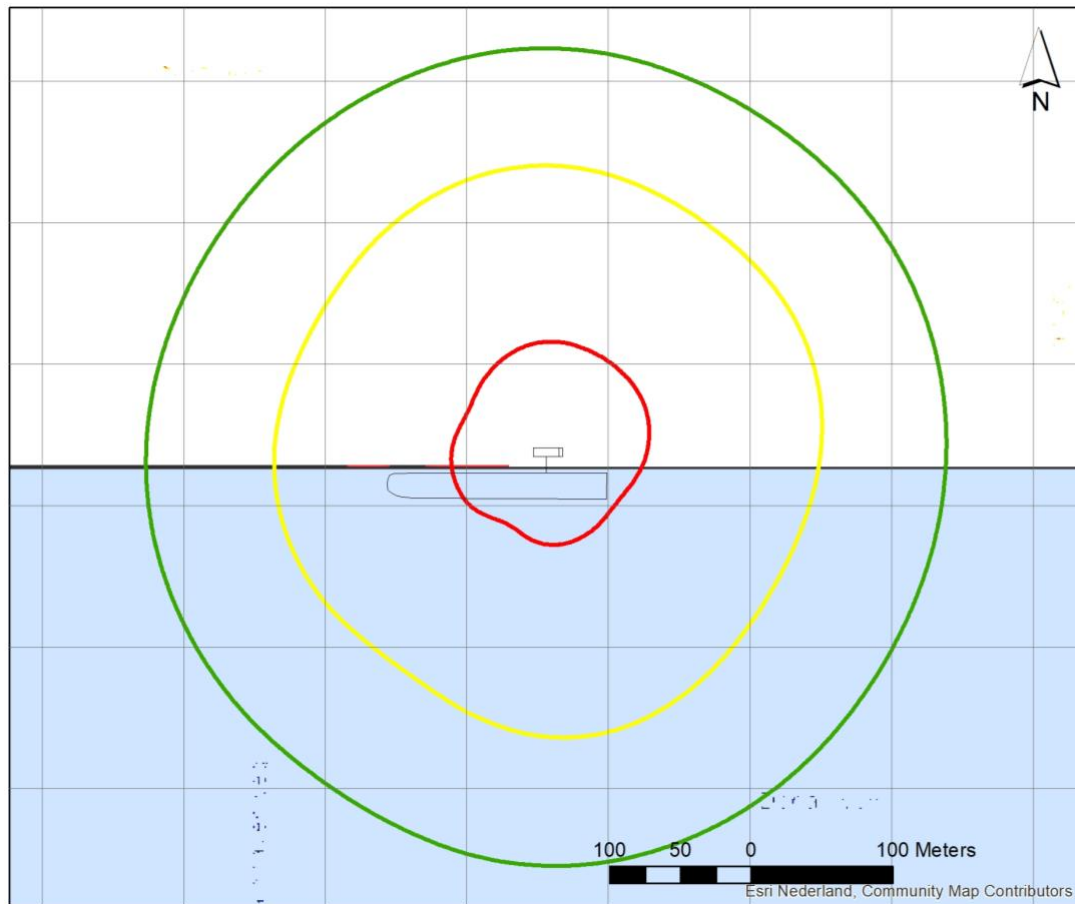
Figuur 12. Plaatsgebonden risico contouren (4) stand alone waterstof gas

