

Toekomstige blus- en koelcapaciteit van de incident-bestrijdings- vaartuigen in de Rotterdamse haven

Onderzoek naar de impact van
energietransitie-gerelateerde scenario's op
de blus- en koelcapaciteit



Nederlandse Academie voor
Crisisbeheersing en Brandweezorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2025

Auteurs	J. Reinders, T. van Harn en T. Hessels
Contactpersoon	T. Hessels
Opdrachtgevers	Havenbedrijf Rotterdam en Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond
Contactpersonen	A. van Lohuijzen en W. van der Wal
Datum	23 oktober 2025
Foto cover	Havenbedrijf Rotterdam

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

Samenvatting

De komende twaalf jaar bereiken de incidentbestrijdingsvaartuigen (IBV's) van Havenbedrijf Rotterdam het einde van hun technische levensduur; dit heeft geleid tot het programma 'Vlootvernieuwing'. De grote verduurzamingsopgave die de komende jaren in de haven van Rotterdam zal plaatsvinden, heeft nieuwe en andersoortige risico's in het havengebied tot gevolg, met bijbehorende nieuwe incidentscenario's. De Divisie Havenmeester Rotterdam (DHMR) wil de nieuwe vloot mede op deze nieuwe incidentscenario's afstemmen. Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV) is gevraagd te onderzoeken welke nieuwe incidentscenario's als gevolg van deze verduurzamingsopgave kunnen plaatsvinden in de haven en welke blus- c.q. koelcapaciteit de IBV's moeten hebben om deze scenario's te beheersen. De doelstelling van het onderzoek is te bepalen welke blus- en koelcapaciteit de IBV's nodig hebben om toekomstige incidentscenario's, gerelateerd aan de energietransitie, effectief te kunnen bestrijden.

De huidige uitgangspunten van de IBV's waar deze reeds aan moeten voldoen, nog los van de verduurzamingsopgave, zijn:

- > een bluscapaciteit van 45.000 liter per minuut per IBV
- > de beschikbaarheid van 50.000 liter schuimvormend middel (SVM) binnen 65 minuten
- > een opkomsttijd van het eerste vaartuig van maximaal 30 minuten en een opkomsttijd van het tweede vaartuig van maximaal 45 minuten.

Vervolgens zijn tijdens een expertsessie met de opdrachtgevers en experts van het NIPV een longlist van 24 mogelijke 'Worst Credible Incidents' (WCI's) opgesteld. Deze scenario's zijn opgesteld op basis van verschillende stoffen (LNG, waterstof, methanol, ammoniak, lithium-ion batterijen, CO₂, LOHC en biobrandstoffen), modus (aandrijving of vervoer) en verschillende ongevalstypen (zoals brand en botsing). Van de in de longlist geïdentificeerde incidentscenario's is met het modelleringprogramma GEXCON EFFECTS de mogelijke omvang van de effecten bepaald. Op basis van de effecten is gekeken naar de blus- en/of koelmogelijkheden van de IBV's. Ook is gekeken naar de opkomsttijd van de IBV's in relatie tot de duur van de scenario's. Op basis van beide indicatoren is een shortlist opgesteld van scenario's die relevant zijn voor de blus- of koelcapaciteit. Vervolgens is per scenario de benodigde blus- en/of koelcapaciteit bepaald.

Er zijn vier scenario's te identificeren waarbij de IBV's een rol kunnen spelen in de primaire incidentbestrijding wanneer het gaat om blussing of koeling. Het betreft twee lithium-ion-batterijscenario's en twee LOHC-scenario's. Voor de eerste twee scenario's volstaat de huidige bluscapaciteit van de IBV's. Voor een van de LOHC-scenario's, een kleine botsing aan de kade waarna een plasbrand ontstaat, volstaat de huidige bluscapaciteit eveneens. In het vierde scenario, een grote botsing tijdens het varen waarna een plasbrand van LOHC ontstaat, zou de hoeveelheid SVM opgehoogd dienen te worden naar minimaal 286.118 liter. Deze hoeveelheid SVM is zo hoog, dat dit onrealistisch is, en daarmee niet van toepassing. Daarnaast dient het SVM alcoholbestendig te zijn voor de LOHC-scenario's.

Geconcludeerd kan worden dat de verduurzamingsopgave in de Rotterdamse haven weliswaar nieuwe risico's met zich meebrengt, maar dat deze risico's niet van invloed zijn op de benodigde blus- en koelcapaciteit van de IBV's. Ofwel: de huidige blus- en koelcapaciteit van de IBV's volstaat voor deze toekomstige incidentscenario's.

Inhoud

	Inleiding	6
1	Methode van onderzoek	9
2	Huidige situatie IBV's	11
2.1	Beantwoording van deelvraag 1	12
3	Scenario's	13
3.1	Inleiding	13
3.2	WCI's	13
3.3	Beantwoording van deelvraag 2	14
4	Effecten van de incidentscenario's	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Mogelijke effecten	16
4.3	Uitwerking van effecten per scenario	19
5	Rol IBV's bij de scenario's	41
5.1	Overzicht relevante scenario's	44
6	Bepaling blus- en koelcapaciteit	47
6.1	Bluscapaciteit	47
6.2	Koelcapaciteit	50
6.3	Beantwoording van deelvraag 4	51
7	Conclusie	52
	Referenties	54
	Bijlage 1 – Uitwerking incidentscenario's LNG	56
	Bijlage 2 – Uitwerking incidentscenario's (cryogeen) waterstof	67
	Bijlage 3 – Uitwerking incidentscenario's Methanol	80
	Bijlage 4 – Uitwerking incidentscenario's ammoniak	84
	Bijlage 5 – Uitwerking incidentscenario's batterij en CO₂	93
	Bijlage 6 – Uitwerking incidentscenario's LOHC	95
	Bijlage 7 – Uitwerking incidentscenario's biobrandstof	100

Inleiding

Aanleiding

De Divisie Havenmeester (DHMR) van het Havenbedrijf Rotterdam N.V. (HbR) is verantwoordelijk voor een veilige en vlotte scheepvaart in de haven van Rotterdam. Bij incidenten en verstoringen van het havenmeesterproces is de inzet erop gericht om de continuïteit van de haven en de scheepvaart zo veel mogelijk te waarborgen. In aanvulling hierop hebben HbR en DHMR afspraken gemaakt met Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond ten aanzien van incidentafhandeling.

Voor de uitvoering van haar taken beschikt HbR/DHMR onder andere over een vloot van patrouillevaartuigen, te onderscheiden in vaartuigen met en zonder bluscapaciteit. De vaartuigen met bluscapaciteit beschikken over blusmonitoren en manifolds om slangen aan te sluiten en kunnen zowel water als schuim leveren. Dit zijn de incidentbestrijdingsvaartuigen (IBV's). Een van de huidige IBV's is weergegeven in Figuur I.1.



Figuur I.1 Incidentbestrijdingsvaartuig (Foto: Havenbedrijf Rotterdam)

De komende twaalf jaar bereiken de vaartuigen van HbR het einde van hun technische levensduur; dit heeft geleid tot het programma 'Vlootvernieuwing'. Maar niet alleen de vloot wordt vernieuwd: ook in de haven vinden grote veranderingen plaats.¹ De komende jaren zal in het Rotterdamse havengebied namelijk een grote verduurzamingsopgave plaatsvinden. Deze heeft nieuwe c.q. andersoortige risico's in het havengebied als gevolg, met bijbehorende nieuwe incidentscenario's. De DHMR wil de nieuwe vloot mede op deze nieuwe incidentscenario's afstemmen. Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV) is derhalve gevraagd te onderzoeken welke nieuwe incidentscenario's als gevolg van deze verduurzamingsopgave kunnen plaatsvinden in de haven en welke blus- c.q. koelcapaciteit² de IBV's in de haven moeten hebben om deze incidentscenario's te kunnen beheersen.

¹ Meer informatie hierover valt te lezen op: <https://www.portofrotterdam.com/nl/haven-van-de-toekomst/energietransitie>.

² Bluscapaciteit richt zich op het blussen van de brand (het wegnemen van de energie), koelcapaciteit heeft als doel het voorkomen van brandoverslag door het nat houden van bedreigde oppervlaktes.

Doel

Doelstelling van het onderzoek is te bepalen welke blus- en koelcapaciteit de IBV's nodig hebben om toekomstige incidentscenario's die samenhangen met de energietransitie in de haven van Rotterdam, effectief te kunnen bestrijden.

Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

Welke blus- en koelcapaciteit is noodzakelijk om toekomstige incidentscenario's, die samenhangen met de energietransitie, effectief te kunnen bestrijden in de haven van Rotterdam door gebruik te maken van incidentbestrijdingsvaartuigen?

De volgende deelvragen zullen hierbij worden beantwoord:

1. Wat zijn de huidige uitgangspunten betreffende blus- en koelcapaciteit van de incidentbestrijdingsvaartuigen?
2. Wat zijn de nieuwe maatgevende incidentscenario's als gevolg van de verduurzamingsopgave in de haven van Rotterdam waarop de blus- en koelcapaciteit moet worden afgestemd?
3. Wat is de omvang van de effecten van deze incidentscenario's?
4. Welke (aanvullende) blus- en koelcapaciteit is nodig voor de bestrijding van deze effecten?

Afbakening

Het onderzoek richt zich op:

1. Objecten in de haven waar de in punt 3 hieronder genoemde gevaarlijke stoffen worden op- en overgeslagen, en schepen waarmee deze worden vervoerd of schepen die deze voor aandrijving gebruiken; ofwel de objecten en schepen waarop de interventies van de incidentbestrijdingsvaartuigen (IBV's) zijn gericht.
2. De (on)mogelijkheden voor de IBV's om hun taak te kunnen uitvoeren, daarbij ook rekening houdend met mogelijke (domino)effecten op de omgeving (brandoverslag naar opslagtanks of schepen met gevaarlijke stoffen).
3. De volgende (gevaarlijke) stoffen: vloeibaar aardgas (LNG); waterstof (zowel gasvorming als vloeibaar); koolzuurgas (CO₂), biobrandstof, vloeibare organische waterstofdragers (Liquid Organic Hydrogen Carriers of LOHC's), methanol; ammoniak; lithium-ion batterijen.

Het onderzoek hanteert de huidige opkomsttijden van de IBV's als uitgangspunt. Suggesties voor wijzigingen hiertoe vallen buiten scope van dit onderzoek.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 van dit rapport wordt de methode van onderzoek besproken. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 tot en met 6 ingegaan op de vier deelvragen. Hoofdstuk 2 behandelt de

huidige uitgangspunten voor de IBV's. Hoofdstuk 3 bespreekt de toekomstige nieuwe maatgevende incidentscenario's. In hoofdstuk 4 komen de effecten van deze scenario's aan de orde. Hoofdstuk 5 en 6 gaan in op de benodigde blus- en koelcapaciteit. In hoofdstuk 5 wordt besproken bij welke scenario's blussen en koelen nuttig kan zijn, en hoofdstuk 6 gaat vervolgens in op de benodigde capaciteit. Hoofdstuk 7 bevat de conclusie.

1 Methode van onderzoek

Per deelvraag zal de methode van onderzoek van deze deelvraag worden besproken.

Deelvraag 1: huidige situatie

Voor beantwoording van deze deelvraag wordt gebruikgemaakt van de door DHMR ter beschikking gestelde documentatie. Deze informatie dient als startpunt (*ist-situatie*) op basis waarvan met behulp van de verduurzamingsopgave zal worden aangegeven of er aanvullende blus- of koelcapaciteit noodzakelijk is, of dat de huidige capaciteit volstaat.

Deelvraag 2: incidentscenario's

Via sessies met de opdrachtgevers en experts van het NIPV is een longlist opgesteld van maatgevende scenario's³, gebaseerd op gangbare methodes die worden gebruikt bij kwantitatieve risicoanalyses (QRA's) voor Externe veiligheid van 'Seveso-bedrijven'. In hoofdstuk 3 wordt dit nader toegelicht. De lijst van deelnemers aan deze sessies is weergegeven in Tabel 1.1. Tijdens de eerste expertsessie is een inschatting gemaakt van de mogelijke scenario's waarin de IBV's een rol kunnen spelen. Deze lijst is vervolgens door het NIPV verder uitgewerkt. In een tweede sessie zijn de uitwerkingen besproken, waarna eventuele aanpassingen zijn doorgevoerd, resulterende in een longlist.

Tabel 1.1 Deelnemers expertsessie

Naam	Organisatie	Rol
Arthur van Lohuijzen	DHMR	Adviseur crisismanagement & incidentbestrijding
Martin de Jong	DHMR	Operationeel Manager
Dick Wennekendonk	DHMR	Officier van Dienst Divisie Havenmeester
Ruben Hoogland	VRR	Chemisch adviseur
Johan Reinders	NIPV	Onderzoeker Energie- en transportveiligheid
Thed van Harn	NIPV	Onderzoeker Energie- en transportveiligheid
Tom Hessels	NIPV	Adviseur Energie- en transportveiligheid

Deelvraag 3: omvang effecten

Van de in deelvraag 2 geïdentificeerde incidentscenario's ('longlist') is de mogelijke omvang van de effecten bepaald. Hiervoor is gebruikgemaakt van het programma EFFECTS (versie 12.5), dat specifiek is gericht op de berekening van de omvang van de fysische effecten van incidenten waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen.

Input voor deze modellering is de informatie die verkregen is bij het beantwoorden van deelvraag 2 over bijvoorbeeld druk, temperatuur en (scheeps)dimensies, tankinhoud, pompdebieten, pijpdiameters, werking van beveiligingssystemen van tanks, et cetera. Ook is gebruikgemaakt van algemeen gebruikte standaarden bij QRA's. Dit betreft met name niet-

³ Maatgevende scenario's beschrijven een gelimiteerde set incidenten op basis waarvan de blus- en koelcapaciteit van de IBV's in de Rotterdamse haven kan worden vastgesteld. Het is de verwachting dat alle realistisch geachte incidenten die zich in de Rotterdamse haven kunnen voordoen, met deze capaciteit kunnen worden bestreden – althans voor zover dit incidenten betreft die binnen de bestrijdingsmogelijkheden van IBV's liggen, nl. het opbrengen van water en schuim.

materieel gebonden zaken als atmosferische en andere omgevingsfactoren, alsook schadecriteria.

Deelvraag 4: bluscapaciteit

Op basis van de effecten en inschatting van de mogelijke bestrijdingsmogelijkheden van de blusboten zal een shortlist worden opgesteld van scenario's die relevant zijn voor de blus- of koelcapaciteit. Vervolgens wordt per scenario de benodigde blus en/of koelcapaciteit bepaald.

2 Huidige situatie IBV's

In dit hoofdstuk wordt de eerste deelvraag van het onderzoek beantwoord, te weten: Wat zijn de huidige uitgangspunten betreffende blus- en koelcapaciteit van de incidentbestrijdingsvaartuigen?

Op dit moment beschikt het HbR over meerdere IBV's. In 2014 hebben het HbR en Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond een operationele overeenkomst afgesloten waarin (onder meer) eisen zijn opgenomen over de bluscapaciteit van de vaartuigen. In dit convenant zijn per samenwerkingsgebied eisen opgenomen die gesteld worden aan de gevraagde bluscapaciteit:

Samenwerkingsgebied A: (hieronder weergegeven in rood)

Opkomsttijd 30 min 1^e vaartuig 30.000 ltr/min en 9m³ schuimvormend middel (SVM).
2e vaartuig 45 min gezamenlijke 90.000 ltr/min en 22m³ SVM.

Samenwerkingsgebied B: (hieronder weergegeven in geel)

Opkomsttijd 30 min 1^e vaartuig 30.000 ltr/min en 9m³ SVM.

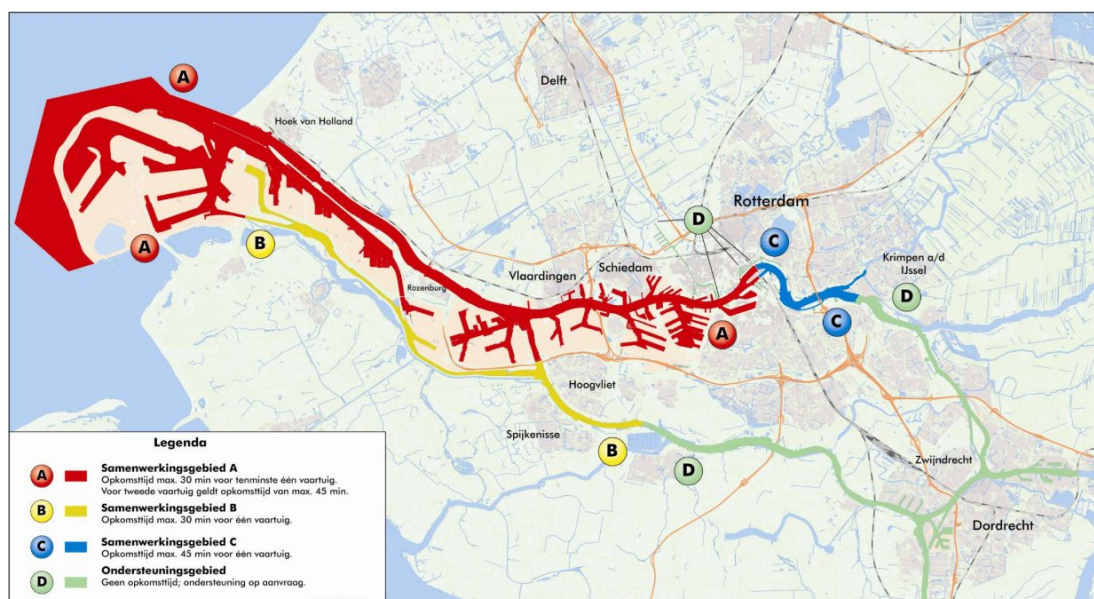
Samenwerkingsgebied C: (hieronder weergegeven in blauw)

Opkomsttijd 45 min 1^e vaartuig 30.000 ltr/min en 9m³ SVM.

Ondersteuningsgebied D: (hieronder weergegeven in groen)

Geen opkomsttijd, geen specificaties aan te leveren capaciteit.

De samenwerkingsgebieden zijn opgenomen in onderstaande illustratie



Figuur 2.1 Samenwerkingsgebieden DHMR / VRR

Daarnaast is er het handboek [Incidentbestrijding op het water](#) (Instituut Fysieke Veiligheid, 2021). Daarin is opgenomen dat er bij vaarwegen met zeegaande schepen binnen 45 minuten twee vaartuigen met ieder 45.000 liter per minuut bluscapaciteit ter plaatse moeten zijn.

Naast bovenstaande uitgangspunten is in 2023 het *Maatgevend scenario schuiminzet RPA* vastgesteld (Havenbedrijf N.V. et al., 2023)). Hierin hebben de VRR, het HbR en de Gezamenlijke Brandweer vastgesteld dat het maatgevend scenario voor de inzet van schuim een plasbrand is van een tank ruwe olie ('crude') in een VLLC-tankerschip (een Very Large Crude Carrier), daarbij rekening houdend met overslag naar een naburige tank. Gekozen is toentertijd voor dit scenario, omdat ruwe olie nog zeker 30 jaar in grote hoeveelheden in de haven aanwezig is. Uit berekeningen, opgenomen in de documentatie voor dit maatgevend scenario, volgt dat voor een schuimblussing van één laadruim of tank 12.500 liter water per minuut nodig is. De totale benodigde hoeveelheid SVM is daarbij circa 25.000 liter, die in 65 minuten wordt verbruikt. Bij escalatie naar een tweede tank is er 25.000 liter water per minuut nodig, met 25.000 liter extra aanvullend SVM (50.000 liter totaal). Deze hoeveelheid schuim hoeft niet in één keer aanwezig te zijn, maar kan gedurende het incident worden aangevoerd, bijvoorbeeld door andere IBV's.

Op dit moment beschikken de individuele IBV's over een bluscapaciteit van 45.000 liter per minuut. Deze bluscapaciteit is verspreid over meerdere op het IBV aanwezige monitoren. De capaciteit van twee IBV's is verhoogd naar 60.000 liter per minuut.

2.1 Beantwoording van deelvraag 1

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag, te weten: *wat zijn de huidige uitgangspunten betreffende blus- en koelcapaciteit van de incidentbestrijdingsvaartuigen?*

De huidige uitgangspunten de toekomstige IBV's aan de volgende eisen voldoen, los van de verduurzamingsopgave:

- > 45.000 liter per minuut bluscapaciteit per IBV.
- > 50.000 liter SVM benodigd binnen 65 minuten⁴.
- > Opkomsttijd eerste vaartuig maximaal 30 minuten.
- > Opkomsttijd tweede vaartuig maximaal 45 minuten.