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



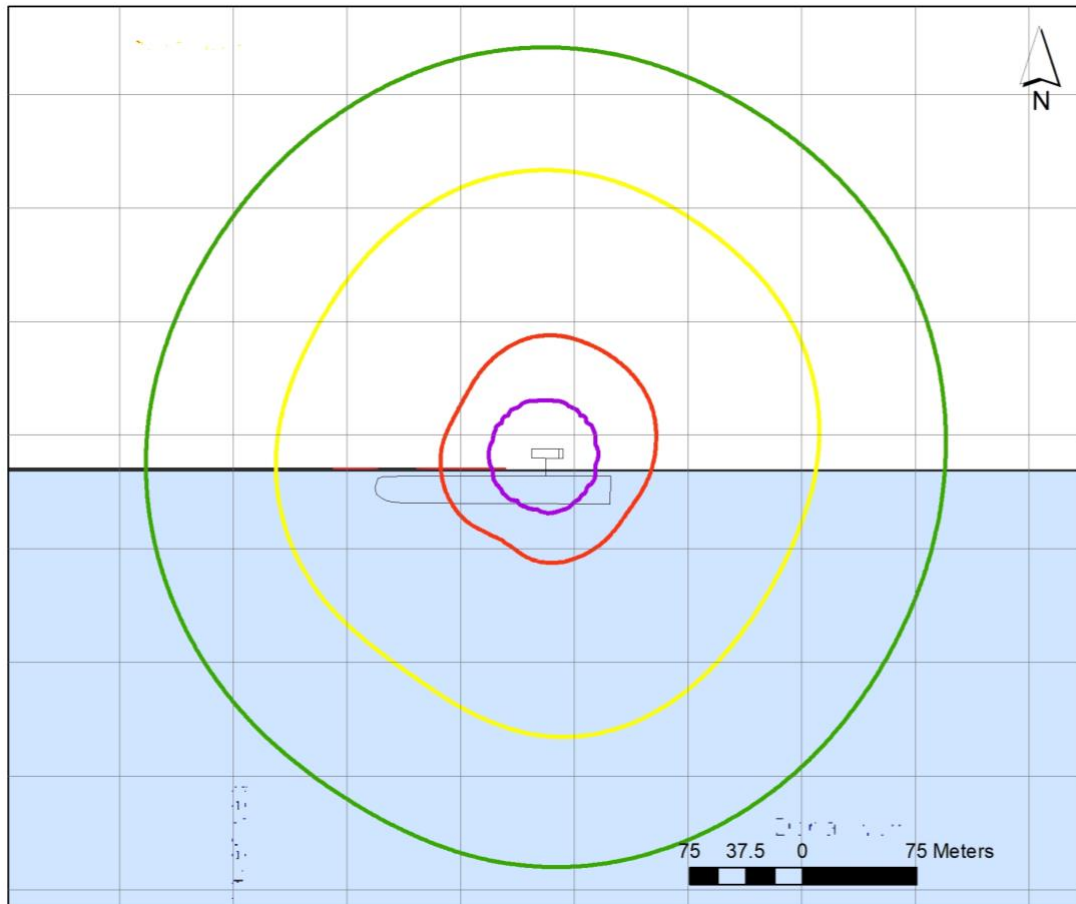
Figuur 13. Plaatsgebonden risico contouren (5) stand alone waterstof vloeibaar

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



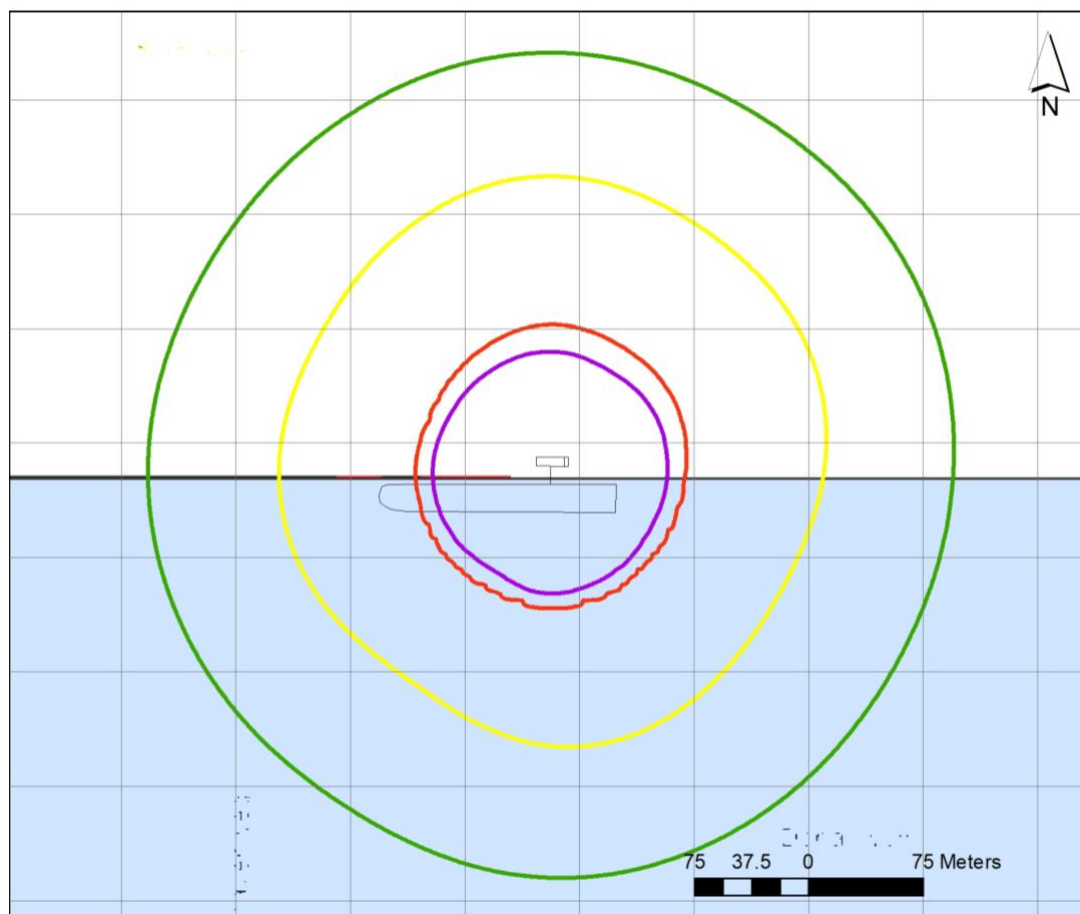
Figuur 14. Plaatsgebonden risico contouren (6) stand alone ammoniak

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



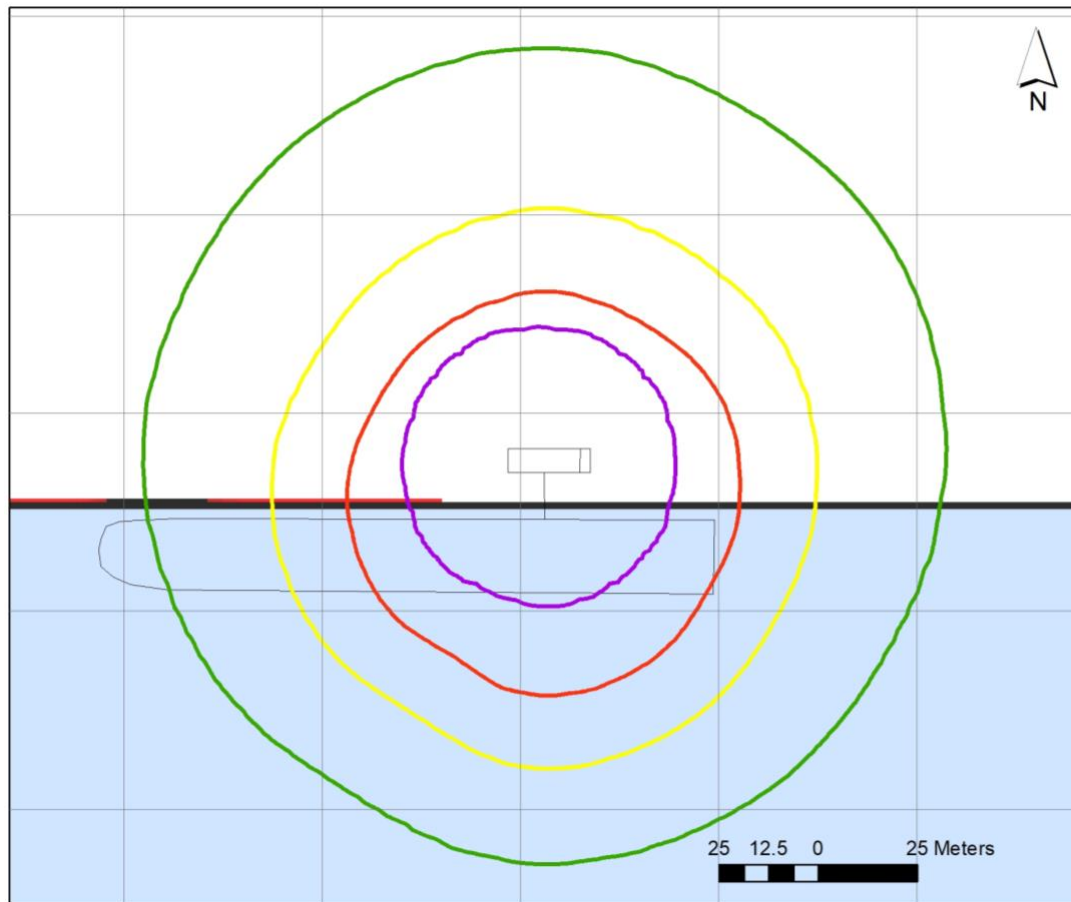
Figuur 15. Plaatsgebonden risico contouren (7) alle gecombineerd met LNG als single tankauto