⁴ Deze hoeveelheid mag door meerdere IBV's ter plaatse worden gebracht en hoeft niet in één keer aanwezig te zijn.

3 Scenario's

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de tweede deelvraag van het onderzoek: *Wat zijn de nieuwe maatgevende incidentscenario's als gevolg van de verduurzamingsopgave in de haven van Rotterdam waarop de blus- en koelcapaciteit moet worden afgestemd?*

Een scenario volgt een chronologische lijn van aansluitende gebeurtenissen en ontwikkelingen. Centraal in een incidentscenario staat een ongewenste gebeurtenis. Deze ongewenste gebeurtenis heeft een of meer oorzaken en gevolgen voor de omgeving.

Er kunnen zich veel verschillende soorten incidenten voordoen in de haven. Zo kan de oorzaak bijvoorbeeld gelegen zijn in aanvaringen waardoor tanks lek raken, of fouten bij laden en lossen met lekkages of leiding- of slangbreuken als gevolg. Gevolgen kunnen verschillen door de aard van de vrijkomende stof: brandende vloeistoffen, giftige gassen of brandbare gassen die tot explosies kunnen leiden. Maatgevend voor de bepaling van de capaciteit van de blusboten (IBV's) zijn de incidenten met de meest ernstige gevolgen waarbij deze boten kunnen worden ingezet. Enerzijds moeten de incidentscenario's geloofwaardig zijn: men moet zich kunnen voorstellen dat ze kunnen voorkomen of zijn voorgekomen in de haven. Anderzijds moeten ze ook dekkend zijn voor onwaarschijnlijke, maar niet ondenkbare incidenten met zeer ernstige gevolgen. Dit zijn dus de scenario's die tot forse schade-effecten kunnen leiden, maar nog wel (door deskundigen) als geloofwaardig worden beschouwd, de zogenaamde 'Worst Credible Incidents' (WCI's). Deze WCI's geven een beeld van wat voor incidenten zich kunnen voltrekken in de Rotterdamse haven waarvoor een IBV kan worden ingezet en verschaffen tevens een basis voor de modellering van de effecten.

Bij de selectie van de WCI's is gebruikgemaakt van de opgebouwde ervaring met het opzetten en analyseren van ongevalsscenario's in het werkveld van externe veiligheid. Hierbij wordt uitgegaan van een beperkt aantal scenario's dat representatief wordt geacht voor de incidenten die zich hebben voorgedaan of waarvan men denkt dat ze zich kunnen voordoen, waarbij de gevolgen 'significant' waren of kunnen zijn.

3.2 WCI's

In de expertsessie op 19 februari 2025 is door het Havenbedrijf en het NIPV gezamenlijk een lijst van mogelijke incidentscenario's opgesteld. Dit heeft geresulteerd in een 24-tal mogelijke incidentscenario's ('longlist') die ten gevolge van de energietransitie in het inzetgebied van de IBV's zouden kunnen voortkomen.

In Tabel 3.1 worden de parameters gegeven en toegelicht, die zijn gebruikt bij het vaststellen van de WCI's en de berekeningen van de effecten. Zoals reeds eerder vermeld, is de benodigde (technische) informatie verkregen van het Havenbedrijf en via websites van (bijvoorbeeld) fabrikanten en leveranciers van materieel. Waar geen informatie voorhanden

was, zijn tijdens de expertsessies aannames gedaan, bijvoorbeeld gebaseerd op vergelijkbare situaties. Dit wordt bij de uitwerking per scenario weergegeven (hoofdstuk 4 - Effecten van de incidentscenario's).

Tabel 3.1 Beschouwde parameters bij het opstellen van de WCI's

Aspect	Mogelijkheden	toelichting
Stof	LNG, vloeibaar waterstof (cryogeen), waterstof als gas onder druk, methanol, ammoniak, Li-ion batterijen, LOHC (vloeistof: toluleen / methylcyclohexaan), biobrandstof (vloeibaar gas: Dimethylether -DME)	Dit zijn de stoffen waarvan ten gevolge van de energietransitie mogelijk grotere hoeveelheden in de haven zullen worden verwerkt dan waarmee tot nu toe werd rekening gehouden
Modus	Als aandrijving / energiebron Als vervoerd product	Dit zijn de mogelijke wijzen waarop de stoffen zullen voorkomen op de schepen in de haven
Activiteit	Varen Bunkeren / opladen Laden / lossen	De activiteiten die met genoemde stoffen kunnen plaatsvinden in de haven
Locatie	Schip op water (op stroming) Schip aan kade	Schepen kunnen vrij varen door de haven, of aangemeerd liggen aan de kade
Object	Containerschip Schip met droge (evt. brandbare) lading Tankschip Binnenvaartschip Chemicaliëntanker	Type schip
Type houder	Atmosferische tank Druktank (cilinder, bol) Container Cryogene (druk)tank	Mogelijke types houder waarin de stof wordt vervoerd
Type incident	Grote botsing, zeer groot lek, falen houder Kleine botsing, afbreken leiding of slang (externe) brand Explosie	De incidenttypes zijn gebaseerd op (Nederlandse) QRA-scenario's en soms (specifiek vermeld) op andere studies.
Gevolg / effect	Afhankelijk van het type incident	Beschreven bij uitwerking van de scenario's in hoofdstukken 3 en 4.

3.3 Beantwoording van deelvraag 2

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de tweede onderzoeksvraag, te weten: *wat zijn de nieuwe maatgevende incidentscenario's als gevolg van de verduurzamingsopgave in de haven van Rotterdam waarop de blus- en koelcapaciteit moet worden afgestemd?*

Op basis van (combinaties van) bovenstaande parameters is tijdens de eerste expertsessie (19 februari 2025) een longlist met nieuwe, maatgevende scenario's opgesteld van 24 mogelijke WCI's. De longlist is weergegeven in Tabel 3.2 op de volgende pagina.

Tabel 3.2 Longlist van WCI-scenario's

Nr.	Stof	Modus	Omschrijving
1	LNG	aandrijving	chemicaliëntanker – (externe) brand tijdens het varen
2	LNG	aandrijving	chemicaliëntanker – grote botsing tijdens het varen
3	LNG	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
4	LNG	vervoer	tankschip – kleine botsing op het water
5	Waterstof (gas, onder druk)	aandrijving	containerschip – (externe) brand op een varend schip
6	Waterstof (gas, onder druk)	aandrijving	chemicaliëntanker – (externe) brand aan de kade
7	Cryogeen waterstof	aandrijving	chemicaliëntanker – grote botsing tijdens het varen
8	Cryogeen waterstof	aandrijving	chemicaliëntanker – kleine botsing aan de kade
9	Cryogeen waterstof	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
10	Methanol	aandrijving	chemicaliëntanker – kleine botsing tijdens het varen
11	Methanol	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
12	Methanol	vervoer	tankschip – kleine botsing tijdens het varen
13	Ammoniak	aandrijving	schip met droge lading – explosie tijdens het varen
14	Ammoniak	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
15	Ammoniak	vervoer	tankschip – kleine botsing tijdens het varen
16	Lithium-ion batterij	vervoer	vervoerschip – (externe) brand tijdens het varen
17	Lithium-ion batterij	aandrijving	binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade
18	Vloeistofbatterij	aandrijving	containerschip – vrijkomen van elektrolyt
19	CO ₂	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
20	CO ₂	vervoer	tankschip – grote botsing tijdens het varen
21	LOHC (vloeistof)	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
22	LOHC (vloeistof)	vervoer	tankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank)
23	Biobrandstof (vloeibaar gas)	vervoer	tankschip – kleine botsing aan de kade
24	Biobrandstof (vloeibaar gas)	vervoer	tankschip – grote botsing tijdens het varen (druktank)

4 Effecten van de incidentscenario's

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de derde deelvraag beantwoord: *Wat is de omvang van de effecten van deze incidentscenario's?* Hiertoe worden de effecten van de longlist uitgewerkt naar aard en omvang. Overigens zijn niet voor alle 24 scenario's de effecten berekend. Dit kan om de volgende redenen het geval zijn:

- > Uit de aard en omvang van de effecten van (reeds doorgerekende) scenario's blijkt dat ze niet maatgevend zijn voor de vaststelling van de bluscapaciteit van de IBV's.
- > De blus- of koelactiviteiten van IBV's zijn hierbij niet effectief of de opkomsttijd van een IBV is te lang (zie ook hoofdstuk 5).

In de volgende paragraaf zal worden beschreven met welke typen effecten bij incidenten met gevaarlijke stoffen rekening moet worden gehouden. Daarna worden in paragraaf 4.3 de geselecteerde effecten van de WCI's kwantitatief uitgewerkt.

4.2 Mogelijke effecten

In deze paragraaf wordt voor de 24 WCI's beschreven met welke effecten een incident gepaard gaat. Als basis voor de beschrijving van de effecten is de methodiek voor QRA-berekeningen genomen (RIVM, 2022a; RIVM, 2022b).

De effecten die kunnen ontstaan, zijn afhankelijk van het type stof dat wordt vervoerd en de condities waaronder. Individuele stoffen worden onderverdeeld in stofcategorieën zoals aangegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Categorie-indeling behandelde stoffen

Stofcategorie	Omschrijving	Stoffen uit de studie
Gas	Stoffen die bij omgevingsdruk en -temperatuur gasvormig zijn en onder verhoogde druk worden vervoerd	Waterstof (gas onder druk)
Tot vloeistof verdicht gas (vloeibaar gas)	Stoffen die bij omgevingsdruk en -temperatuur gasvormig zijn, maar door verhoogde druk als vloeistof worden vervoerd bij een temperatuur hoger dan het (atmosferische) kookpunt	Ammoniak, Biobrandstof (Dimethylether), LNG (temperatuur > -161,5 °C)
Vloeistof	Stoffen die bij omgevingsdruk als vloeistof worden vervoerd (gekoeld of bij omgevingstemperatuur)	Methanol, LOHC (tolueen / methylcyclohexaan), Cryogeen waterstof, LNG (temperatuur < -161,5 °C)

Ten aanzien van de mogelijk wijzen waarop de stoffen kunnen vrijkomen, wordt onderscheid gemaakt in:

- > (semi)continue uitstromingen uit een (groot of klein) gat in de tank of afgebroken leiding of slang
- > instantaan falen, waarbij de gehele inhoud van de tank in één keer vrijkomt.

Voor de bepaling van de effecten worden ontvlambare en toxische stoffen onderscheiden; het moment van ontsteking is van belang voor ontvlambare stoffen. Op basis hiervan kunnen gebeurtenissenbomen worden opgesteld zoals weergegeven in Figuur 4.2 en Figuur 4.1 (ontleend aan (RIVM, 2022b)).

In Figuur 4.1 zijn de gebeurtenissenbomen gegeven voor ontvlambare stoffen, waarbij de effecten zijn vermeld die een gevolg zijn van ontsteking van de stoffen.⁵ Vrijgekomen vloeistoffen zullen een plas vormen op het oppervlak onder de tank, bijvoorbeeld op de kade of op het dek van een schip. Als ze vrijkomen boven het wateroppervlak, kunnen ze een drijvende plas vormen indien ze een lagere dichtheid hebben dan water en niet mengbaar met of oplosbaar zijn in het water. Ontsteking zal dan tot een plasbrand leiden. Bij grote temperatuurverschillen, zoals uitstroming van LNG op water, kunnen hevige reacties optreden met explosie-achtige fenomenen, ook wel Rapid Phase Transitions (RPS) genoemd⁶ (risksafety, 2010).

Bij het instantaan falen van een houder die een onder druk tot vloeistof verdicht gas bevat, kan een zogenaamde BLEVE⁷ optreden. Door het wegvallen van de druk zal de vloeistof instantaan verdampen met een enorme volumetoename tot gevolg (van wel 500 tot 1000 maal). Bij ontsteking leidt dit tot een (grote) vuurbal. De vuurbal kan enkele tot tientallen seconden aanhouden. Binnen de vuurbal zullen brandbare materialen vlam vatten en zullen personen letale brandwonden oplopen. Buiten de vuurbal zal de schade gering zijn vanwege de korte duur. De verdamping zal warmte onttrekken aan inhoud, waardoor deze afkoelt. Dit kan ertoe leiden dat een deel van inhoud zo koud wordt, dat dit als vloeistof vrijkomt en een plas vormt, die bij ontsteking een plasbrand veroorzaakt. Typische oorzaken van BLEVE's zijn verhitting van de houder door brand (een warme BLEVE) en een hevige botsing waardoor de houder ineens openscheurt (koude BLEVE).

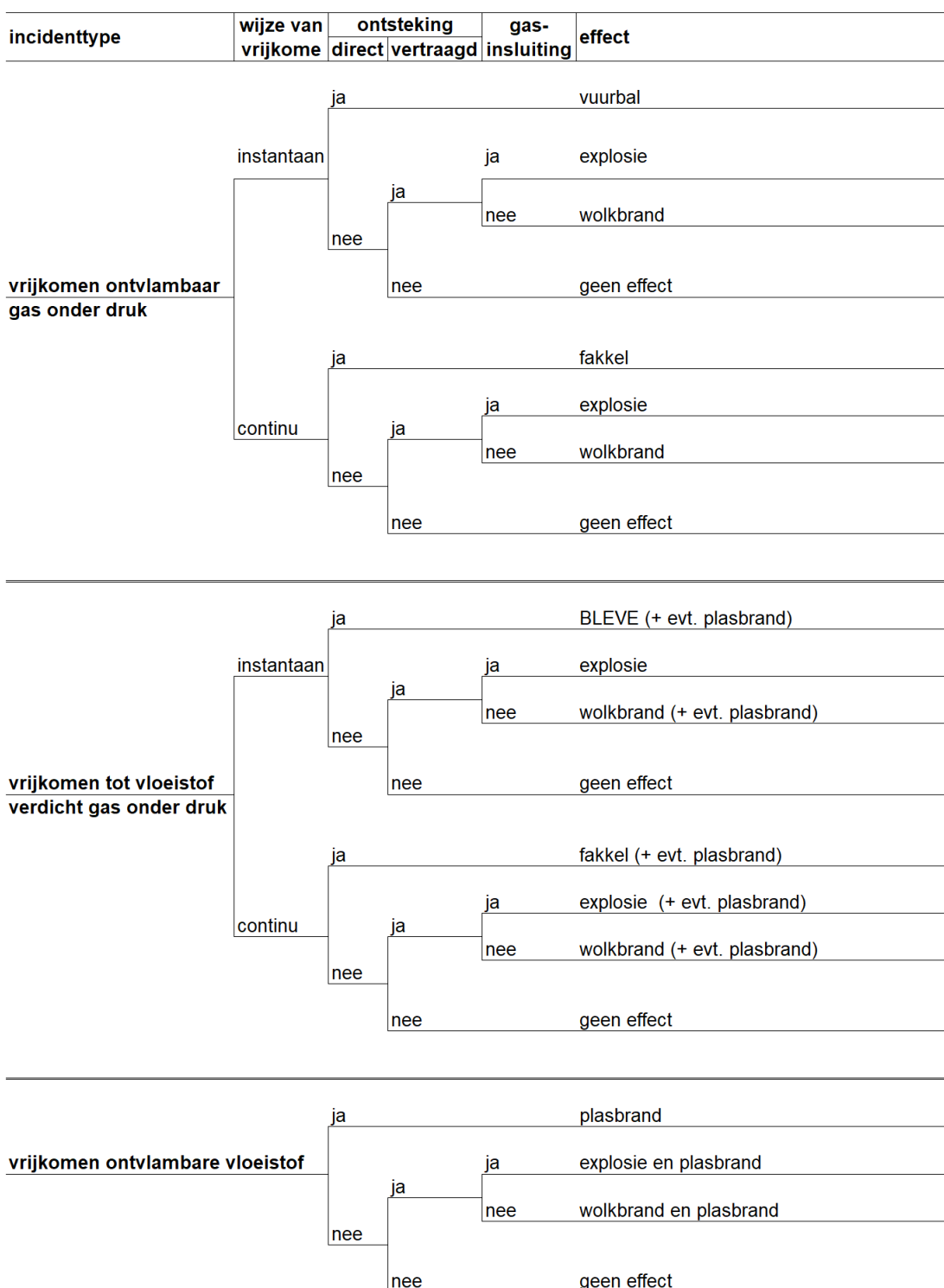
Indien een gat ontstaat in een drukhouder gevuld met gas of tot vloeistof verdicht gas (continue uitstroming in Figuur 4.1), zal de inhoud met grote kracht naar buiten worden gespoten (vergelijkbaar met een spuitbus). Ontsteking leidt dan tot een fakkelbrand. Een fakkelbrand kan ook ontstaan indien het dukaflaatventiel van een drukhouder opengaat, bijvoorbeeld als gevolg van te sterke opwarming van de houder. Bij cryogene vloeistoffen (LNG, vloeibaar waterstof) kan dit veroorzaakt worden door opwarming van de koude vloeistof. In geval van vervoer van onder druk tot vloeistof verdichte gassen bij omgevings-temperatuur kan een externe brand hiervan de oorzaak zijn.

⁵ In deze gebeurtenissenbomen zijn alleen effecten vermeld die een gevolg zijn van ontsteking van de stof. Bij onder druk vervoerde stoffen zal bij instantaan falen van de houder de interne druk meteen wegvallen, met als gevolg een overdrukeffect in de directe omgeving (een fysische explosie). Aangezien de effecten na ontsteking (vrijwel) altijd dominant zijn, zijn de effecten van de fysische explosie niet vermeld.

⁶ Zie bijvoorbeeld [Physical Explosion: LNG Rapid Phase Transitions](#).

⁷ BLEVE staat voor 'Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion'. Een BLEVE is een explosie van een vat dat gevuld is met een vloeistof onder druk. De vloeistof in het vat heeft een temperatuur die hoger is dan het kookpunt. De druk in het vat voorkomt dat de vloeistof gaat koken en gasvormig wordt. Het gaat dus om een gas dat vloeibaar is gemaakt door de druk te verhogen: een 'tot vloeistof verdicht gas'. Een bekend voorbeeld van een tot vloeistof verdicht gas is LPG.

ontvlambare stoffen



Figuur 4.1 Gebeurtenissenbomen voor het vrijkomen van ontvlambare vloeistoffen en (tot vloeistof verdichte) ontvlambare gassen (zie ook (RIVM, 2022b) par. 1.4.1)

Brandbare stoffen die zijn vrijgekomen (hetzij direct, hetzij na verdamping uit een plas) en niet direct worden ontstoken, kunnen een brandbare wolk vormen die met de wind wordt meegevoerd. Bij (vertraagde) ontsteking kan dan een (kortstondige) wolkbrand ontstaan of zelfs een explosie als de gassen zich in een besloten ruimte hebben opgehoopt. Dit kan tot slachtoffers en schade leiden op enige afstand van de incidentlocatie.

De effecten van het vrijkomen van toxische stoffen zijn weergegeven in Figuur 4.2. Deze effecten zijn de vorming van een toxische gaswolk, hetzij direct, hetzij door verdamping uit een gevormde vloeistofplas. Deze wolk zal zich met de wind verspreiden en kan voor slachtoffers zorgen.

toxische stoffen	
incidenttype	effect
vrijkomen toxisch gas onder druk	toxische wolk
vrijkomen tot vloeistof verdicht tox. gas onder druk	BLEVE (druk) + (evt plasvorming en verdamping) - toxische wolk
vrijkomen toxische vloeistof	plasmvorming en verdamping - toxische wolk

Figuur 4.2 Gebeurtenissenbomen voor het vrijkomen van toxische vloeistoffen en (tot vloeistof verdichte) toxische gassen

4.3 Uitwerking van effecten per scenario

In deze paragraaf worden de 24 WCI's uitgewerkt, wat wil zeggen dat de uitgangspunten en de resultaten van berekeningen worden weergegeven. In de bijlages worden de berekeningen gedetailleerder beschreven. De tabellen aan het begin van iedere paragraaf waarin een scenario wordt behandeld, geven een omschrijving van het scenario met de daarbij behorende (soms geschatte) relevante waarden. Deze tabellen zijn opgesteld in samenspraak met het Havenbedrijf.