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



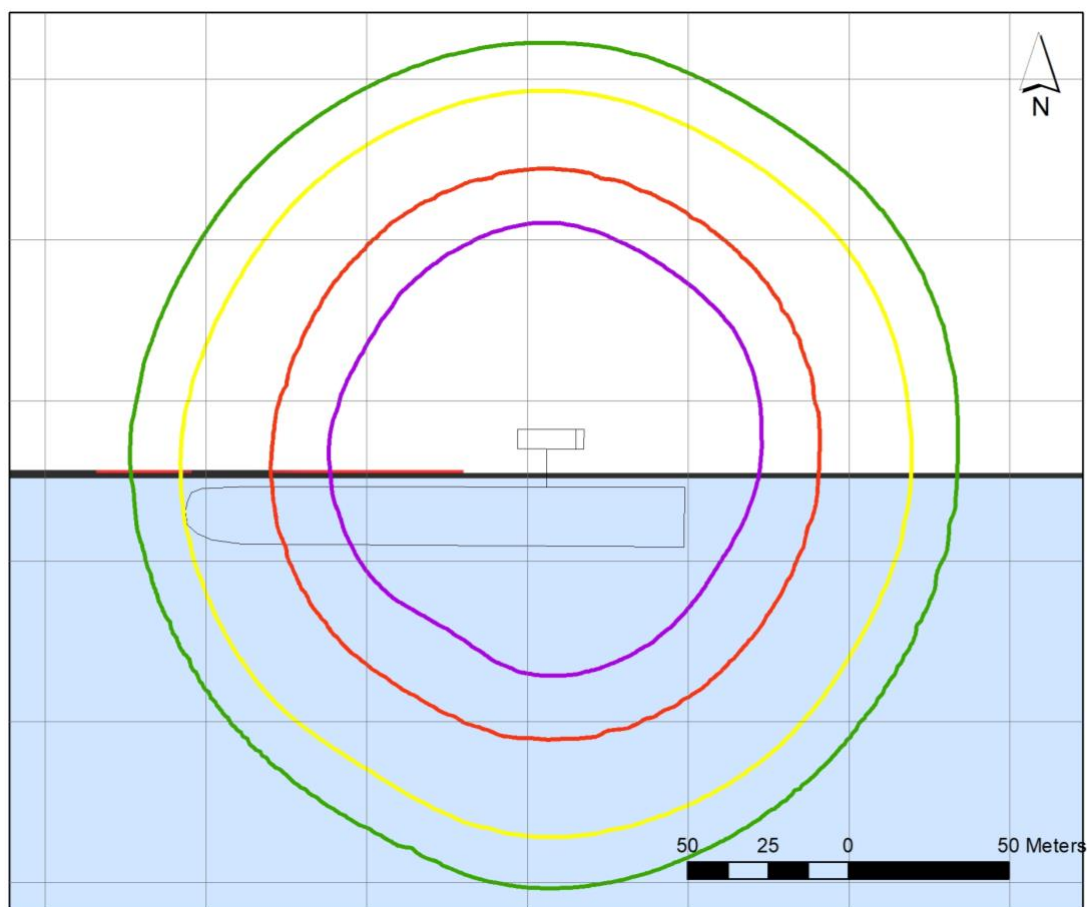
Figuur 16. Plaatsgebonden risico contouren (8) alle gecombineerd met LNG T-piece 2 tankauto's