Vervolgens wordt elk scenario uitgewerkt, waarbij de effecten worden weergegeven. Voor het schadebeeld als gevolg van warmtestraling door brand wordt hierbij gebruikgemaakt van de indeling in drie schaderingen zoals gehanteerd in het *Scenarioboek EV* (NIPV, 2025a). In de eerste ring rond de incidentlocatie (met rood aangegeven) zal iedereen komen te overlijden en zal zeer zware (onherstelbare) schade worden aangericht aan installaties en gebouwen. In de tweede ring (oranje) zullen brandhaarden ontstaan en kunnen hout en kunststof ontsteken of vervormen. In deze ring zal met toenemende afstand het percentage slachtoffers ten gevolge van brandwonden afnemen tot 1 % (grenswaarde voor de kans op letale slachtoffers). In de derde ring zal nog slechts lichte materiële schade ontstaan (geen branden, maar mogelijk wel afbladderende verf en ernstige verkleuringen) en kunnen personen nog 1^e en 2^e graads brandwonden oplopen. Letale brandwonden zijn hier niet te verwachten.

De berekeningen van de effecten zijn uitgevoerd met het software pakket EFFECTS, versie 12.5 (Gexcon, 2025).

4.3.1 LNG-aangedreven chemicaliëntanker – Aanvaring tijdens het varen – koude BLEVE

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van LNG als brandstof vaart op het water. Het LNG zit als vloeistof opgeslagen in twee cryogene druktanks op het dek. Door een aanvaring met ander schip raakt een tank zodanig beschadigd dat er een BLEVE ontstaat.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Cryogene druktank op dek
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	ca. -133 °C
Druk houder	5,5 barg (6,5 bara ⁸) (Molchemtankers, 2025)
Type incident	Aanvaring - koude BLEVE
Overige informatie	-

Uitwerking scenario.

Als voorbeeld voor dit scenario is de Fairchem Pathfinder genomen (zie Figuur 4.3). Deze heeft 2 cilindervormige (type C) LNG-tanks met elk 909 m³ inhoud met een maximale druk van 5,5 bar (Molchemtankers, 2025). In dit scenario is aangenomen dat een van de cilinders zodanig zal worden beschadigd, dat een koude BLEVE zal ontstaan. Dit kan het gevolg zijn van een aanvaring met een ander schip of als gevolg van een lokale beschadiging of verzwakking door bijvoorbeeld een (fakkel)brand. Falen van de tank leidt dan tot een vuurbal.



Figuur 4.3 Twee LNG-brandstoftanks (druktanks) op Fairchem Pathfinder (foto: Fairfield chemical tankers)

De maximale doorsnede van de vuurbal is 337 m. Voor schade zal de hitte(straling) van de vuurbal bepalend zijn. Het shadebeeld is weergegeven in Tabel 4.2.

⁸ Bara betekent bar (druk) absoluut; barg betekent bar (druk) "gauge". Deze laatste is de druk zoals je die met een drukmeter meet. Dit is altijd de druk t.o.v. de atmosferische druk. Omdat de atmosferische druk al 1 bar is, betekent dit dat bara = 1 + barg.

Tabel 4.2 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling vuurbal

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 255	≥ 77
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	255	77
2 ^e ring	255 tot 555	77 tot 20
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	555	20
3 ^e ring	555 tot 870	20 tot 8
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	870	8

Conclusie

Het zal duidelijk zijn dat de BLEVE tot op grote afstand schade, met name brand, zal veroorzaken. Op het water kan op schepen tot op zo'n 550 m brand ontstaan.

4.3.2 LNG-aangedreven chemicaliëntanker – aanvaring tijdens het varen – plasbrand

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker (dezelfde als bij het vorige scenario) die gebruikmaakt van LNG als brandstof vaart op het water. De LNG is als vloeistof opgeslagen in twee cryogene druktanks op het dek. Door een aanvaring ontstaat een flink lek in de tank (of breekt een leiding), met als gevolg het vrijkomen vloeibare LNG, waardoor een plasbrand ontstaat op het water.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Containerschip
Type houder	Twee cilindervormige dektanks
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-133 °C
Druk houder	5,5 barg (6,5 bara) (Molchemtankers, 2025)
Type incident	Aanvaring, continue uitstroming – plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Als voorbeeld voor dit scenario is hetzelfde schip genomen als in scenario 1. In dit scenario is aangenomen dat door een aanvaring met een ander schip in een van de tanks een (rond) gat zal ontstaan van 50 cm doorsnede. Uit het gat stroomt LNG op het water en er ontstaat een plasbrand. Door de drukval tijdens de uitstroming zal 25 % van het LNG verdampen. De overige 75 % zal afkoelen tot het kookpunt (-161,5 °C) en een plas vormen waaruit een plasbrand ontstaat. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 170	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	170	35
2 ^e ring	170 tot 295	35 - 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	295	10
3 ^e ring	295 tot 425	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	425	4

Conclusie

De plasbrand zal brand veroorzaken op het schip zelf en kan tot op bijna 300 m schade veroorzaken door secundaire branden. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.3 LNG-vervoer tankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een tankschip heeft een cryogene tank met vloeibaar LNG aan boord voor transport. De inhoud van de tank bedraagt 180.000 m ³ (de populairste maat), de tank is vol en bevat 81.000 ton LNG. Tijdens het laden of lossen komt het tankschip in botsing met de kade, waardoor schade aan de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen van LNG. Hierdoor ontstaat een plasbrand (deels) op de kade.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene tank in ruim
Inhoud houder	81.000 ton LNG (Havenbedrijf Rotterdam, 2025)
Temperatuur houder	Ca. -162 °C
Druk houder	Atmosferisch (max 0,7 bar)
Type incident	Afbreken losleiding; plasbrand op kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario.

Bij dit scenario wordt aangenomen dat LNG via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een Emergency Shutdown (ESD) in werking treden, waardoor de uitstroom binnen 120 s wordt gestopt (LNG Masterplan, 2015). Door ontsteking van het uitgestroomde LNG ontstaat een plasbrand. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 100	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	100	35
2 ^e ring	100 tot 165	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	165	10
3 ^e ring	165 tot 235	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	235	4

Conclusie

De plasbrand zal brand veroorzaken op het schip zelf en kan tot op 165 m schade veroorzaken (secundaire branden). Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.4 LNG-vervoer tankschip – kleine botsing op het water – wolkbrand of explosie

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Tijdens het bunkeren van LNG op het water breekt de vulleiding, met als gevolg het vrijkomen van LNG in de open lucht. De LNG verdampt en vormt een brandbare wolk die met de wind wordt meegenomen en bij ontsteking een wolkbrand of gaswolkexplosie kan veroorzaken.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene tank in ruim
Inhoud houder	Niet relevant
Temperatuur houder	-160 °C
Druk houder	Niet relevant
Type incident	Kleine botsing, afbreken vulleiding; vorming explosieve wolk
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

LNG stroomt in horizontale richting uit gedurende 120 s (tot het sluiten van de ESD. Vlak na uitstroming zal het koude LNG naar beneden vallen en op het water terechtkomen, waarna door verdamping de brandbare wolk wordt gevormd met een lengte (in de richting van de wind) van bijna 700 m.

Conclusie

Indien ontsteking plaatsvindt op het moment dat de gaswolk zijn maximale omvang heeft bereikt, kunnen tot op 700 m letale slachtoffers vallen en kunnen tot op deze afstand secundaire branden ontstaan. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.5 Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand op een varend schip – vuurbal

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een schip met brandbare lading dat gebruikmaakt van waterstof als brandstof vaart op het water. Waterstof is onder druk gasvormig opgeslagen in een tank bij een druk van 250 bar. Er ontstaat een brand. Door hitte stijgt de druk in de tank. Het afblaasventiel faalt of kan de druk onvoldoende afvoeren, waardoor de tank openbreekt en waterstof explosief vrijkomt en ontbrandt. Een vuurbal is het gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met brandbare lading
Type houder	Druktank (bol of cilinder op dek)
Inhoud houder	35 m ³ (650 kilo) (Habibic, 2024) en 5,4 m ³ (100 kg)
Temperatuur houder	-
Druk houder	250 bar
Type incident	(Externe) brand verhit druktank die explodeert - vuurbal
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Dit scenario is uitgewerkt voor twee tankvolumes: 5,4 en 35 m³ (bij 250 bar). Er wordt van uitgegaan dat binnen de vuurbal (die slechts kort duurt) brandbare objecten vlam zullen vatten en personen zullen overlijden. Dit schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.5.⁹

Tabel 4.5 Schadebeeld

Tankinhoud	Duur vuurbal (s)	Max schade afstand (straal vuurbal in m) / hoogte (m)	Schade-afstand (m) op 1,5 m hoogte
35 m ³	3,9	25 / 50	10
5,4 m ³	2,1	13,5 / 27	7

Conclusie

De vuurbal zal vooral op grotere hoogte tot op aanzienlijke afstand schade aanrichting. Op grondniveau zal de schadeafstand beperkt zijn tot enkele meters.

⁹ Er is a.h.w. alleen sprake van een eerste (rode) schadering, zoals uitgelegd aan het begin van paragraaf 4.3

4.3.6 Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand aan de kade – fakkel

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een schip met brandbare lading dat gebruikmaakt van waterstof als brandstof ligt aan de kade. Het gas is onder 250 bar druk opgeslagen in een druktank. Er ontstaat een brand. Door hitte stijgt de druk in de tank. Het veiligheidsventiel (Pressure Relief Device of PRD ¹⁰) gaat open en waterstof wordt afgeblazen. Dit ontsteekt meteen en vormt een fakkel.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip aan kade
Object	(Container)schip met brandbare lading
Type houder	Druktank (bol of cilinder op dek)
Inhoud houder	35 m ³ (650 kilo) (Habibic, 2024) en 5,4 m ³ (100kg)
Temperatuur houder	-
Druk houder	250 bar
Type incident	(Externe) brand – afblazen door PRD - fakkel
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Dit betreft hetzelfde schip als in het vorige scenario met 5,4 en 30 m³ tanks, waarbij berekeningen zijn gemaakt voor PRD-uitstroomopeningen met diameters van 0,75 en 25 mm. Door de hitte van de brand gaat de PRD open en de waterstof wordt uit de tank naar boven afgeblazen. De waterstof ontsteekt direct, waardoor een fakkelbrand ontstaat. In Tabel 4.6 zijn enkele resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 4.6 Gegevens waterstoffakkel

Parameter	0,75 mm PRD	25 mm PRD
Fakkellengte	1 meter	20 meter
Tijdsduur afblazen (bij één PRD):		
5,4 m ³ tank	29.5 uur	1,5 minuut
35 m ³ tank	7 dagen	10 minuten

Conclusie

Er is een aanzienlijk verschil tussen de fakkels die ontstaan bij de twee PRD's. Bij een opening van 0,75 mm is de fakkel slechts 1 m lang, maar zal de druk en dus de lengte van de fakkel slechts langzaam afnemen. Het kan uren of zelfs dagen duren eer een tank dan leeg is. Bij een opening van 25 mm kan de fakkel initieel wel 20 m meter lang zijn, maar zal de tank binnen enkele minuten leeglopen, waarna de fakkel dooft en er geen overdruk in de tank meer aanwezig is.

¹⁰ Indien een PRD wordt geactiveerd doordat de temperatuur te hoog wordt (bijvoorbeeld als gevolg van brand) spreekt men van een Thermally-activated Pressure Relief Device of TPRD.

4.3.7 Cryogeen waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – grote botsing tijdens het varen – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van vloeibaar waterstof als brandstof (opgeslagen in een of meerdere cryogene tanks op het dek) botst tegen een ander drijvend object op het water, waardoor grote schade aan een tank ontstaat, met als gevolg het vrijkomen van vloeibare waterstof. Deze stroomt uit en vormt een plas die ontsteekt, met een plasbrand tot gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemietanker)
Type houder	Cryogene tank
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-253 graden Celsius
Druk houder	4 bar
Type incident	Grote botsing, zeer groot lek (1m doorsnede): gaswolk en mogelijk plasvorming
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Er zijn op dit moment nog vrijwel geen schepen die vloeibaar waterstof als energiebron gebruiken. Het enige schip in bedrijf is een veerboot in Noorwegen met een tankinhoud van 80 m³ (elizabethqueenseaswann, 2021). Omdat in de toekomst naar verwachting grotere tanks zullen worden gebruikt, is in dit voorbeeld uitgegaan van de cryogene tanks (909 m³) die in de scenario's voor LNG zijn gebruikt die boven op het dek zijn geplaatst (Molchemtankers, 2025). Er ontstaat een groot gat (van bijvoorbeeld 1 m doorsnede door een aanvaring), waardoor LH₂ op het water terecht komt, ontsteekt en een plasbrand vormt. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 100	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	100	35
2 ^e ring	100 tot 215	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	215	10
3 ^e ring	215 tot 320	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	320	4

Conclusie

Ook de plasbrand zal op ruime afstand (tot ruim 200 m) schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.8 Cryogeen waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van vloeibaar waterstof als brandstof vaart op het water. De waterstof is opgeslagen in een cryogene druktank. Het schip botst tegen de kade, waardoor schade aan de tank en/of de installatie ontstaat (leidingen en slangen), met als gevolg het vrijkomen van vloeibare waterstof. Deze vormt een plas die ontsteekt, met een plasbrand tot gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip aan kade
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Cryogene tank op dek
Inhoud houder	909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-253 C
Druk houder	Atmosferisch tot enkele bars
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang (20 cm doorsnede) - H2-plasbrand op kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

We gaan hier uit van dezelfde tanker als in het vorige scenario (paragraaf 4.3.7). Het schadebeeld van de plasbrand die ontstaat na de uitstroming uit het gat van 20 cm is weergegeven Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 30	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	30	35
2 ^e ring	30 tot 70	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	70	10
3 ^e ring	70 tot 100	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	100	4

Conclusie

De plasbrand zal op tot op circa 70 m schade veroorzaken (secundaire branden). Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.9 Cryogeen waterstof-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een tankschip heeft een cryogene druktank met vloeibare waterstof aan boord. Het schip botst tegen de kade waardoor schade aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen vloeibare waterstof. De waterstof verdampt deels (met een explosieve wolk die ontsteekt tot gevolg) en vormt mogelijk deels een plas op kade (met een plasbrand tot gevolg).
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen (1000 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene (druk)tank
Inhoud houder	40.000 m ³
Temperatuur houder	-253 graden Celsius
Druk houder	Atmosferisch (bij cryogene opslag)
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of– waterstof verdampt en vormt explosieve wolk die ontsteekt of plas op kade - plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Voor het scenario zullen we uitgaan van een bolvormige druktank van 40.000 m³, waarvan er meerdere op een schip kunnen worden geplaatst, zoals weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Vloeibaar waterstoftanks (DNV, 2024)

Tijdens laden/lossen breekt een van de drie (slang)aansluiting met een doorsnede van 200 mm af (NIPV, 2024; DNV, 2021) waardoor LH2 uitstroomt. Een ESD stopt de pomp na 120 s. Er wordt van uitgegaan dat alle LH2 op de kade stroomt en een plas zal vormen met een plasbrand als gevolg. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 17	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	17	35
2 ^e ring	17 tot 35	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	35	10
3 ^e ring	35 tot 50	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	50	4

Conclusie

De plasbrand zal tot op ca 35 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.10 Methanol-aangedreven chemicaliëntanker – kleine botsing tijdens het varen

Stof	Methanol
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van methanol als brandstof vaart op het water. De brandstoftank is vol en de inhoud bedraagt 4300 ton. De methanol is opgeslagen in een tank onder atmosferische druk (1 atm) en kamertemperatuur. De chemicaliëntanker komt in botsing met een object op het water, zoals bijvoorbeeld een ander schip, waardoor schade aan de methanoltank en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen methanol. Dit mengt volledig met water en heeft geen veiligheidsgevolgen
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houder	4.300.000 kg methanol → 5.400 m ³
Temperatuur houder	Omgevingstemperatuur
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang – methanol komt vrij en mengt zich met water:
Overige informatie	-

Beschouwing relevantie scenario

De methanol die op het (zee)water terecht komt, zal zich hiermee (vrijwel) meteen vermengen, omdat methanol en water volledig met elkaar mengbaar zijn. Op of nabij de plek waar de uitstromende methanol op het water komt, kan er (hooguit) gedurende zeer korte tijd sprake zijn van een pure 'methanolplas'. Om deze te ontsteken moet de temperatuur minimaal de waarde hebben van het vlamptpunt ('flash point'). Bij verdunning zal een steeds hogere (zeewater)temperatuur nodig zijn om de methanol te kunnen ontsteken. Door de enorme overmaat aan zeewater (en dus zeer sterke verdunning) zal deze temperatuur al snel de maximale ('s zomers bereikte) zeewatertemperatuur overschrijden, waardoor de kans op een methanolplasbrand op het water zo goed als uitgesloten is. Dit scenario zal dan ook geen rol spelen bij de bepaling van de capaciteit van de IBV's en zal niet verder worden uitgewerkt.

4.3.11 Methanol-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Methanol
Beschrijving scenario	Een tankschip transporteert 120.000 m ³ methanol. De vloeibare methanol is op omgevingstemperatuur en de druk is atmosferisch (1 atm). Tijdens het laden of lossen komt het tankschip in botsing met de kade, waardoor schade aan de tank(s) en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen van methanol. Hierdoor ontstaat een plas op de kade. Deze kan ontsteken, leidend tot plasbrand (bij verdamping ontstaat een brandbare en toxische wolk).
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen (1000 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houders	120.000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch (atm)
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang, methanol komt vrij en vormt een plas op de kade - plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Bij dit scenario wordt aangenomen dat methanol via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een ESD binnen 120 s in werking treden, waardoor de uitstroom zal worden gestopt. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 60	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	60	35
2 ^e ring	60 tot 105	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	105	10
3 ^e ring	105 tot 140	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	140	4

Conclusie

Tot op ruim 100 meter kan brandoverslag plaatsvinden en kunnen er letale slachtoffer vallen.

4.3.12 Methanol-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen

Stof	Methanol
Beschrijving scenario	Een tankschip dat methanol vervoert in (10) tanks van 12 000 m ³ komt in botsing met een ander drijvend object. Hierdoor ontstaat schade aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen), met als gevolg het vrijkomen van methanol. Dit mengt volledig met het zeewater; er zijn verder geen veiligheidsgevolgen.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houder	12 000 m ³ / tank
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang - methanol komt vrij en mengt met water: geen veiligheidsgevolgen, wel milieuschade
Overige informatie	-
Bronnen	-

Dit scenario zal niet verder worden uitgewerkt. Aangezien de methanol die vrijkomt in dit scenario volledig met zeewater zal mengen, zal er geen brandbare plas ontstaan (zie ook het scenario in paragraaf 4.3.10), en speelt dit scenario dus geen rol bij de vaststelling van de capaciteit van de IBV's.

4.3.13 Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – toxisch wolk

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip aan de kade is ammoniak aan het lossen. Een laadarm breekt af met als gevolg het vrijkomen van ammoniak. Uitstromend koud ammoniak verdampt deels meteen en komt deels als vloeistof op de kade en in het water.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (500 m ³ /s)
Locatie	Schip aan kade
Object	Schip met lading koude ammoniak
Type houder	Atmosferische dubbelwandige tank
Inhoud houder	93 000 m ³ (Mandra, 2023)
Temperatuur houder	-34 °C
Druk houder	atmosferisch
Type incident	Uitstroming uit atmosferische tank – plasvorming op kade – verdamping – toxische blootstelling.
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Er wordt van uitgegaan dat alle (koude) ammoniak als vloeistof zal uitstromen. Er zijn twee berekeningen uitgevoerd:

1. Alle ammoniak komt op de kade en vormt een plas. Door verdamping uit de plas ontstaat een toxische wolk.
2. Alle ammoniak komt in het water, waarbij 1/3 meteen verdampt (NIPV, 2024a), met ook een toxische wolk tot gevolg. De rest mengt met, en wordt verdund in, het water en heeft geen externe effecten.

De effectafstanden zijn weergegeven in Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Resultaten EFFECTS berekeningen

Parameter	Situatie 1	Situatie 2
Afstand tot 1% letaliteit (30 min blootstelling)	115 m	377 m
Afstand tot 1% letaliteit (actuele blootstelling)	90 m (ca. 20 min)	174 m (ca. 3 min)

Conclusie

De instantane verdamping van de vrijkomende ammoniak (1/3 van het totaal) als gevolg van de menging met het veel warmere zeewater (situatie 2) leidt tot een grotere effectafstand dan de (langdurige) verdamping uit de plas die is gevormd bij vloeistofuitstroming op de kade (situatie 1).