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



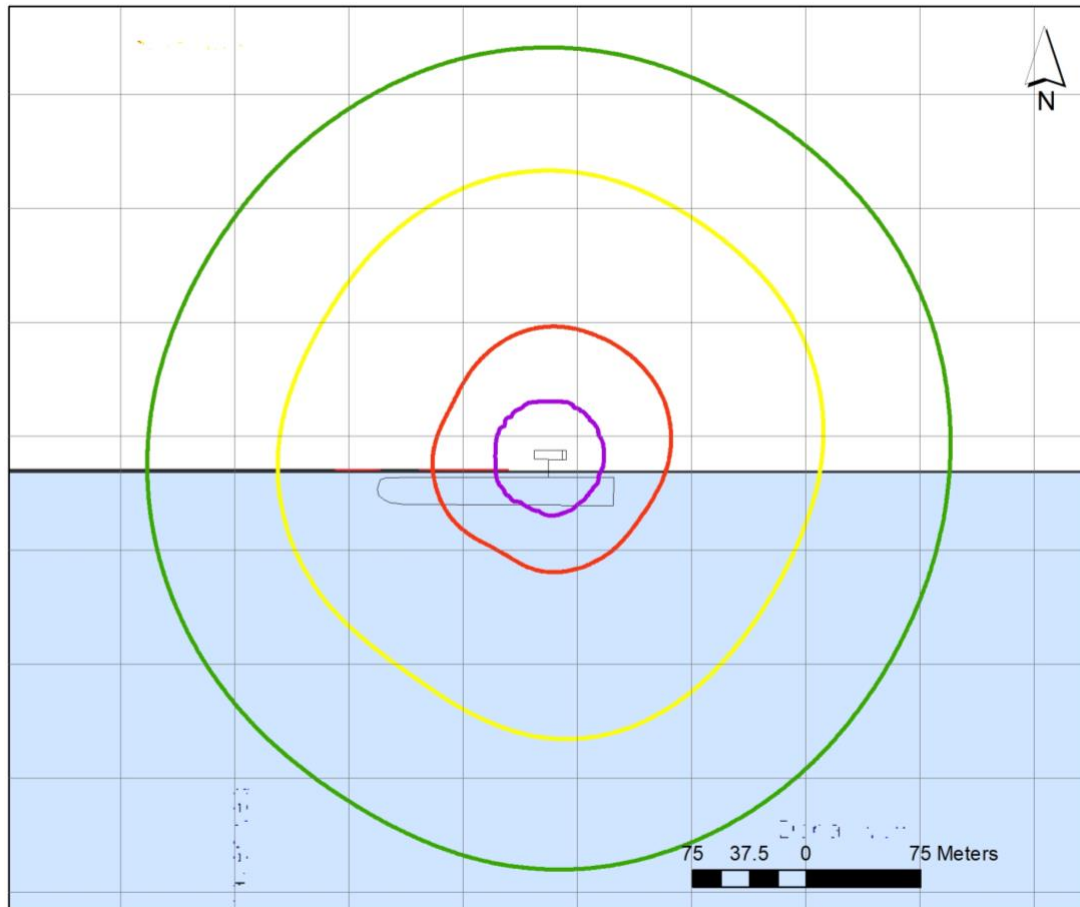
Figuur 17. Plaatsgebonden risico contouren (9) alle gecombineerd zonder NH3 met LNG als single tankauto

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



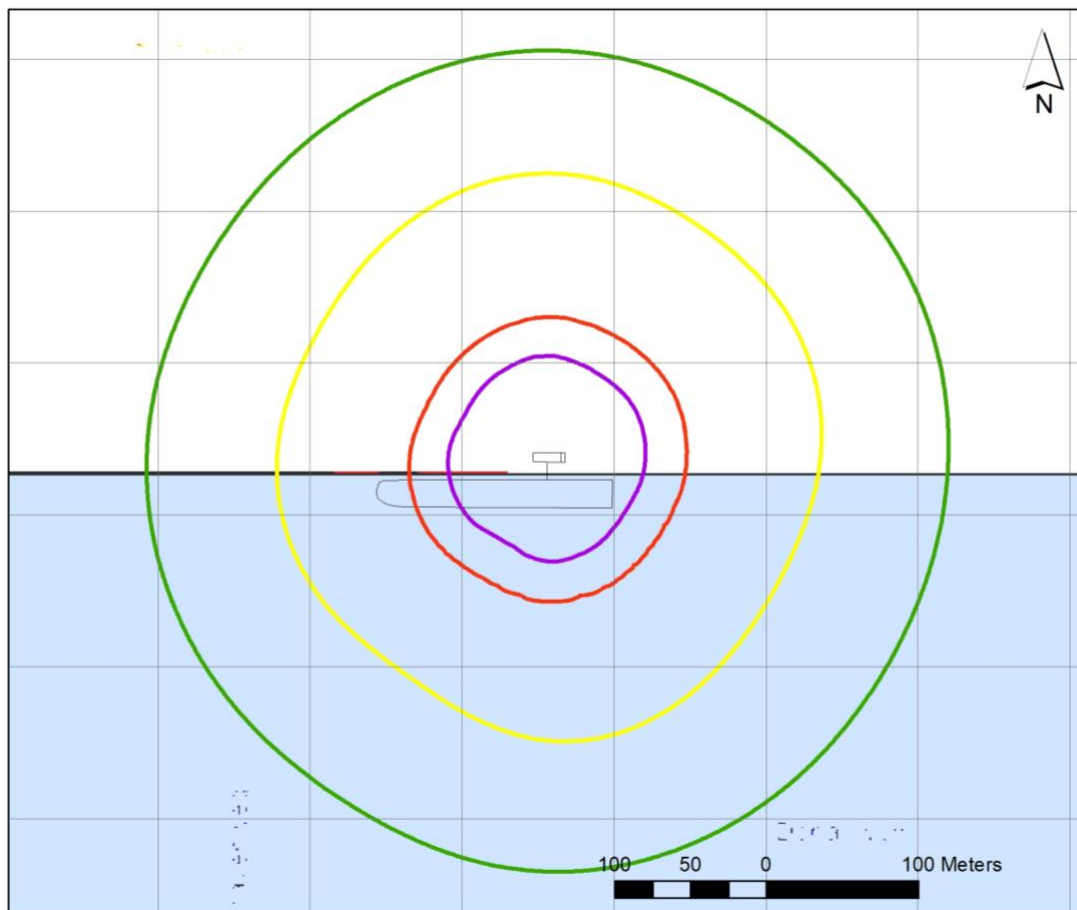
Figuur 18. Plaatsgebonden risico contouren (10) alle gecombineerd zonder NH3 met LNG T-piece 2 tankauto's