4.3.14 Ammoniak-aangedreven schip met droge lading - botsing tijdens het varen op water - explosie

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip met droge lading aangedreven door ammoniak (NH ₃) komt in botsing met een ander drijvend object. De onder druk staande tank barst volledig open en er zal een toxische (en brandbare) gaswolk ontstaan
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met (droge) lading
Type houder	Druktank
Inhoud houder	16 ton (gelijk gesteld aan de inhoud van een tankwagen; 29 m ³ , 88% vulling ¹¹ (NIPV, 2023b))
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	5,9 bara
Type incident	Instantaan vrijkomen - toxische blootstelling

Uitwerking

Voor dit scenario gaan we uit van een tank ter grootte van de tankauto (29 m³). Door een aanvaring raakt de tank zodanig beschadigd dat deze volledig faalt, waardoor de gehele inhoud in één keer vrijkomt (BLEVE). Een deel zal instantaan verdampen en een toxische gaswolk vormen. De rest zal als vloeistof in het water terecht komen. Hiervan zal 1/3 snel verdampen en een toxische wolk vormen (zie het vorige scenario); 2/3 zal in het zeewater oplossen en geen externe effecten hebben. De effectafstanden (1 % letaliteit) zijn weergegeven in Tabel 4.12.

¹¹ Zie ook [Tankwagen Ammoniak – Giftige wolk – Scenarioboeken](#).

Tabel 4.12 Resultaten EFFECTS berekeningen voor instantane verdamping

Parameter	Waarde
1% letaliteit (30 min blootstelling)	781 m
1% letaliteit (actuele blootstelling)	236 m (ca. 2 min.)

Conclusie

Tot op meer dan 200 m kunnen personen overlijden als gevolg van de (in ca 2 minuten) passerende toxische wolk.

4.3.15 Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen – toxische wolk

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip met koude ammoniak aan boord komt in botsing met een ander drijvend object. Hierdoor ontstaat schade aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen), met als gevolg het vrijkomen van ammoniak. Uitstromende koude ammoniak verdampt deels meteen en komt deels als vloeistof in het water, waar het zich volledig mee vermengt; er is echte veel verdamping door het warmere water.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met lading koude ammoniak
Type houder	Atmosferische dubbelwandige tank
Inhoud houder	93 000 m ³
Temperatuur houder	-60 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Uitstroming uit atmosferische tank – menging met water – veel verdamping – toxische blootstelling
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

In dit scenario wordt uitgegaan van dezelfde tanker als in paragraaf 4.3.13. Door de aanvaring ontstaat een gat in de wand van 1 m doorsnede, ongeveer halverwege de tank, waardoor deze ongeveer half leeg loopt. De ammoniak komt meteen in het water terecht, waarbij 1/3 direct verdampt (zie de vorige scenario's) en een toxische wolk vormt die zich met de wind verspreidt. De rest mengt met het water en zal geen toxische damp vormen. Effectafstanden zijn weergegeven in Tabel 4.13. Het zal meer dan 3 uur duren voordat de uitstroming stopt. Voor de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat blootstelling tot maximaal een half uur na het incident zal optreden.

Tabel 4.13 Resultaten EFFECTS berekeningen

Parameter	Situatie 2
1% letaliteit (30 min blootstelling)	368 m
1% letaliteit (actuele blootstelling)	361 (29 min)

Conclusie

Tot op meer dan 350 m kunnen personen overlijden als gevolg van de passerende toxische wolk, ervan uitgaande dat binnen 30 minuten na het incident de blootstelling kan worden beëindigd.

4.3.16 Lithium-ion-batterijvervoerschip – (externe) brand tijdens het varen

Stof	Lithium-ion batterij
Beschrijving scenario	Aan boord van een varend schip met lithium-ion containers vliegt een lithium-ion batterij ergens binnen in de stapels containers in brand. De brand breidt zich uit naar containers erom heen.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Binnenvaartschip
Type houder	Container / batterij
Inhoud houder	5200 kWh batterijen
Temperatuur houder	-
Druk houder	-
Type incident	(Externe) brand: thermal runaway in lithium-ion container ergens hoog op een schip tussen andere (lithium-ion) containers – de branduitbreiding is dus moeilijk te blussen
Overige informatie	-
Bronnen	5200 kWh gebaseerd op een tweetal ZES-packs (Zero emission services, z.d.): de hoeveelheid energie is daarbij afgeleid van het 'ZES-pack-concept'. Er kan ook sprake zijn van een ander systeem met een lithium-ion batterij.

Uitwerking scenario

De totale verbrandingsenergie van een batterijpakket wordt grotendeels bepaald door de materialen waaruit het is opgebouwd (kunststoffen en dergelijke). Ervan uitgaande dat de totale energie tienmaal de elektrische energie is, betekent dit voor een lithium-ion batterij-energiesysteem van 5200 kWh een totale (verbrandings)energie-inhoud van 52000 kWh (= 187200 MJ). Deze energie-inhoud komt overeen met die van 6 ton plastic of 6000 liter benzine. Een dergelijk hoeveelheid brandbaar materiaal in een standaard 30 voet ISO-container (5.89 m x 2.35 m x 2.36 m = 33 m³ inhoud) lijkt niet uitzonderlijk en zal ook geen bijzondere eisen stellen aan de capaciteit van IBV's.

4.3.17 Lithium-ion-batterij-aangedreven binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade

Stof	Lithium-ion batterij
Beschrijving scenario	Tijdens het opladen aan de wal vliegt de lithium-ion batterij van een binnenvaartschip in brand. Door falen van de aanwezige voorzieningen die de batterij veilig in bedrijf moeten houden, inclusief het brandblussysteem, staat de gehele batterij (5200 kWh) in brand.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip aan kade
Object	Binnenvaartschip
Type houder	Container / batterij
Inhoud houder	5200 kWh
Temperatuur houder	-
Druk houder	-
Type incident	(Externe) brand – moeilijk te blussen brand op schip aan kade
Overige informatie	-
Bronnen	5200 kWh gebaseerd op een tweetal ZES-packs (Zero emission services, z.d.): de hoeveelheid energie is daarbij afgeleid voor van het ZES-pack-concept. Er kan ook sprake zijn van een ander systeem met een lithium-ion batterij.

Zie het vorige scenario.

4.3.18 Vloeistofbatterij-aangedreven nader te bepalen schip – vrijkomen van een stof

Stof	Vloeistof batterij
Beschrijving scenario	Tijdens het bunkeren van de elektrolyt (vanadium) ontstaat een lekkage. Hierdoor komt er een beperkte hoeveelheid vanadiumsulfaat vrij op het schip en het bunkerstation.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip aan kade
Object	Binnenvaartschip
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houder	10.000 kWh, 400.000 liter vloeistof.
Temperatuur houder	Omgevingstemperatuur
Druk houder	Atm
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang -toxische blootstelling
Overige informatie	-
Bronnen	(Port of Rotterdam, 2023) Temperatuur en druk: (PortLiner, 2020) Hoeveelheid vloeistof (1 liter = 25 Watt) (PortLiner, 2025) Principe Vanadium Redox Flow batterij (Sumitomo Electric Group, 2023)

Vanadiumsulfaat is oplosbaar in water. De oplossing is weliswaar iets toxisch, maar verspreidt zich niet door de lucht. Het vanadium-sulfaat is ook niet brandbaar. Mogelijk zijn er milieueffecten. Omdat het geen scenario betreft waarin geblust of gekoeld moet worden, waardoor het dus niet relevant is voor de activiteiten van IBV's, wordt dit scenario niet verder uitgewerkt.

4.3.19 CO₂-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – toxische wolk

Stof	CO ₂
Beschrijving scenario	Tijdens het lossen van CO ₂ aan de kade breekt de leiding, waardoor CO ₂ vrijkomt, en een verstikkende / toxische gaswolk vormt.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Druktank
Inhoud houder	70.000 m ³
Temperatuur houder	Vervoerd als tot vloeistof verdicht of gekoeld gas; meerdere combinaties van temperatuur en druk mogelijk
Druk houder	
Type incident	Afbreken losleiding (laadarm)
Overige informatie	-

CO₂ is in beperkte mate toxisch en met name verstikkend. Blussen of koelen speelt bij dit scenario geen rol. Het is dus niet relevant voor de activiteiten van IBV's en wordt niet verder uitgewerkt.

4.3.20 CO₂-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen – toxische wolk

Stof	CO ₂
Beschrijving scenario	Bij een flinke aanvaring ontstaat een groot gat waardoor CO ₂ vrijkomt, en een verstikkende / toxische gaswolk vormt.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Druktank
Inhoud houder	70000 m ³
Temperatuur houder	Vervoerd als tot vloeistof verdicht of gekoeld gas; meerdere combinaties van temperatuur en druk mogelijk
Druk houder	
Type incident	Gat in tank -vorming toxische wolk
Overige informatie	-

CO₂ is in beperkte mate toxisch en met name verstikkend. Zie het vorige scenario.

4.3.21 LOHC-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	LOHC (liquid Organic Hydrogen Carrier)
Beschrijving scenario	Tijdens het lossen van een tanker met een LOHC (tolueen of methylcyclohexaan) breekt de losslang en er ontstaat een plas op de kade. Deze ontsteekt en er ontstaat een plasbrand.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (500 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tanks
Inhoud houder	35 000 m ³ / tank (Havenbedrijf N.V. et al., 2023))
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Afbreken leiding - plasbrand op kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Bij dit scenario wordt aangenomen dat tolueen of cyclohexaan via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een ESD binnen 120 s in werking treden, waardoor de uitstroom zal wordt gestopt. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 40	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	40	35
2 ^e ring	40 tot 70	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	70	10
3 ^e ring	70 tot 100	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	235	4

Conclusie

De plasbrand zal tot op 70 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.22 LOHC-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank) – plasbrand

Stof	LOHC
Beschrijving scenario	Tijdens een flinke aanvaring met een tanker met een LOHC (tolueen of methylcyclohexaan) ontstaat een gat en er wordt een plas op het water gevormd. Deze ontsteekt en er ontstaat een plasbrand.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tanks
Inhoud houder	2 x 35 000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Gat in tank – plasbrand op water
Overige informatie	-

Voor dit scenario wordt uitgegaan van atmosferische tanks van 35 000 m³ in het ruim. De (cilindrische) tanks hebben elk een lengte van 40 m en een doorsnede van 33 m. Door een aanvaring ontstaat een gat van 1 m doorsnede in twee tanks, halverwege de hoogte van de tanks, waardoor ongeveer de helft van beide tanks op het water terecht komt. De LOHC vermengt niet met water, waardoor het een plas vormt op het water. Deze wordt ontstoken met een plasbrand als gevolg. Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (m)	Hittestraling (kW/m ²)
1 ^e ring	<= 235	≥ 35
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	235	35
2 ^e ring	235 tot 410	35 tot 10
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	410	10
3 ^e ring	410 tot 585	10 tot 4
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	585	4

Conclusie

De plasbrand zal tot op ruim 400 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

4.3.23 Biobrandstof - vervoertankschip – kleine botsing aan de kade - fakkel

Stof	Biobrandstof (Dimethylether of DME)
Beschrijving scenario	Tijdens laden / lossen van DME breekt de laadarm en stroomt DME onder druk uit. Dit ontsteekt meteen en vormt een fakkel.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (600 m ³ / uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip met druktank
Type houder	Bolvormige druktank
Inhoud houder	6000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	5,3 bar
Type incident	Afbreken laadarm - fakkel
Overige informatie	-
Bronnen	(Wikipedia, z.d.)

Uitwerking scenario

DME wordt net als LPG als een tot vloeistof verdicht gas vervoerd. De LPG-infrastructuur kan dan ook worden gebruikt voor transport en opslag van DME (ETIP, z.d.). In Figuur 4.23 is een zeer grote LPG-carrier weergegeven (VLGC-vessel).



Figuur 4.5 LPG-carrier, die mogelijk ook gebruikt kan worden voor DME (Menon, 2021)

De bij LPG behorende incidentscenario's zijn ook van toepassing op DME. Het effect van een (horizontale) fakkelbrand wordt hier behandeld. De fakkelbrand wordt veroorzaakt doordat bij laden of lossen als gevolg van een botsing een slang of leiding afbreekt van de DME-tank. Hierdoor spuit DME uit de tank en ontsteekt direct, met een fakkelbrand tot gevolg. Deze blijft branden tot een ESD ingrijpt. De effectafstand is weergegeven in Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Fakkellengte

Parameter	Waarde
Fakkellengte	98 meter

Conclusie:

De circa 100 m lange fakkel zal secundaire branden veroorzaken op andere vaartuigen, of op land.

4.3.24 Biobrandstof - vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (druktank) – instantaan falen

Stof	Biobrandstof (Dimethylether of DME)
Beschrijving scenario	Tijdens een aanvaring met een binnenvaarttanker met DME faalt de tank en komt DME instantaan vrij (koude BLEVE).
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip met druktank
Type houder	Cilinder vormige druktank
Inhoud houder	5000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Ca. 8 bar
Type incident	BLEVE
Overige informatie	-
Bronnen	(Wikipedia, z.d.)

Zoals gezegd is DME vergelijkbaar met LPG. Aangezien bij kwantitatieve risicoanalyses (QRA's) BLEVE's van LPG-transportschepen niet waarschijnlijk worden geacht (mede gezien de extra bescherming van de scheepsromp) (RIVM, 2022a; RIVM, 2022b), wordt dit scenario niet verder uitgewerkt.

5 Rol IBV's bij de scenario's

De longlist van de 24 scenario's die in het vorige hoofdstuk zijn besproken, is ingekort tot een shortlist die relevant is voor de bepaling van de capaciteit van de blusboten. Daarvoor is gekeken naar de rol die de IBV's spelen bij de incidentscenario's. Dit betreft een tweetal aspecten:

1. Kunnen de blusboten in het betreffende incidentscenario een blussende of koelende activiteit uitvoeren?
2. Valt na de maximale opkomsttijd van één IBV (30 minuten) nog een blussende of koelende inzet uit te voeren (of is het scenario al over bij aankomst)?

Hiervoor is gebruikgemaakt van de in hoofdstuk 4 beschreven effecten van de Worst Credible Incidents. Voor de blus- en/of koelactiviteit is daarbij gekeken naar de volgende mogelijkheden ('activiteit'):

- > *Primaire inzet*: het IBV wordt in dit scenario ingezet voor directe blussing en of koeling in het scenario, bijvoorbeeld het blussen van een plasbrand.
- > *Secundaire inzet*: het IBV wordt in dit scenario ingezet op secundaire brandhaarden, bijvoorbeeld het blussen van een brand op een nabijgelegen schip of een bouwwerk, dat door het scenario in brand is gevlogen.
- > *Niet*: er is in dit scenario geen blussing of koeling mogelijk.

Voor het kunnen uitvoeren van een inzet in relatie tot de opkomsttijd is gekeken of het IBV:

- > *Wel* na 30 minuten een primaire blussende of koelende actie kan uitvoeren.
- > *Niet* na 30 minuten nog een primaire blussende of koelende actie kan uitvoeren.

Daarnaast kan de opkomsttijd *niet van toepassing* zijn als er überhaupt geen blussing of koeling mogelijk is.

Vervolgens is gekozen om het scenario wel of niet toe te voegen aan de shortlist. Dat is in de tabel hieronder weergegeven met *ja* (wel) of *nee* (niet).

Tabel 5.1 Criteria per scenario voor opname in de shortlist

Scenario	Activiteit	Opkomst-tijd	Toevoegen aan shortlist?	Toelichting
1 LNG-aangedreven chemicaliëntanker – Aanvaring tijdens het varen – BLEVE	Secundair	Niet	Nee	Vanwege de korte duur van een BLEVE heeft deze doorgaans al plaatsgevonden voor aankomst van de IBV's. Hierdoor valt er geen directe blussing of koeling uit te voeren. De BLEVE kan echter brand in de omgeving veroorzaken. Mogelijk kunnen IBV's daarvoor ingezet worden.
2 LNG-aangedreven chemicaliëntanker –	Secundair	Niet	Nee	Wanneer koud LNG in contact komt met water, vindt er een hevige reactie plaats. Hierdoor ontstaat een Rapid

Scenario	Activiteit	Opkomst-tijd	Toevoegen aan shortlist?	Toelichting
grote botsing tijdens het varen – plasbrand				Phase Transition. Modellerings gaat uit van een plasbrand die kan escaleren op of nabij het schip of zijn omgeving.
3 LNG-vervoer tankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand	Secundair	Niet	Nee	De LNG-plasbrand laat zich niet blussen en is na 2:30 minuten opgebrand. Er blijft dan alleen een secundaire inzet over.
4 LNG-vervoer tankschip – kleine botsing op het water	Secundair	Niet	Nee	De LNG gaswolk wordt door de wind meegevoerd, wat bij ontsteking kan leiden tot een wolkbrand of explosie met brand tot gevolg. IBV's kunnen niet bijdragen aan het voorkomen hiervan, wel kunnen zij worden ingezet bij het blussen van secundaire branden.
5 Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand op een varend schip – wolkbrand of explosie	Secundair	Niet	Nee	Vanwege de korte duur van de vuurbal heeft deze doorgaans al plaatsgevonden voor aankomst van de IBV's. Hierdoor valt er geen directe blussing of koeling uit te voeren. De vuurbal kan echter brand in de omgeving veroorzaken. Mogelijk kunnen IBV's hiervoor ingezet worden.
6 Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand aan de kade – fakkel	Primair	Niet	Nee	Door de warmtestraling neemt de druk in de tank toe, waarna de waterstof op een bepaald moment via een 'Pressure Relief Valve' zal worden afgeblazen. We nemen aan dat de waterstof ontbrandt door de externe brand of wrijving met lucht, waardoor er een fakkel ontstaat. IBV's kunnen primair worden ingezet om de brandstoftank te koelen, mits deze aan dek ligt. Indien deze niet aan dek ligt, kan het IBV worden ingezet voor secundaire branden. De tijdsduur is afhankelijk van de opening van de PRV. Indien wordt uitgegaan van de grootste opening (25 mm), men wil immers zo snel mogelijk dat deze wordt afgeblazen en zoveel mogelijk gas kwijt kan, is het IBV te laat.
7 Cryogeen waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – grote botsing tijdens het varen – plasbrand	Secundair	Niet	Nee	Een brandende plas vloeibaar waterstof zal zich niet laten blussen. De IBV's kunnen worden ingezet voor secundaire branden in de omgeving.
8 Cryogeen waterstof-aangedreven	Secundair	Wel	Nee	Een brandende plas vloeibaar waterstof zal zich niet laten blussen.

Scenario	Activiteit	Opkomst-tijd	Toevoegen aan shortlist?	Toelichting
chemicaliëntanker – kleine botsing aan de kade – plasbrand				De IBV's kunnen worden ingezet voor secundaire branden in de omgeving.
9 Cryogeen waterstof-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand	Secundair	Niet	Nee	Een brandende plas vloeibaar waterstof zal zich niet laten blussen. De IBV's kunnen worden ingezet voor secundaire branden in de omgeving.
10 Methanol-aangedreven chemicaliëntanker – kleine botsing tijdens het varen	Nee	-	Nee	Bij het vrijkomen van methanol zal het snel mengen met water. Dit is schadelijk voor het milieu. Mogelijk ontstaat kortstondig een plas. In dit scenario heeft de inzet van IBV's geen effect.
11 Methanol-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand	Primair	Niet	Nee	Bij een methanollekkage ontstaat een plas die kan ontbranden, wat leidt tot een plasbrand. Voor dit scenario kan de benodigde bluscapaciteit voor IBV's worden berekend. De IBV's zijn echter niet op tijd ter plaatse om een blussende actie uit te voeren.
12 Methanol-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen	Nee	-	Nee	Bij het vrijkomen van methanol zal het snel mengen met water. Dit is schadelijk voor het milieu. Mogelijk ontstaat kortstondig een plas. In dit scenario heeft de inzet van IBV's geen effect.
13 Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – toxische wolk	Niet	Ja	Nee	Afhankelijk van het scenario zijn de IBV's op tijd ter plaatse. Ammoniak laat zich echter (zeer) beperkt verdunnen, waardoor zij geen blussende of koelende inzet kunnen uitvoeren (Wolfs & Van Liempd, 2023).
14 Ammoniak-aangedreven schip met droge lading – explosie tijdens het varen	Niet	Nee	Nee	Het IBV is niet op tijd ter plaatse. Daarnaast hoeft er geen blussende of koelende actie te worden uitgevoerd.
15 Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen	Niet	Nee	Nee	Het IBV is niet op tijd ter plaatse. Daarnaast hoeft er geen blussende of koelende actie te worden uitgevoerd.
16 Lithium-ion-batterijvervoerschip – (externe) brand tijdens het varen	Primair	Ja	Ja	De brand in een container met lithium-ion batterijen zal een blussende inzet vragen.
17 Lithium-ion-batterij-aangedreven binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade	Primair	Ja	Ja	De brand in een container met lithium-ion batterijen zal een blussende inzet vragen.
18 Vloeistofbatterij-aangedreven nader te	Niet	-	Nee	Vanadium-sulfaat oplossing. Deze is oplosbaar in water. Er is geen

Scenario	Activiteit	Opkomst-tijd	Toevoegen aan shortlist?	Toelichting
bepalen schip – vrijkomen van een stof				blussende of koelende inzet noodzakelijk.
19 CO ₂ -vervoertankschip – kleine botsing aan de kade	Niet	-	Nee	CO ₂ is een verstikkend gas. De IBV's zullen geen koelende of blussende actie uitvoeren.
20 CO ₂ -vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen	Niet	-	Nee	CO ₂ is een verstikkend gas. De IBV's zullen geen koelende of blussende actie uitvoeren.
21 LOHC-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade	Primair	Nee	Ja	Bij een lekkage kan mogelijk een plas op de kade ontstaan, die bij ontsteking een plasbrand veroorzaakt. Voor dit scenario kan de benodigde bluscapaciteit voor de IBV's worden berekend. De IBV's zijn echter niet op tijd ter plaatse.
22 LOHC-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank)	Primair	Ja	Ja	Bij een lekkage kan mogelijk een plas op het water ontstaan, die bij ontsteking een plasbrand veroorzaakt. IBV's kunnen ingezet worden voor het blussen van de plasbrand. De benodigde bluscapaciteit voor dit scenario kan worden berekend.
23 Biobrandstof - vervoertankschip – kleine botsing aan de kade	Secundair	Nee	Nee	Bij dit scenario ontstaat een fakkel. Hoewel een fakkel niet geblust kan en mag worden, kan de lengte van de fakkel worden berekend. Op basis hiervan kan worden bepaald hoe met de fakkel omgegaan moet worden en welke handelingen in de omgeving moeten worden verricht. Mogelijk kunnen IBV's hier voor worden ingezet.
24 Biobrandstof - vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (druktank)	Secundair	Nee	Nee	Instantaan falen van een dubbelwandige druktank wordt niet waarschijnlijk geacht (RIVM, 2022a; RIVM, 2022b).

5.1 Overzicht relevante scenario's

Bij incidenten met *brandbare gassen en brandbare tot vloeistof verdichte gassen* (gecomprimeerd waterstof, DME) zijn de mogelijkheden voor IBV's voor directe (primaire) bestrijding zo goed als afwezig. Ontsteking leidt veelal tot kortdurende fakkels of (instantane) wolkbranden of explosies, en IBV's zullen meestal niet op tijd ter plaatse zijn. Alleen secundaire branden die hierdoor ontstaan, kunnen bestreden worden. Eventueel kan koeling worden toegepast op door fakkels aangestraalde oppervlakken. Verdunnen van gaswolken is in het algemeen niet effectief.

Tot *vloeistof gekoelde gassen* (LNG, cryogeen H₂) kunnen na uitstroming plasbranden veroorzaken. Gezien de heftigheid van dergelijke uitstromingen op water (Rapid Phase Transitions) en veelal ook de snelheid (van verdamping of afbranden), zal een IBV veelal te laat ter plaatse zijn. Bovendien leidt het opbrengen van water op de plas tot nog heviger reacties. Ook hier kan een IBV derhalve geen primaire bluswerkzaamheden verrichten, maar hooguit eventuele secundaire branden kunnen bestrijden, voor zover deze vanaf het water kunnen worden bereikt. Als tot vloeistof gekoelde gassen eenmaal verdampt zijn, kunnen bij ontsteking wolkbranden of explosies ontstaan, zoals eerder genoemd. Voor LNG dat, behalve gekoeld, ook onder verhoogde druk wordt vervoerd, kunnen ook fakkels ontstaan, net als bij de eerder genoemde tot vloeistof verdichte gassen.

Bestrijding van de gevolgen van *toxische gassen* (ammoniak, CO₂) met een IBV kan alleen bestaan uit verdunnen van de toxische wolk. Uit onderzoek blijkt echter dat dit niet erg effectief is (Wolfs & Van Liempd, 2023). Bovendien zal dit op land moeten plaatsvinden. Eventuele bemanning van schepen die in een toxische wolk terechtkomen, zal moeten worden gewaarschuwd (bijvoorbeeld door de havenautoriteiten): binnen blijven of wegvaren uit de bedreigde zone.

Bovenstaande analyse resulteert in onderstaande lijst van maatgevende incidentscenario's als gevolg van de verduurzamingsopgave waarin IBV's een directe rol kunnen spelen. Het betreft de scenario's waarbij vloeistofbranden (LOHCs) en batterijen betrokken zijn. De vier relevante scenario's zijn weergegeven in Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Shortlist van relevante scenario's ter bepaling van de capaciteit van IBV's

Nummer	Scenario
16	Lithium-ion-batterijvervoerschip – (externe) brand tijdens het varen
17	Lithium-ion-batterij-aangedreven binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade
21	LOHC-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade
22	LOHC-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank)

De vloeistofbranden (LOHC's) zullen zeer vergelijkbaar zijn met de 'crude' branden die de basis vormden voor de berekeningen van de huidige capaciteit van de IBV's. De 'nieuwe' brandstoffen zullen met name een verhoogd risico vormen voor het ontstaan van (secundaire) branden. Deze kunnen van velerlei vorm en omvang zijn, en zullen vooral een rol spelen bij de brandweerinzet aan wal.

We merken hierbij op dat de berekeningen in dit rapport betrekking hebben op plasbranden op het water, terwijl de huidige capaciteit is gebaseerd op plasbranden aan boord van een schip. Indien branden op scheepsdekken of tankoppervlakken ('confined' area's) maatgevend moeten worden geacht, dienen ook de methanolscenario's (10 en 11) aandacht te krijgen: er dienen dan schuimberekeningen voor deze scenario's te worden uitgevoerd. De volumes die voor aandrijving worden gebruikt, zullen echter veel kleiner zijn dan de volumes voor transport in Very Large Crude Carriers (VLCC's).

Al met al zullen op basis van deze studie de LOHC-vloeistof- en de lithium-ion batterij-scenario's mede als uitgangspunt dienen voor de bepaling van de vereiste bluscapaciteit van de IBV's, voor zover gebaseerd op de te verwachten 'nieuwe' incidentscenario's in het kader van de energietransitie.

6 Bepaling blus- en koelcapaciteit

In dit hoofdstuk wordt de benodigde blus- en koelcapaciteit bepaald voor de vier overgebleven scenario's. Daarbij wordt per scenario vastgesteld of er andere c.q. aanvullende blus- of koelcapaciteit nodig is dan waar de IBV's nu reeds over beschikken (zie hoofdstuk 2). Eerst komt de benodigde bluscapaciteit aan bod, en vervolgens wordt ingegaan op de benodigde koelcapaciteit. In dit hoofdstuk wordt daarmee antwoord gegeven op deelvraag 4: *Welke (aanvullende) blus- en koelcapaciteit is nodig voor de bestrijding van deze effecten?*

6.1 Bluscapaciteit

Scenario 16: Lithium-ion-batterijvervoerschip – (externe) brand tijdens het varen

In dit scenario is er sprake van een brand met een verbrandingsenergie van 187.200 MJ. Om deze brand te blussen wordt idealiter gebruikgemaakt van water als blusmiddel (Geertsema et al., 2022). Voor brandbestrijding wordt aangehouden dat bij blussing voor de opwarming van één liter water van 20 °C naar 300 °C waterdamp ongeveer 3,0 MJ energie nodig is, de theoretische koelcapaciteit van één liter water (Baaij et al., 2023). Dit wordt ook wel het koelend vermogen genoemd: de hoeveelheid energie die kan worden weggenomen bij een brand door het koeleffect van water op de brand (voor meer hierover zie paragraaf 3.8.2 van Baaij et al., 2023). Dit moet niet verward worden met de koelcapaciteit die nodig is om brandoverslag te voorkomen naar een belendend object (oppervlaktekoeling van dit object).

In de praktijk is deze 3,0 MJ een optimum en zal niet behaald worden. Voor een offensieve buitenaanval, waartoe de inzet van blusboten valt, wordt een efficiëntiefactor aangehouden tussen de 10 % en 30 % (Baaij et al., 2023). Omdat de exacte efficiëntiefactor voor de blusboten niet bekend is, wordt in dit onderzoek gekozen voor de ondergrens van 10 % als conservatieve waarde.

Het koelend vermogen kan bepaald worden door de volgende rekensom:

$3,0 \text{ MJ} \times \text{efficiëntiefactor} \times \text{liters per seconde} = \text{koelend vermogen}.$

Het (minimaal) benodigde koelend vermogen is in dit geval gelijk aan de vrijkomende verbrandingsenergie. De totale vrijkomende verbrandingsenergie is 187.200MJ. We gaan ervan uit dat deze energie uniform in 6 uur vrijkomt. Dit betekent dat er $187.200 / (6 \times 3600) = 8,6 \text{ MW}$ (= MJ/s) vrij komt. Deze 8,6 MW is een gemiddelde waarde van het brandvermogen (HRR); er zullen pieken zijn die hoger uitvallen.

Benodigd om de bluscapaciteit (koelend vermogen) te bepalen is het aantal liters per seconde. Dat levert de volgende formule op:

$$\begin{aligned} \text{Liters per seconde} &= \text{koelend vermogen} / (3,0 \text{ MJ} \times \text{efficiëntiefactor}) \\ &= 8,6 / (3,0 \text{ MJ} \times 0,1) \\ &= 28,6 \text{ liter per seconde} \end{aligned}$$

Er is 1719,6 liter water per minuut nodig. Dit betekent dat de huidige bluscapaciteit van de IBV's van 45.000 liter per minuut voldoende is om de brand van een lithium-ion batterijsysteem van 5200 kWh te kunnen bestrijden. Zelfs indien brandoverslag plaatsvindt naar enkele naastgelegen containers lijkt deze capaciteit voldoende.

Intermezzo: concretisering huidige bluscapaciteit

De huidige maximale bluscapaciteit van de IBV's bedraagt 60.000 liter per minuut (bij een pompcapaciteit van 65.000 liter per minuut). Het aantal MW aan brandvermogen dat geblust kan worden (het koelend vermogen) kan worden bepaald met de formule die op de vorige pagina genoemd staat:

$$3,0 \text{ MJ} \times \text{efficiëntiefactor} \times \text{liters per seconde} = \text{koelend vermogen}.$$

Voor een offensieve buitenaanval, waartoe de inzet van blusboten valt, hanteren we opnieuw de efficiëntiefactor van 10 % (zie hierboven voor toelichting). Dat betekent dat het koelend vermogen van de huidige blusboten $3,0 \times 10\% \times 60000 = 18.000 \text{ MW}$ bedraagt. Ter illustratie: voor een brandend bankstel is een koelend vermogen van 2,5 MW benodigd (Baaij et al., 2023).

Scenario 17: Lithium-ion-batterij-aangedreven binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade

Omdat in dit scenario eveneens sprake is van een batterij van 5200 kWh, is de berekening van scenario 16 ook van toepassing op dit scenario. Daarom verwijzen wij daarnaar.

Scenario 21: LOHC-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade

In dit scenario is er sprake van een plasbrand met een diameter van 38 meter (oppervlakte: 1138m²). De duur van de brand is 12 minuten en 30 seconden. Het is, met een maximale opkomsttijd van 30 minuten, discutabel of een IBV binnen de brandduur aanwezig kan zijn.

Indien het IBV aankomt wanneer er nog brand is, zijn er twee mogelijkheden:

- > Een uitbrandscenario van de plas.
- > Het blussen van de brandende plas.

Indien de plas in een kom-achtige locatie terechtkomt, zal de omvang van de plas kleiner worden, maar de diepte van de plas hoger, en zal de brandduur langer zijn.

Uitbrandscenario

Indien als incidentbestrijdingstactiek wordt gekozen voor een uitbrandscenario, dient er rekening te worden gehouden met de 'burndown rate' van de vloeistof, te weten 6 mm per minuut (Cameo Chemicals, 1999). Daarbij kan met een plasdiameter van 38 meter rekening worden gehouden als worst credible scenario, waarbij de brand 12,5 minuten duurt. Veelal zal deze plas al opgebrand zijn voor een IBV arriveert (30 minuten).

Blussing

Indien wordt gekozen voor blussing, omdat het uit laten branden geen optie is, kan gebruik worden gemaakt van poeder, CO₂ of schuim (New Jersey Department of Health, 2007).

Gezien de oppervlakte van de plas heeft schuim de voorkeur. Het schuim dient daarbij alcoholbestendig te zijn.

Indien wordt gekeken naar de benodigde hoeveelheid schuimvormend middel (SVM), wordt de volgende berekening gemaakt op dezelfde wijze als het *Maatgevend scenario schuiminzet RPA*. Conform NFPA 11 sectie 5.8 is de 'application time' bij een niet-afgedijkte lekkage in dit geval (minimaal) 15 minuten. Voor alcoholbestendige SVM's is er geen vaste 'application rate' gegeven; deze wordt gegeven door de leverancier van het blusschuim. Gezien het Havenbedrijf nog geen leverancier van blusschuim heeft gekozen, wordt uitgegaan van een application rate van 10,4 lpm/m², overeenkomstig de application rate voor tankputbrandbestrijding. Voor het bijmengpercentage gaan we uit van 3 % overeenkomstig het *Maatgevend scenario schuiminzet*.

Onderwerp	Hoeveelheid
Diameter	38 m
Oppervlakte	1138 m ²
Application rate	10,4 lpm/m ²
Application time	15 minuten
Bijmengpercentage 3 %	

Voor dit scenario is in totaal 5.308 liter SVM nodig, met een minimale opwerpcapaciteit van 11.795 liter per minuut. Beide waardes vallen lager uit dan het *Maatgevend scenario schuiminzet*, waarmee dit scenario voldoende is afgedekt met de huidige eisen aan de IBV's.

Scenario 22: LOHC-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank)

In dit scenario is er sprake van een plasbrand met een diameter van 279 meter (oppervlakte: 61.128m²). De duur van de brand is 41 minuten.

Voor dit scenario zijn er twee mogelijkheden:

- > Een uitbrandscenario van de plas.
- > Het blussen van de brandende plas.

Uitbrandscenario

Indien als incidentbestrijdingstactiek wordt gekozen voor een uitbrandscenario, dient er met een plasbrand met een diameter van 279 meter die 41 minuten zal duren rekening te worden gehouden.

Blussing

Indien wordt gekozen voor blussing, omdat uit laten branden geen optie is, kan gebruik worden gemaakt van poeder, CO₂ of schuim (New Jersey Department of Health., 2007). Gezien de oppervlakte van de plas heeft daarbij schuim de voorkeur. Het schuim dient alcoholbestendig te zijn. Het IBV dient ten minste 225 meter afstand te houden tot het middelpunt van de plas (circa 65 m vanaf de vlammen) in verband met de warmtestraling. Binnen deze 225 meter zullen alle objecten gaan branden.

Indien wordt gekeken naar de benodigde hoeveelheid SVM, wordt de volgende berekening gemaakt op dezelfde wijze als het *Maatgevend scenario schuiminzet RPA*. Conform NFPA

11 sectie 5.8 is de application time bij een plasbrand in dit geval (minimaal) 30 minuten. Voor alcoholbestendige SVM's is er geen vaste application rate gegeven; deze wordt gegeven door de leverancier van het blusschuim. Gezien het havenbedrijf nog geen leverancier van blusschuim heeft gekozen, wordt uitgegaan van een application rate van 10,4 lpm/m², overeenkomstig met de application rate voor tankputbrandbestrijding. Voor het bijmengpercentage gaan we uit van 3 %, in overeenstemming met het *Maatgevend scenario schuiminzet*.

Onderwerp	Hoeveelheid
Diameter	279 m
Oppervlakte	61.128
Application rate	10,4 lpm/m ²
Application time	30 minuten
Bijmengpercentage	3 %

Voor dit scenario is in totaal (minimaal) 286.118 liter SVM nodig, met een minimale opwercapaciteit van 19.075 liter per minuut. De benodigde hoeveelheid SVM valt hoger uit dan die in het *Maatgevend scenario schuiminzet*. De opwercapaciteit kan door de huidige IBV's worden geboden.

Het is daarbij de vraag of het realistisch is, gegeven de opkomsttijden van een IBV, dat er minimaal 286.118 liter SVM ter plaatse kan zijn, gezien de omvang die een opslagtank voor zo'n hoeveelheid SVM zou moeten hebben (circa 10m x 10 m x 2.86 m). Bovendien is bestrijding van een plasbrand op open water lastig, aangezien het bluswater de plas verder kan verspreiden met het risico op branduitbreiding. Ook blijkt het op basis van gesprekken met Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond en het Havenbedrijf Rotterdam discutabel of de benodigde hoeveelheid SVM binnen de voor het scenario benodigde tijd kan worden opgebracht. Beide organisaties achten die mogelijkheid als zeer onwaarschijnlijk. Daarmee vormt dit scenario geen eis voor de nieuwe IBV's.

6.2 Koelcapaciteit

Voor koeling van oppervlaktes wordt uitgegaan van 10 liter per minuut per vierkante meter (Brandweeracademie, 2018)(LNG Masterplan, 2015). In geval van de IBV's betekent dit dat zij, met een capaciteit van 60.000 liter per minuut, voldoende capaciteit hebben om in principe een oppervlakte van $60.000 / 10 = 6.000 \text{ m}^2$ te kunnen koelen. Een Very Large Gas Carrier (VLGC) is, op basis van informatie van de DHMR, circa 300 meter lang en steekt 10 meter boven de waterlijn uit. Dat betekent een te koelen oppervlakte van 3.000 m^2 , ervan uitgaande dat de scheepshuid alleen aan de zijkant gekoeld moet worden. De verwachting is dat er, met de verandering van vervoersstromen in de haven ten gevolge van de verduurzamingsopgave, niet gebruik zal worden gemaakt van andersoortige schepen. Hiermee kunnen de huidige en toekomstige zeegaande gastankers in de haven gekoeld worden door de huidige IBV's.

6.3 Beantwoording van deelvraag 4

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de vierde onderzoeksvraag, te weten: *welke (aanvullende) blus- en koelcapaciteit is nodig voor de bestrijding van deze effecten?*

Op basis van bovenstaande analyse kan gesteld worden dat er geen aanvullende blus- en of koelcapaciteit nodig is op de incidentbestrijdingsvaartuigen in de haven van Rotterdam ten opzichte van de huidige situatie. Wel dient bij de keuze voor het nieuwe schuim te worden gekozen voor een alcoholbestendig schuim.

7 Conclusie

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag van dit onderzoek: *welke blus- en koelcapaciteit is noodzakelijk om toekomstige incidentscenario's, in relatie tot de energietransitie, effectief te kunnen bestrijden in de haven van Rotterdam door gebruik te maken van incidentbestrijdingsvaartuigen?*

Op basis van de analyse in voorgaande hoofdstukken zijn er een viertal energietransitie gerelateerde scenario's te identificeren waarbij de IBV's een rol kunnen spelen in de primaire incidentbestrijding wanneer het gaat om blussing of koeling. Het gaat hierbij om twee lithium-ion batterij scenario's en twee LOHC scenario's. Voor de scenario's waarbij er sprake is van een lithium-ion batterij volstaat de huidige bluscapaciteit van de IBV's. Voor één van de LOHC scenario's, een kleine botsing aan de kade waarna een plasbrand ontstaat, volstaat de huidige bluscapaciteit eveneens. In het vierde scenario, een grote botsing tijdens het varen waarna een plasbrand van een LOHC ontstaat, zou de hoeveelheid SVM opgehoogd 'dienen' te worden naar minimaal 286.118 liter. De beperkte tijd om deze hoeveelheid schuim op te brengen, in combinatie met de omstandigheden (plasbrand op het water), maken dat dit geen eis vormt voor de nieuwe IBV's. Wel dient het SVM alcoholbestendig te zijn voor de LOHC scenario's.