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



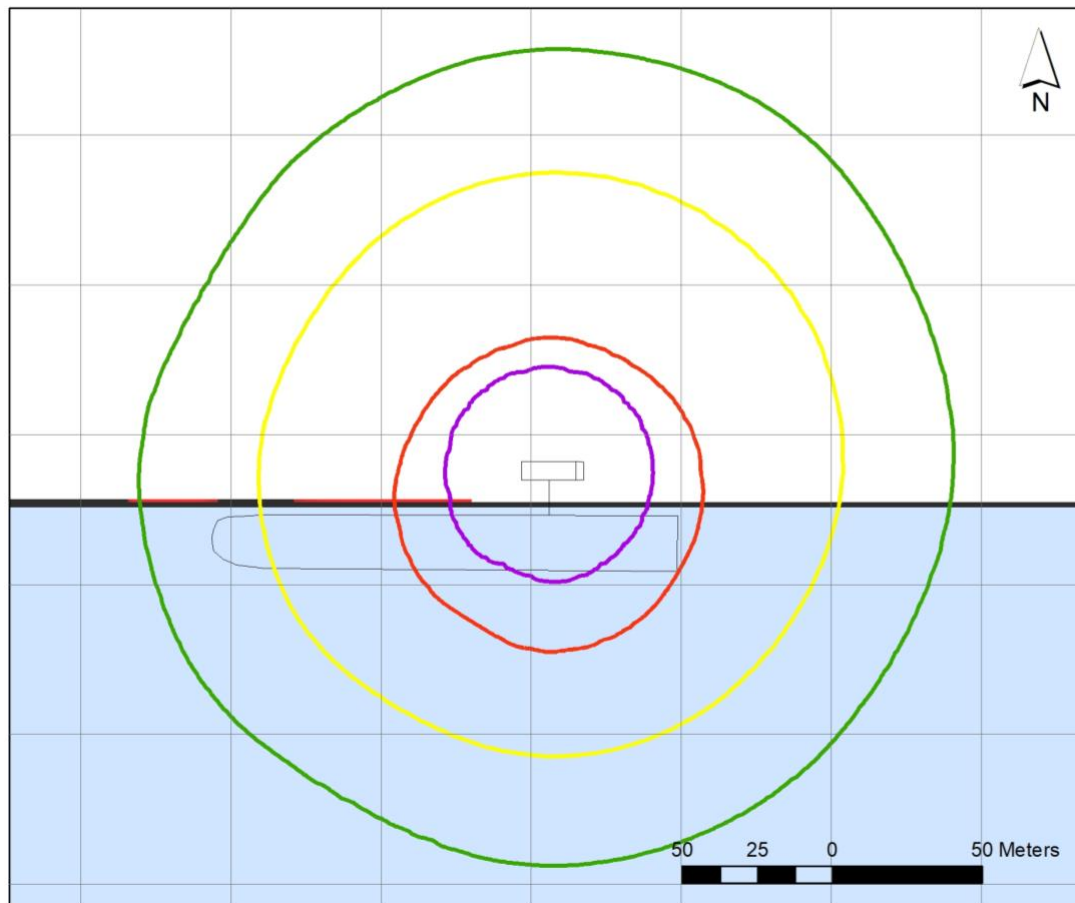
Figuur 19. Plaatsgebonden risico contouren (11) alle gecombineerd met LNG als single tankauto en ontgassen