De in dit onderzoek gepresenteerde effecten van de scenario's geven daarbij tevens houvast tot op welke afstand welke mate van warmtestraling te verwachten valt. Op basis hiervan kan het Havenbedrijf Rotterdam bepalen tot op welke afstand een incident veilig kan worden benaderd gegeven de hittestraling, en welke worplengte benodigd is om binnen het onveilig gebied objecten te kunnen koelen c.q. blussen.

Dit onderzoek laat zien dat de energietransitie in de Rotterdamse haven gepaard gaat met een groot aantal nieuwe incidentscenario's, waarvan de bestrijdbaarheid in een groot deel van de gevallen beperkt is: er kan geen primaire interventie worden uitgevoerd, en in veel gevallen is het IBV tevens te laat ter plaatse. Voor de incidentscenario's waarbij wel een primaire interventie mogelijk is, volstaat in drie gevallen de capaciteit van de huidige IBV's. Voor het vierde scenario is het onrealistisch om de benodigde hoeveelheid schuim ter plaatse te krijgen binnen de benodigde tijd om een interventie uit te voeren, net als dat de mogelijkheid deze hoeveelheid schuim op te brengen in het tijdsbestek van het incidentscenario als zeer onwaarschijnlijk wordt geacht.

Een belangrijk risico's als gevolg van de aanwezigheid van veel van de "nieuwe" stoffen is het ontstaan van secundaire branden door hittestraling van plasbranden en fakkels, en mogelijke explosies en wolkbranden door de verspreiding en ontsteking van brandbare gassen. Verder kunnen toxische gassen slachtoffers veroorzaken. Deze risico's zullen echter met name aan wal / op het land een rol spelen en dienen derhalve door, daar aanwezige, hulpdiensten te worden beheerst.

Wij concluderen dat de aanwezigheid van de "nieuwe" gevaarlijk stoffen in Rotterdamse haven weliswaar nieuwe risico's met zich meebrengt, maar dat deze risico's niet van invloed

zijn op blus- en koelcapaciteit van de IBV's. Ofwel de huidige blus- en koelcapaciteit van de IBV's volstaat voor de toekomstige incidentscenario's als gevolg van de energietransitie in de Rotterdamse haven.

Referenties

- Ahmed, Z. (2024). *LPG Tankers and Its Types*. <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/lpg-tankers-and-types-of-lpg-tankers/>
- Ashbury, G. R., Bugand-Bugandet, J., Grollet, E., & Stell, K. M. (2004). *FLASH POINTS OF AQUEOUS SOLUTIONS OF FLAMMABLE SOLVENTS, IChemE SYMPOSIUM SERIES No. 150, 1-18*. <https://www.icheme.org/media/9915/xviii-paper-32.pdf>
- Baaij, S., De Witte, L., Hofman, R., Huizer, E., Molenaar, J., & Weewer, R. (2023). *Handboek gebouwbrandbestrijding*. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2023/03/20230123-NIPV-Handboek-Gebouwbrandbestrijding.pdf>
- Brandweeracademie. (2018). *Brandoverslag. Handelingsperspectief en literatuuronderzoek*.
- Cameo Chemicals. (1999). *Toluene*. Retrieved July 18, 2025, from <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/TOL.pdf>
- DNV. (2021). *External safety study - bunkering of alternative marine fuel for seagoing vessels - Port of Amsterdam*.
- DNV. (2024). *Paving the way for large-scale transportation of liquid hydrogen*. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/paving-the-way-for-large-scale-transportation-of-liquid-hydrogen/>
- elizabethqueenseaswann. (2021). *MF HYDRA - LH2 CAR FERRY, NORWAY*. https://elizabethqueenseaswann.com/HISTORY/LH2_Ships_Ferries_Yachts_Hydrogen_Projects/MF_Hydra_Norled_Car_Ferry_Norway_Liquefied_Hydrogen_Liquide.html
- ETIP. (z.d.). *Dimethyl ether (DME)*. <https://old.etipbioenergy.eu/images/dme-fact-sheet.pdf>
- Geertsema, T., Jansen, V., & Van Liempd, R. (2022). *Alternatieve blusmiddelen*. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/11/20221021-NIPV-Alternatieve-blusmiddelen.pdf>
- Gexcon (2025) *EFFECTS - Consequence modelling software for safety and design optimisation*. <https://www.gexcon.com/software/effects/>
- Habibic, A. (2024). *Provaris: Fabrication of 'world's first' prototype compressed hydrogen tank begins in Norway*. <https://www.offshore-energy.biz/provaris-fabrication-of-worlds-first-prototype-compressed-hydrogen-tank-begins-in-norway/>
- Havenbedrijf Amsterstam N.V. (2021). *Onderzoek externe veiligheid bunkeren van alternatieve brandstoffen voor de zeescheepvaart*. https://www.portofamsterdam.com/sites/default/files/2021-11/DNV_POA_Finaal_Rapport_Onderzoek_externere_veiligheid_bunkeren_van_alternatieve_brandstoffen_voor_de_zeescheepvaart_Rev1_19-04-2021.pdf
- Havenbedrijf N.V., DHMR, & VRR. (2023). *Maatgevend scenario schuiminzet RPA versie 4*.
- Havenbedrijf Rotterdam. (2025). *Gesprek Havenbedrijf Rotterdam*.
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2021). *Handboek Incidentbestrijding op het Water*.
- LNG Masterplan. (2015). *LNG Masterplan voor Rijn-Maas-Donau - Sub-activiteit 2.4 - Technisch bewijs, veiligheid en risicobeoordeling*. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/nood_en_incidentbestrijding-rapport.pdf
- Ma, Q., You, J., Chen, J., Mao, Z., Xiang, D., & He, N. (2024). Numerical simulation of high-pressure jet fire in on-board hydrogen storage cylinders under fire conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 83, 335–354. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.103>
- Mandra, J. O. (2023). *Eastern Pacific pens deal for world's largest ammonia carrier pair, orders up to 10 more ships from different yards*. <https://www.offshore-energy.biz/eastern-pacific-pens-deal-for-worlds-largest-ammonia-carrier-pair-orders-up-to-ten-more-ships-from-different-yards/>
- Menon, A. (2021). *What Are Very Large Gas Carriers (VLGC) – Purpose, Design And Layout*. <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/very-large-gas-carriers-vlgc/>
- Molchemtankers. (2025). *Persoonlijke communicatie via e-mail*.

- Molkov, V., Dadashzadeh, M., Kashkarov, S., & Makarov, D. (2021). Performance of hydrogen storage tank with TPRD in an engulfing fire. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(73), 36581–36597. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.128>
- New Jersey Department of Health. (2007). *Right to Know Hazardous Substance Fact Sheet: Toluene*. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1866.pdf>
- NIPV. (2023a). *Opslag vloeibaar waterstof - Fakkelfbrand*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/opslag-vloeibaar-waterstof-fakkelfbrand/>
- NIPV. (2023b). *Tankwagen Ammoniak - Giftige wolk*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/tankwagen-ammoniak-giftige-wolk/>
- NIPV. (2024a). *Breuk laadarm tijdens verladen van vloeibaar ammoniak naar schip*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/breuk-laadarm-tijdens-verladen-van-vloeibaar-ammoniak-naar-schip/>
- NIPV. (2024b). *Vloeibaar waterstof in haven - wolkbrand en explosie bij lossen*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/vloeibaar-waterstof-in-haven-wolkbrand-en-explosie-bij-lossen/>
- NIPV. (2025). *Scenarioboeken: Liquid Organic Hydrogen Carriers – Falen tankwagen – Plasbrand*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/liquid-organic-hydrogen-carriers-falen-tankwagen-plasbrand/>
- NIPV. (2025a). *Scenarioboeken Externe Veiligheid*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/externe-veiligheid/>
- Port of Rotterdam. (2023). *Havenbedrijf en PortLiner tekenen contract voor bouw van elektrolyt bunkerstation in Hartelkanaal*. Havenbedrijf en PortLiner tekenen contract voor bouw van elektrolyt bunkerstation in Hartelkanaal
- PortLiner. (2020). *PortLiner: flow-batterij aangedreven elektrische schepen (NL)*. <https://www.youtube.com/watch?v=U0ElyVV4KPc>
- PortLiner. (2025). *Telefonisch gesprek*.
- risksafety. (2010). *Physical Explosion: LNG Rapid Phase Transitions (RPT)*. <https://www.youtube.com/watch?v=h-EY82cVKuA>
- RIVM. (2022a). *Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid, Module III – Vervoer van gevaarlijke stoffen, versie maart 2022*. [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2022-11/Module III - maart 2022.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2022-11/Module%20III%20-%20maart%202022.pdf)
- RIVM. (2022b). *Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid*. <https://www.rivm.nl/documenten/toelichting-rekenvoorschrift-omgevingsveiligheid-2022>
- Sumitomo Electric Group. (2023). *How a Vanadium Redox Flow Battery Works | Sumitomo Electric*. <https://www.youtube.com/watch?v=TSsqCazP1V0>
- Voigt, S., Sträubig, F., Palis, S., Kwade, A., & Knaust, C. (2021). Experimental comparison of Oxygen Consumption Calorimetry and Sensible Enthalpy Rise Approach for determining the heat release rate of large-scale lithium-ion battery fires. *Fire Safety Journal*, 126(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103447>
- Wikipedia. (z.d.). *Gastanker*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Gastanker#:~:text=Deze%2C%20meestal%20kleine%20gastankers%20worden,bij%20tanks%20half%20onder%20druk.>
- Wilstrand. (2022). *Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf>
- Wolfs, L., & Van Liempd, R. (2023). *Waterschermen en waterstralen: een literatuuronderzoek naar de effectiviteit van waterschermen en -stralen bij het mitigeren van dampwolken*. NIPV. Retrieved July 17, 2025, from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/03/20231222-NIPV-Waterschermen-en-waterstralen.pdf>
- Zero emission services. (z.d.). *ZESpack*. <https://zeroemissionservices.nl/zespack-3/>

Bijlage 1 – Uitwerking incidentscenario's LNG

LNG-aangedreven chemicaliëntanker – Aanvaring tijdens het varen – koude BLEVE

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van LNG als brandstof vaart op het water. Het LNG zit als vloeistof opgeslagen in twee cryogene druktanks op het dek. Door een aanvaring met ander schip raakt een tank zodanig beschadigd dat er een BLEVE ontstaat.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Cryogene druktank op dek
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	Ca. -133 °C
Druk houder	5,5 barg (6,5 bara) (Molchemtankers, 2025)
Type incident	Aanvaring - koude BLEVE
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Als voorbeeld voor dit scenario is de Fairchem Pathfinder genomen (zie Figuur 4.3). Deze heeft twee cilindervormige (type C) LNG tanks met elk 909 m³ inhoud met een maximale druk van 5,5 bar (Molchemtankers, 2025). In dit scenario is aangenomen dat een van de cilinders zodanig wordt beschadigd dat een koude BLEVE ontstaat. Dit kan het gevolg zijn van een aanvaring met een ander schip of van een lokale beschadiging of verzwakking door bijvoorbeeld een (fakkel)brand. Falen van de tank leidt dan tot een vuurbal.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > Volume: 909 m³ (Molchemtankers, 2025); tank voor 93% gevuld
- > Werkdruk: 5,5 barg (Molchemtankers, 2025); druk kan oplopen tot 6 barg, waarna de PRD open gaat.

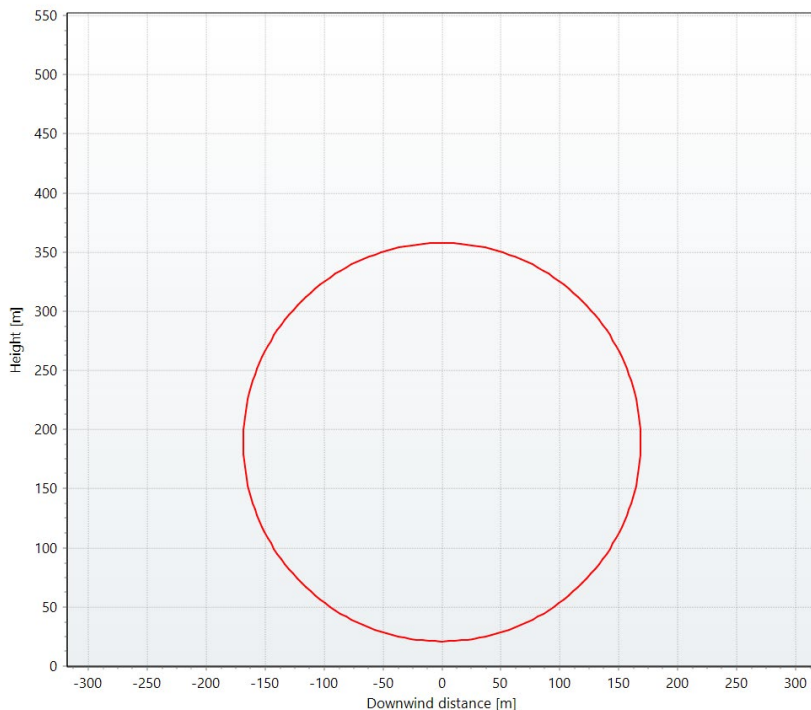
Aanvullende gegevens:

- > Temperatuur: -133 °C (dan is werkdruk 5,5 barg of 6,5 bara)
- > Vulgraad: 93% (bij opwarmen zet LNG uit, dus tank mag niet vol zijn)
- > LNG is gemodelleerd als methaan (dit is verreweg het grootste bestanddeel van LNG)
- > Onderkant brandstoftank op 12 m boven wateroppervlak.

Resultaten

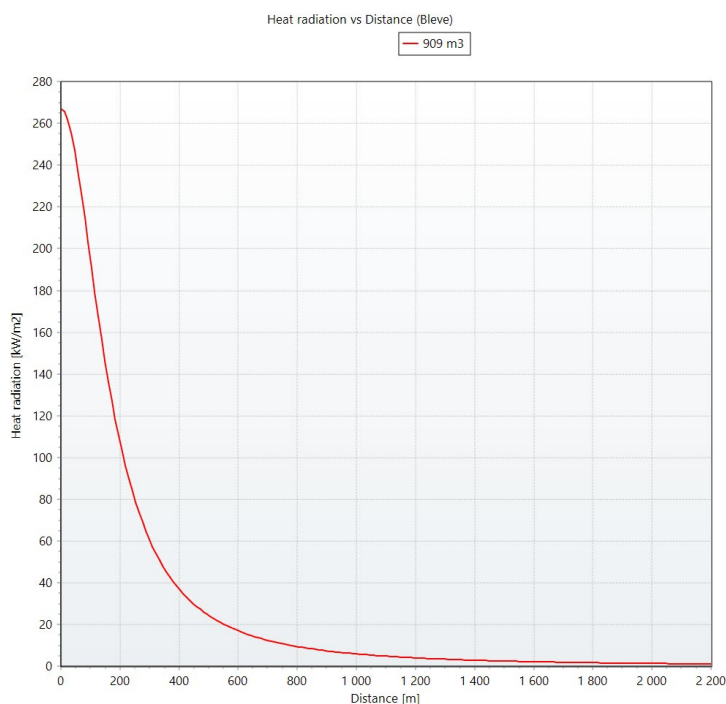
De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. De maximale doorsnede van de vuurbal is 337 m, als grafisch weergegeven in Figuur B1.1. De duur van de vuurbal is 19 sec. Overigens zal slechts zo'n 60 % van alle LNG betrokken zijn bij de vuurbal. De plotselinge expansie van het LNG bij het falen van de tank zal de

temperatuur doen afnemen tot het kookpunt van $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, waardoor een vloeistof zal uitregenen, deels op het water en deels op het schip, en er een plas kan worden gevormd. Indien deze ontsteekt, zal er een plasbrand ontstaan. Als deze niet (meteen) ontsteekt, zal het LNG verdampen en als brandbare wolk met de wind worden meegenomen. Ontsteking van deze wolk kan tot een explosie leiden.



Figuur B1.1 Maximale omvang vuurbal

Voor schade zal de hitte(straling) van de vuurbal bepalend zijn. De hittestraling als functie van de afstand is weergegeven Figuur B1.2, bepaald op 1,5 m hoogte.



Figuur B1.2 Maximale hittestraling als functie van de afstand (gemeten op 1,5 m hoogte)

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel B1.1.

Tabel B1.1 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling vuurbal

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	≤ 255	≥ 77	Alle brandbare materialen gaan branden	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	255	77			99
2 ^e ring	255 tot 555	77 tot 20	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot ca. 140 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	37%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	555	20			1
3 ^e ring	555 tot 870	20 tot 8	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot ca. 230 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	870	8			0

Conclusie

Het zal duidelijk zijn dat de BLEVE tot op grote afstand schade, met name brand, zal veroorzaken. Op het water kan op schepen tot op zo'n 550 m brand ontstaan.

LNG-aangedreven chemicaliëntanker – aanvaring tijdens het varen – plasbrand

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker (dezelfde als bij het vorige scenario) die gebruikmaakt van LNG als brandstof vaart op het water. Het LNG zit als vloeistof opgeslagen in twee cryogene druktanks op het dek. Door een aanvaring ontstaat een flink lek in de tank (of breekt een leiding) waardoor vloeibaar LNG vrijkomt en een plasbrand ontstaat op het water.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Containerschip
Type houder	Twee cilindervormige dektanks
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-133 °C
Druk houder	5,5 barg (6,5 bara) (Molchemtankers, 2025)
Type incident	Aanvaring, continue uitstroming – plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Als voorbeeld voor dit scenario is hetzelfde schip genomen als in scenario 1: Fairchem Pathfinder (zie Figuur 4.3) met twee cilindervormige (type C) LNG-tanks met een inhoud van 909 m³ per tank (Molchemtankers, 2025). In dit scenario is aangenomen dat door een aanvaring met een ander schip in een van de tanks een (rond) gat zal ontstaan van 50 cm doorsnede. Uit het gat stroomt LNG op het water en er ontstaat een plasbrand. Door de drukval tijdens de uitstroming zal 25 % van het LNG verdampen. De overige 75 % zal afkoelen tot het kookpunt (-161,5 °C) en een plas vormen.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > Volume: 909 m³ (Molchemtankers, 2025)
- > Temperatuur: -133 °C (5,5 bar overdruk)
- > Vulgraad: 93 % (bij opwarmen zet LNG uit, dus tank mag niet vol zijn)
- > LNG is gemodelleerd als methaan (dit is verreweg het grootste deel)
- > Onderkant brandstoftank op 10 m boven wateroppervlak
- > Tank wordt op 1 m boven de onderkant geraakt
- > Gatgrootte bij aanvaring: 50 cm.

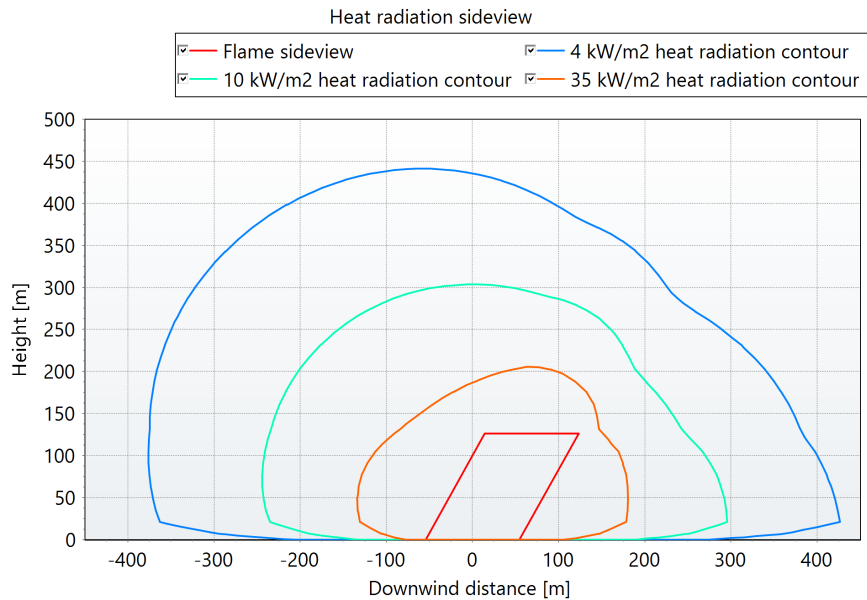
Resultaten

De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel B1.2 zijn enkele gegevens van de plasbrand weergegeven.

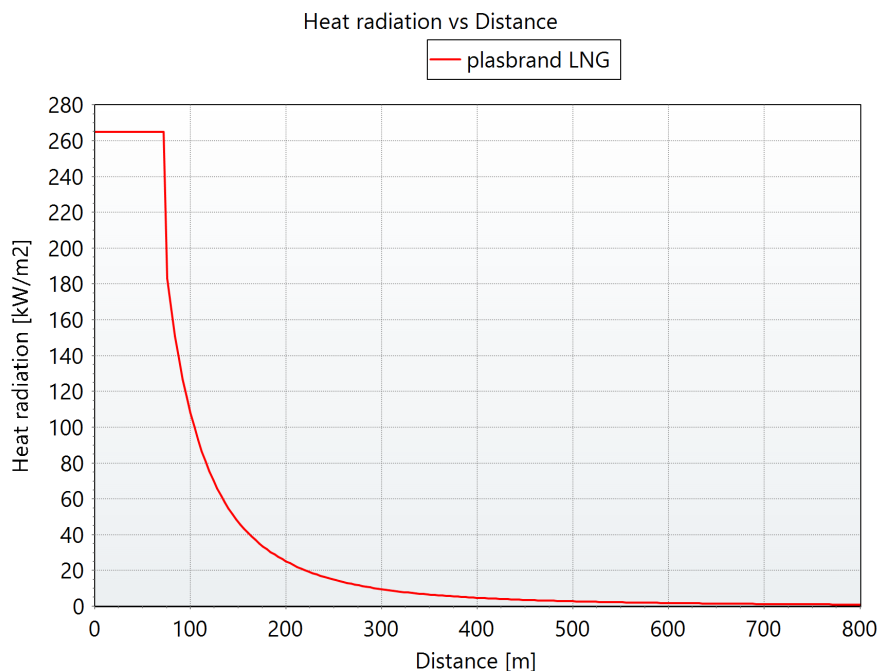
Tabel B1.2 Gegevens plasbrand

parameter	waarde
Plasoppervlak	9390 m ²
plasdiameter	109 m
vlamlengte	144 m
Vlamhoek (door wind)	29 °
Duur brand	3 min

In Figuur B1.3 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het shadebeeld dat is weergegeven in Tabel B1.2. Figuur B1.4 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam Figuur B1.3).



Figuur B1.3 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren



Figuur B1.4 Hittestraling plasbrand

Het shadebeeld is weergegeven in Tabel B1.3.

Tabel B1.3 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 170	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	170	35			99
2 ^e ring	170 tot 295	35 - 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 200 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	40%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	295	10			1
3 ^e ring	295 tot 425	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 220 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	425	4			0

Conclusie

De plasbrand zal brand veroorzaken op het schip zelf en kan tot op bijna 300 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

LNG-vervoer tankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Een tankschip heeft een cryogene tank met vloeibaar LNG aan boord voor transport. De inhoud van de tank bedraagt 180.000 m ³ (de populairste maat), de tank is vol en bevat 81.000 ton LNG. Tijdens het laden/lossen komt het tankschip in botsing met de kade waardoor schade aan de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen van LNG. Hierdoor ontstaat een plasbrand (deels) op de kade.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene tank in ruim
Inhoud houder	81.000 ton LNG (Havenbedrijf Rotterdam, 2025)
Temperatuur houder	Ca. -162 °C
Druk houder	Atmosferisch (max 0,7 bar)
Type incident	Afbreken losleiding; plasbrand op kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario.

Bij dit scenario wordt aangenomen dat LNG via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een ESD in werking treden, waardoor de uitstroom binnen 120 s wordt gestopt (LNG Masterplan, 2015). Door ontsteking van het uitgestroomde LNG ontstaat een plasbrand.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > LNG uitstroom gedurende 120 seconden op basis van de veronderstelling dat een noodstopsysteem (automatisch of handmatig) binnen 120 de uitstroming stopt (LNG Masterplan, 2015).
- > Uitstromingssnelheid: Volgens tabel 8 in (LNG Masterplan, 2015) zal een breuk uit een losleiding van 12" zo'n 354 kg/s stromen. Rekening houdend met een debiettoename van 50 % bij een breuk komt dit overeen met een nominale loscapaciteit van 2000 m³/h. Derhalve is uitgegaan van een uitstroming van 3000 m³/h na breuk = 353 kg/s.
- > Voor de modellering is verder aangenomen dat er tussen de uitstroomopening en de plas geen verdamping plaatsvindt. Alle LNG stroomt in vloeibare vorm op de kade en vormt een ronde plas

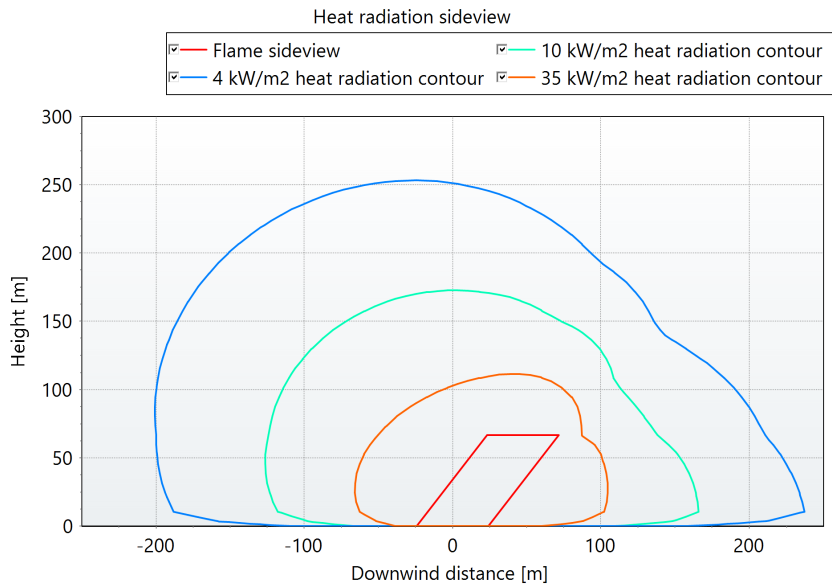
Resultaten

In Tabel B1.4 zijn enkele gegevens van de plasbrand weergegeven.

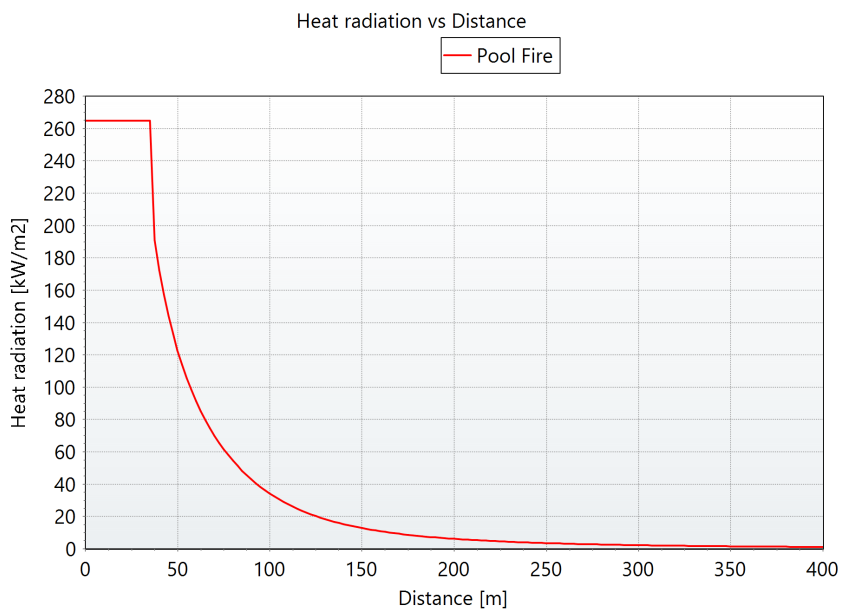
Tabel B1.4 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Plasoppervlak	1839 m ²
Plasdiameter	48 meter
Vlamlengte	82 meter
Vlamhoek (door wind)	36 graden
Duur brand	2 minuten en 31 seconden

In Figuur B1.5 wordt het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven, met daarbij enkele relevante stralingscontouren die horen bij het shadebeeld dat is weergegeven in Tabel B1.5. Figuur B1.6 toont het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand, gemeten op 1,5 meter hoogte in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur B1.5).



Figuur B1.5 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren



Figuur B1.6 Hittestraling vs. afstand

Tabel B1.5 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand.

Schade en slachtoffers binnen	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 100	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100%
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	100	35			99%
2 ^e ring	100 tot 165	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 122 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	40%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	165	10			1%
3 ^e ring	165 tot 235	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 148 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	235	4			0%

Conclusie

De plasbrand zal brand veroorzaken op het schip zelf en kan tot op 165 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

LNG-vervoer tankschip – kleine botsing op het water – wolkbrand of explosie

Stof	LNG
Beschrijving scenario	Tijdens het bunkeren van LNG op het water breekt de vulleiding, met als gevolg het vrijkomen van LNG in de open lucht. Het LNG verdampt en vormt een brandbare wolk die met de wind wordt meegenomen en bij ontsteking een wolkbrand of gaswolkexplosie kan veroorzaken.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene tank in ruim
Inhoud houder	Niet relevant
Temperatuur houder	-160 °C
Druk houder	Niet relevant
Type incident	Kleine botsing, afbreken vulleiding; vorming explosieve wolk
Overige informatie	-

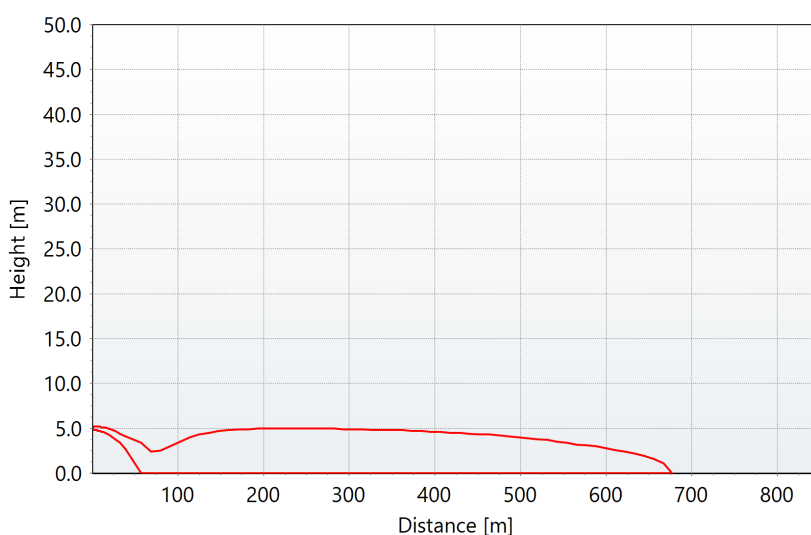
Uitwerking scenario

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen

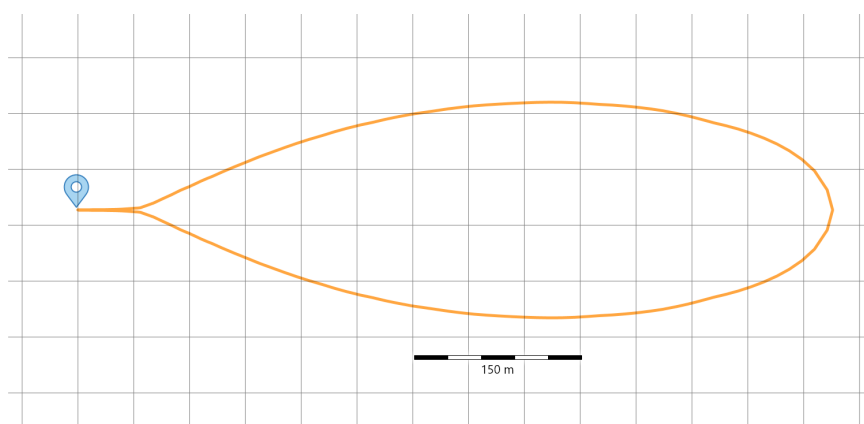
- > LNG-uitstroom gedurende 120 seconden (LNG Masterplan, 2015); dan stopt het noodstopsysteem (automatisch of handmatig) de uitstroom.
- > Nominale pompdebiet 1000 m³/uur uit een 6" leiding (tabel 5 in (LNG Masterplan, 2015). Uitgaande van 50 % debietverhoging ten gevolge van een verminderde weerstand voor de pomp door het afbreken van de leiding, leidt tot een debiet van 1500 m³/u (= 326 kg/s) gedurende 120 s tot het sluiten van de ESD (Havenbedrijf Amsterstam N.V., 2021).
- > Voor de modellering is verder aangenomen dat de uitstroming in horizontale richting is.

Resultaten

In Figuur B1.7 is het zijaanzicht van de brandbare LNG-wolk weergegeven. Vlak na uitstroming zal het koude LNG naar beneden vallen en op het water terechtkomen, waarna door verdamping de brandbare wolk wordt gevormd. In Figuur B1.8 is het bovenaanzicht van de brandbare wolk weergegeven, waarbij de omvang wordt bepaald door de LEL (lower flammability limit).



Figuur B1.7 Zijaanzicht brandbare wolk.



Figuur B1.8 Bovenaanzicht brandbare wolk

Conclusie

Indien ontsteking plaatsvindt op het moment dat de gaswolk haar maximale omvang heeft bereikt, kunnen tot op 700 m (gemeten in de richting van de wind) letale slachtoffers vallen en kunnen tot op deze afstand secundaire branden ontstaan. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

Bijlage 2 – Uitwerking incidentscenario's (cryogeen) waterstof

Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand op een varend schip – vuurbal

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een schip met brandbare lading dat gebruikmaakt van waterstof als brandstof vaart op het water. Waterstof is onder druk gasvormig opgeslagen in een tank bij een druk van 250 bar. Er ontstaat een brand. Door hitte stijgt de druk in de tank. Het afblaasventiel faalt of kan de druk onvoldoende afvoeren, waardoor de tank openbreekt en waterstof explosief vrijkomt en ontbrandt. Een vuurbal is het gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met brandbare lading
Type houder	Druktank (bol of cilinder op dek
Inhoud houder	35 m ³ (650 kilo) (Habibic, 2024) en 5,4 m ³ (100 kg)
Temperatuur houder	-
Druk houder	250 bar
Type incident	(Externe) brand verhit druktank die explodeert - vuurbal
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen op basis van:

- > Situatie 1: 650 kg waterstof. Dit komt overeen met een tankvolume van 35 m³ (bij 250 bar) (Habibic, 2024).
- > Situatie 2: 100 kg waterstof op verzoek van het havenbedrijf. Dit komt overeen met een tankvolume van 5,4 m³ (bij 250 bar).
- > De tank faalt bij een druk van 300 bar (de temperatuur is dan opgelopen tot 60 °C)

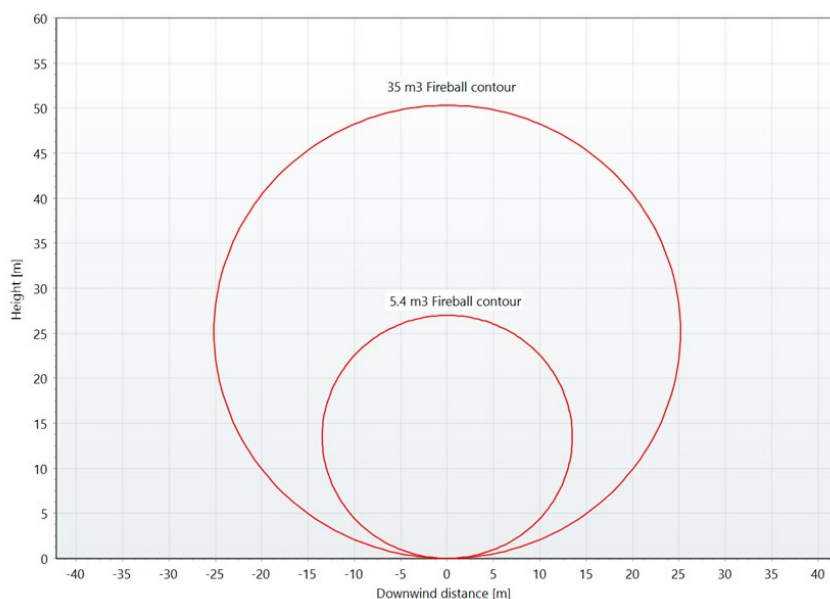
Resultaten

In Tabel B2.1 zijn enkele gegevens van de vuurballen weergegeven.

Tabel B2.1 Gegevens vuurbal

Tankinhoud	Duur vuurbal (s)	Maximale diameter vuurbal (m)
35 m ³	3,9	50
5,4 m ³	2,1	27

In Figuur B2.1 zijn de contouren van de beide vuurballen weergegeven.



Figuur B2.1 Contouren vuurballen

Conclusie

De vuurbal duurt kort (2,1 of 3,9 seconden). Om deze reden wordt aangenomen dat de vuurbalcontour gelijk is aan het effectgebied en er buiten de contour geen schade zal ontstaan¹². Voor de 35 m³ tank bedraagt de shadeafstand 50 m op een hoogte van 25 m; op 1,5 m hoogte zullen personen tot op circa 10 m letaal letsel oplopen. Voor de 5,4 m³ tank bedraagt de shadeafstand 27 m op een hoogte van 13,5 m; op 1,5 m hoogte zullen personen tot op circa 7 m letaal letsel oplopen. Binnen de vuurbal zullen brandbare objecten vlam vatten en personen overlijden.

¹² Er is a.h.w. alleen sprake van een eerste (rode) schadering, zoals uitgelegd aan het begin van paragraaf 4.3

Waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – (externe) brand aan de kade – fakkel

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een schip met brandbare lading dat gebruikmaakt van waterstof als brandstof ligt aan de kade. Het gas is onder 250 bar druk opgeslagen in een druktank. Er ontstaat een brand. Door hitte stijgt de druk in de tank. Het veiligheidsventiel (Pressure Relief Device of PRD ¹³) gaat open en waterstof wordt afgeblazen. Dit ontsteekt meteen en vormt een fakkel..
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip aan kade
Object	(Container)schip met brandbare lading
Type houder	Druktank (bol of cilinder op dek)
Inhoud houder	35 m ³ (650 kilo) (Habibic, 2024) en 5,4 m ³ (100kg)
Temperatuur houder	-
Druk houder	250 bar
Type incident	(Externe) brand – afblazen door PRD - fakkel
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Door een externe brand op een schip dat aan de kade ligt, wordt de waterstoftank opgewarmd. De druk in de tank neemt toe, waardoor het PRD opent en de waterstof uit de tank wordt afgeblazen. De waterstof ontsteekt direct, waardoor een fakkelbrand ontstaat.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > Situatie 1: 650 kg waterstof (Habibic, 2024). Dit komt overeen met een tankvolume van 35 m³ (bij 250 bar).
- > Situatie 2: 100 kg waterstof op verzoek van het havenbedrijf. Dit komt overeen met een tankvolume van 5,4 m³ (bij 250 bar).
- > De PRD gaat open bij een druk van 275 bar (de temperatuur is dan opgelopen tot 35 °C)
- > Minimale en maximale PRD's: 0,75 mm tot 25 mm (Ma et al., 2024; Molkov et al., 2021).
- > Aangenomen wordt dat de uitstroomopening van de PRD naar boven is gericht.

Resultaten

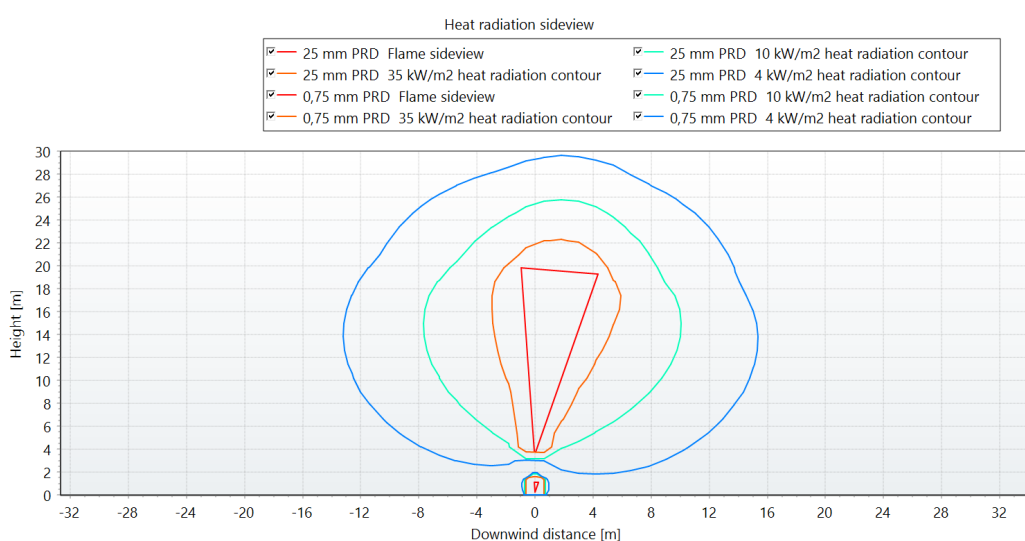
In Tabel B2.2 zijn enkele gegevens van de waterstoffakkels weergegeven.

¹³ Indien een PRD wordt geactiveerd doordat de temperatuur te hoog wordt (bijvoorbeeld als gevolg van brand) spreekt men van een Thermally-activated Pressure Relief Device of TPRD

Tabel B2.2 Gegevens waterstoffakkels bij twee PRD openingen

Parameter	0,75 mm PRD	25 mm PRD
Fakkellengte	1 meter	20 meter
Fakkelhoek (door wind)	5 graden	6 graden
Afstand en hoogte tot 4 kW/m ² straling	1 m op 1 m hoogte	15,5 m op 13 m hoogte
Afstand en hoogte tot 10 kW/m ² straling	0,75 m op 1 m hoogte	10 m op 15 m hoogte
Afstand en hoogte tot 35 kW/m ² straling	0,6 m op 1m hoogte	6 m op 17 m hoogte
Tijdsduur afblazen (bij één PRD):		
5,4 m ³ tank	29,5 uur	1,5 minuut
35 m ³ tank	7 dagen	10 minuten

In Figuur B2.2 zijn het zijaanzicht van de fakkels per PRD weergegeven.



Figuur B2.2 Zijaanzicht fakkels en warmtestraling

Behalve de tijdsduur voor het afblazen zijn in Tabel B2.2 de waardes weergegeven die gelden bij het ontstaan van de fakkels. Dit geldt ook voor Figuur B2.2. De fakkels zal immers korter worden met het afnemen van de druk gedurende het leegstromen van de tank.

Conclusie

Er is een aanzienlijk verschil tussen de fakkels die ontstaan door een minimale en maximale PRD-opening. Bij een opening van 0,75 mm is de fakkels slechts 1 m lang, maar zullen de druk en de lengte van de fakkels slechts langzaam afnemen. Het kan uren of zelfs dagen duren alvorens een tank dan leeg is. Bij een opening van 25 mm kan de fakkels initieel wel 20 meter lang zijn, maar zal de tank binnen enkele minuten leeglopen, waarna de fakkels dooft en er geen overdruk in de tank meer aanwezig is.

Cryogeen waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – grote botsing tijdens het varen – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van vloeibaar waterstof als brandstof (opgeslagen in een of meerdere cryogene tanks op het dek) botst tegen een ander drijvend object op het water, waardoor grote schade aan een tank ontstaat, met als gevolg het vrijkomen vloeibare waterstof. Dit stroomt uit en vormt een plas die ontsteekt, met een plasbrand tot gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemietanker)
Type houder	Cryogene tank
Inhoud houder	2 x 909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-253 graden Celsius
Druk houder	4 bar
Type incident	Grote botsing, zeer groot lek: gaswolk en mogelijk “plasmvorming”
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Er zijn op dit moment nog vrijwel geen schepen die vloeibaar waterstof als energiebron gebruiken. Het enige schip in bedrijf is een veerboot in Noorwegen met een tankinhoud van 80 m³ (elizabethqueenseaswann, 2021). Omdat in de toekomst naar verwachting steeds vaker grotere tanks zullen worden gebruikt, is in dit voorbeeld uitgaan van de cryogene tanks (909 m³) die in de scenario's voor LNG zijn gebruikt, die boven op het dek zijn geplaatst (Molchemtankers, 2025). Er ontstaat een groot gat (van 1 m doorsnede door een aanvaring), waardoor LH₂ op het water terecht komt, ontsteekt en een plasbrand vormt.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > volume tank: 6000 m³ (Havenbedrijf Rotterdam, 2025)
- > vulgraad: 88 % (bij opwarmen zet H₂ uit, dus de tank mag niet vol zijn¹⁴ (NIPV, 2023a)
- > temp: -253 °C (kookpunt)
- > overdruk: 4 bar (NIPV, 2023a)¹⁵
- > afmetingen: horizontale cilinder: 20 m lang (willekeurige schatting; 10 of 40 m hebben relatief weinig invloed); doorsnede is dan circa 10 m.
- > diameter gat: 1 m (par 3.2.3.2 (LNG Masterplan, 2015)
- > uitgestroomde hoeveelheid: tank stroomt leeg
- > verder is aangenomen dat alle vrijgekomen LH₂ een plas vormt op open water.

Resultaten

De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel B2.3 zijn enkel gegevens van de plasbrand weergegeven.

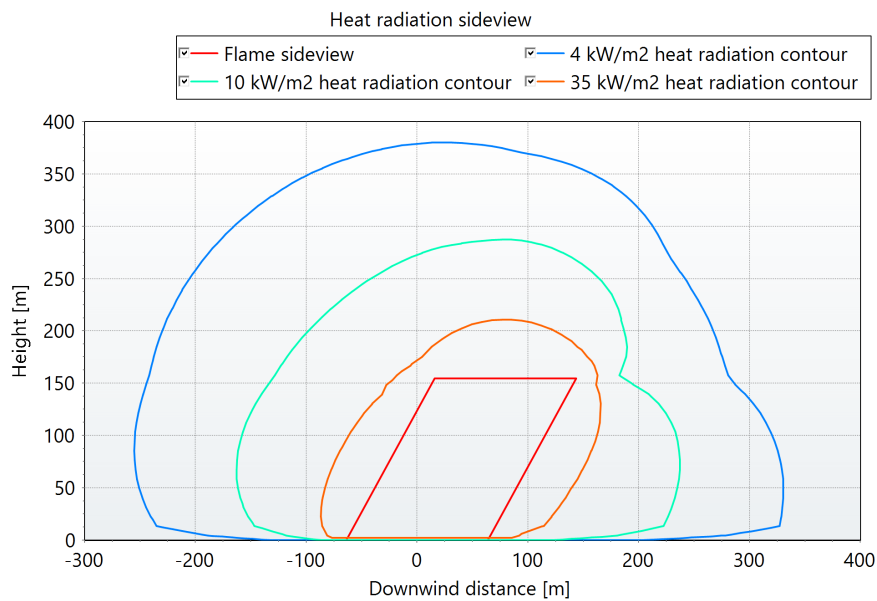
¹⁴ Zie ook (NIPV, 2023a)

¹⁵ In (NIPV, 2023a) wordt uitgegaan van een tot vloeistof verdicht gas bij -247 °C. Om een uitstromende vloeistof te kunnen modelleren, mag de temperatuur maximaal het kookpunt bedragen (-253 °C).

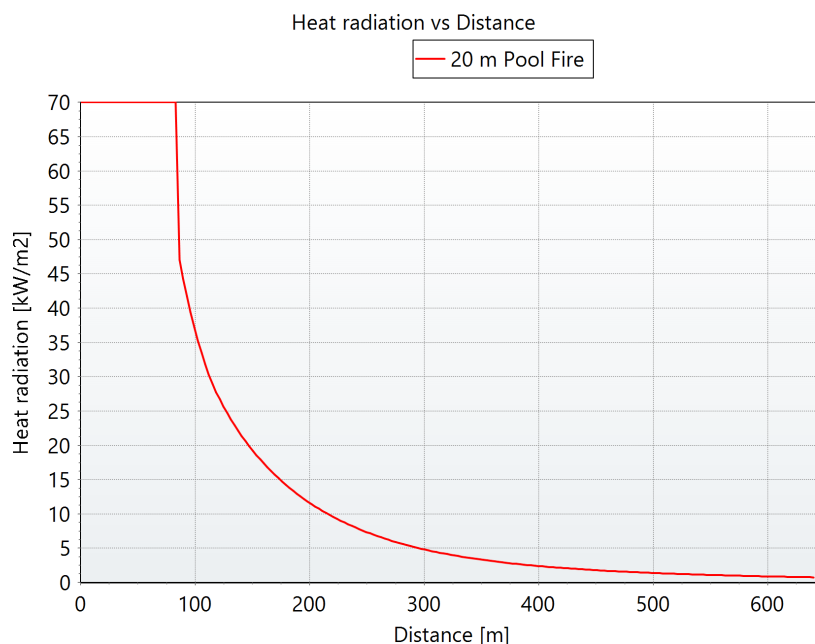
Tabel B2.3 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Plasoppervlak	12798
Plasdiameter	64 m
Vlamlengte	175 m
Vlamhoek (door wind)	27 °
Duur brand	28 sec

In Figuur B2.3 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het schadebeeld dat is weergegeven in Tabel 2.4. Figuur B2.4 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van de plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur B2.3).



Figuur B2.3 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren.



Figuur B2.4 Hittestraling plasbrand

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel B2.4.

Tabel B2.4 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 100	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	100	35			99
2 ^e ring	100 tot 215	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 155 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	37
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	215	10			1
3 ^e ring	215 tot 320	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 200 meter.	<u>Lichte schade</u>	0
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	320	4			0

Conclusie

Ook de plasbrand zal op ruime afstand (tot ruim 200 m) schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

Cryogeen waterstof-aangedreven chemicaliëntanker – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van vloeibaar waterstof als brandstof vaart op het water. De waterstof is opgeslagen in een cryogene druktank. Het schip botst tegen de kade waardoor schade aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen vloeibare waterstof. Deze vormt een plas die ontsteekt met een plasbrand tot gevolg.
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Bunkeren / opladen
Locatie	Schip aan kade
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Cryogene tank op dek
Inhoud houder	909 m ³ (Molchemtankers, 2025)
Temperatuur houder	-253 C
Druk houder	Atmosferisch tot enkele bars
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang - H2 plasbrand op kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

We gaan hier uit van dezelfde tanker als bij LNG-scenario's 4.3.1 & 4.3.2

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > volume tank: 909 m³ (zelfde als LNG-scenario's 4.3.1 & 4.3.2) (Molchemtankers, 2025)
- > vulgraad: 88 % (bij opwarmen zet H₂ uit, dus de tank mag niet vol zijn¹⁶ (NIPV, 2023a)
- > temp: -253 °C (kookpunt).
- > overdruk: 4 bar (NIPV, 2023a)¹⁷
- > afmetingen: horizontale cilinder: 20 m lang (willekeurige schatting; 10 of 40 m hebben relatief weinig invloed); lengte is dan: 8,3 m
- > diameter gat: 20 cm (NIPV, 2024b)
- > uitgestroomde hoeveelheid: tank stroomt leeg.
- > verder is aangenomen dat alle vrijgekomen LH₂ een plas vormt op de kade.

Resultaten

De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel 2.5 zijn enkel gegevens van de plasbrand weergegeven.

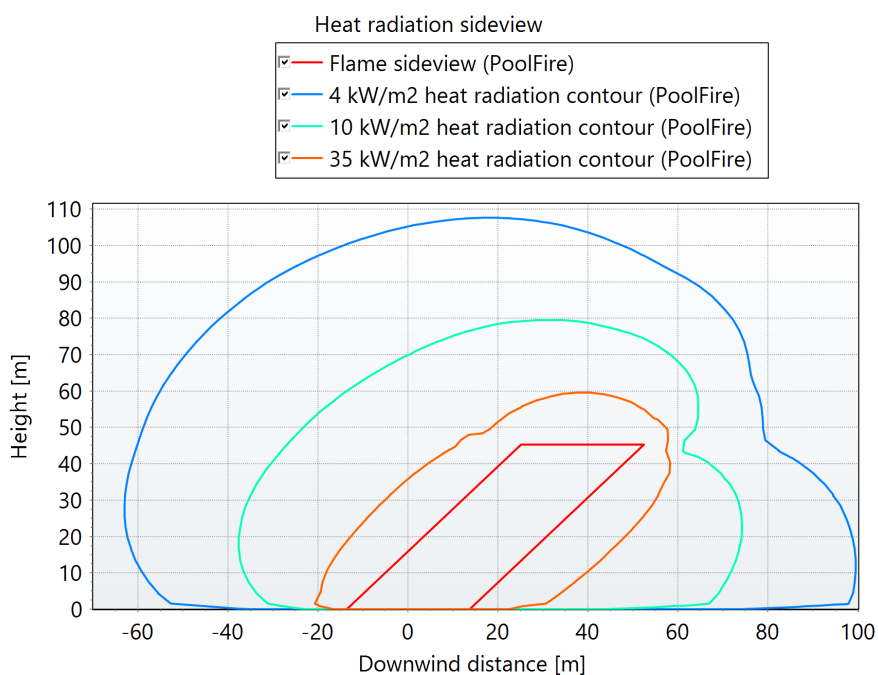
¹⁶ Zie ook [Opslag vloeibaar waterstof - Fakkelfbrand - Scenarioboeken](#).

¹⁷ In het scenarioboek wordt uitgegaan van een tot vloeistof verdicht gas bij -247 °C. Om een uitstromende vloeistof te kunnen modelleren, mag de temperatuur maximaal het kookpunt bedragen (-253 °C).

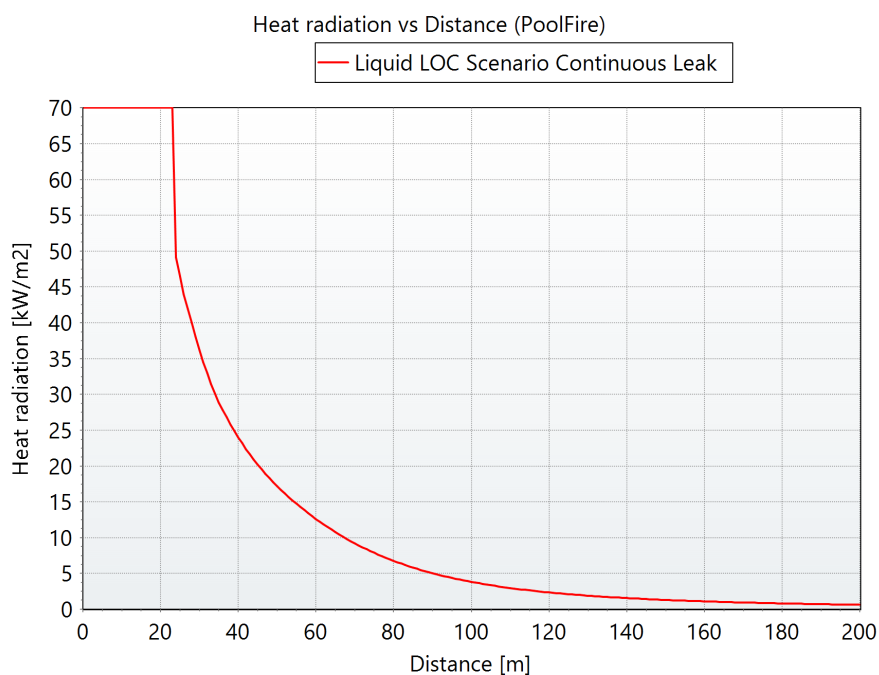
Tabel 2.5 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Plasoppervlak	3065 m ²
Plasdiameter	31 m
Vlamlengte	60 m
Vlamhoek (door wind)	41 °
Duur brand	10 min

In Figuur 2.5 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het schadebeeld dat is weergegeven in Tabel 2.6. Figuur 2.6 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur 2.5).



Figuur 2.5 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren.



Figuur 2.6 Hittestraling plasbrand

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 2.6

Tabel 2.6 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 30	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	30	35			99
2 ^e ring	30 tot 70	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 90 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	37
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	70	10			1
3 ^e ring	70 tot 100	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 92 meter.	<u>Lichte schade</u>	0
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	100	4			0

Conclusie

Ook de plasbrand zal op ruime afstand (circa 70 m) schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

Cryogeen waterstof-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Waterstof
Beschrijving scenario	Een tankschip heeft een cryogene druktank met vloeibare waterstof aan boord. Het schip botst tegen de kade waardoor schade ontstaat aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen), met als gevolg het vrijkomen vloeibare waterstof. De waterstof verdampt deels en vormt een explosieve wolk die ontsteekt en mogelijk deels een plas vormt op de kade, met een plasbrand tot gevolg.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen (1000 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Cryogene (druk)tank
Inhoud houder	40.000 m ³
Temperatuur houder	-253 graden Celsius
Druk houder	Atmosferisch (bij cryogene opslag)
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of- waterstof verdampt en vormt explosieve wolk die ontsteekt of plas op kade – plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Voor het scenario zijn we uitgegaan van een bolvormige druktank van 40000 m³, waarvan er meerdere op een schip kunnen worden geplaatst, zoals weergegeven in Figuur 4.4. Tijdens het laden of lossen breekt een van de drie (slang)aansluitingen met een doorsnede van 200 mm af (NIPV, 2024; DNV, 2021), waardoor LH2 uitstroomt. Een ESD stopt de pomp na 120 s. Er wordt van uitgegaan dat alle LH2 op de kade stroomt en een plas zal vormen, met een plasbrand als gevolg.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > volume tank: 40000 m³ (DNV, 2024)
- > vulgraad: 88 % (bij opwarmen zet H₂ uit, dus de tank mag niet vol zijn¹⁸ (NIPV, 2023a).
- > temp: -253 °C (kookpunt).
- > pompdebiet: 1000 m³/hr (Havenbedrijf Amsterstam N.V., 2021)
- > uitstroomtijd: 120 s tot inwerking treden ESD (Havenbedrijf Amsterstam N.V., 2021)
- > verder is aangenomen dat alle vrijgekomen LH₂ een plas vormt op de kade.

Resultaten

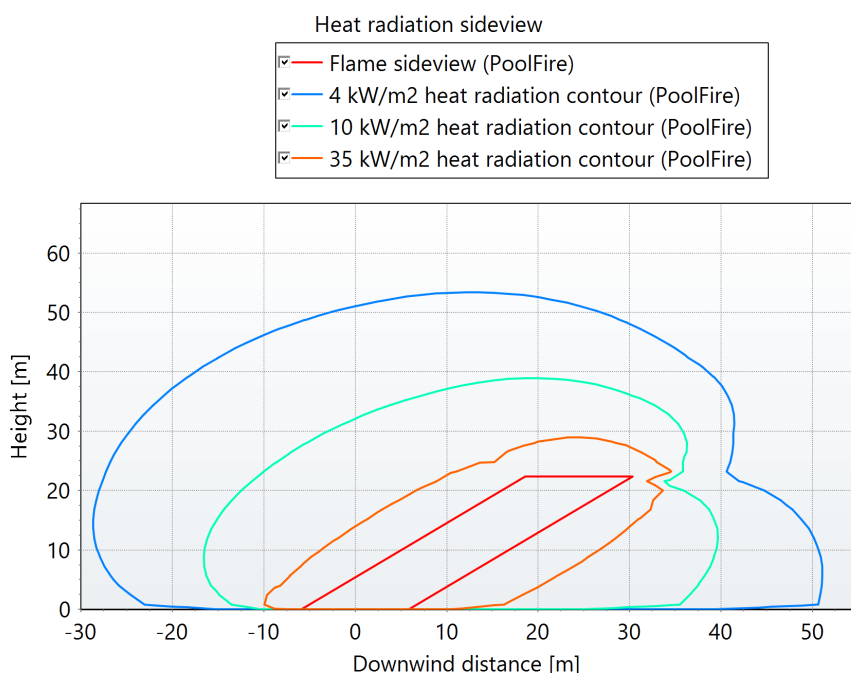
De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel 2.7 zijn enkel gegevens van de plasbrand weergegeven.

¹⁸ Zie ook: [Opslag vloeibaar waterstof - Fakkelfbrand - Scenarioboeken](#).