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



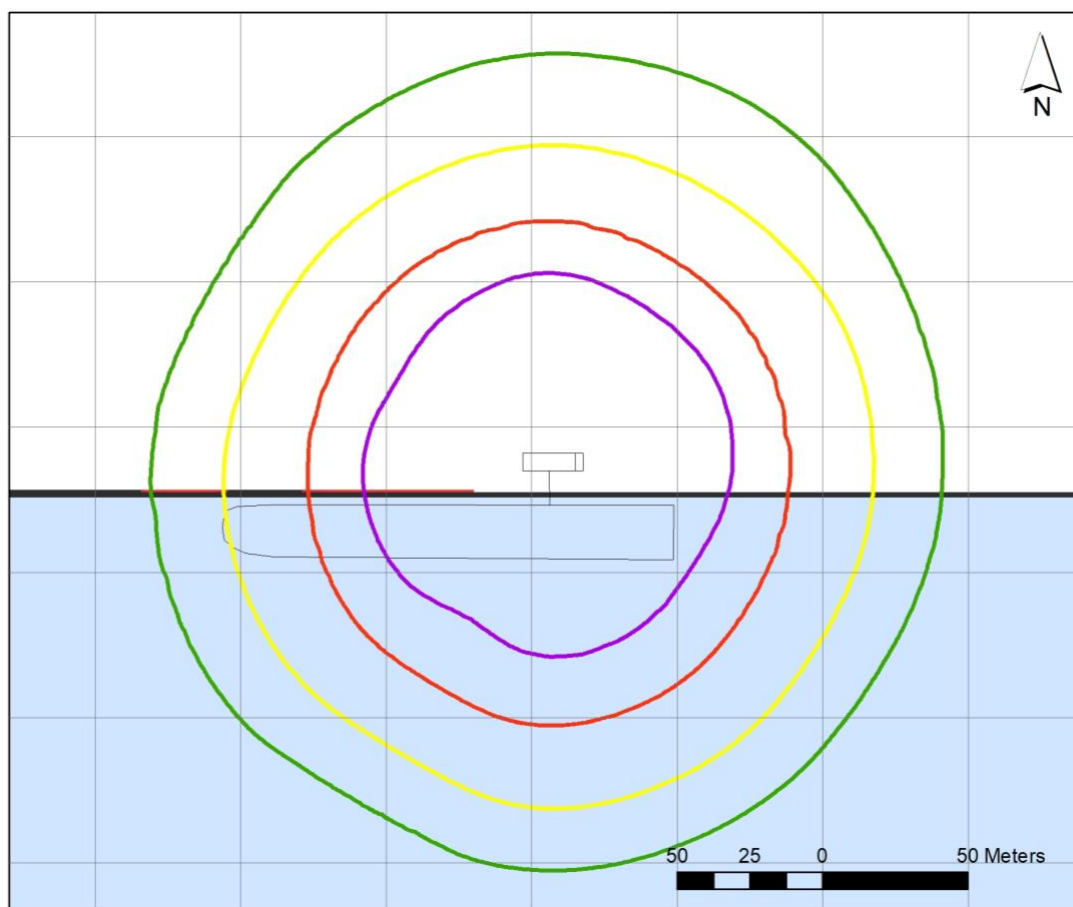
Figuur 20. Plaatsgebonden risico contouren (12) alle gecombineerd met LNG T-piece 2 tankauto's en ontgassen

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



Figuur 21. Plaatsgebonden risico contouren (13) alle gecombineerd zonder NH3 met LNG als single tankauto en ontgassen

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr



Figuur 22. Plaatsgebonden risico contouren (14) alle gecombineerd zonder NH3 met LNG T-piece 2 tankauto's en ontgassen

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr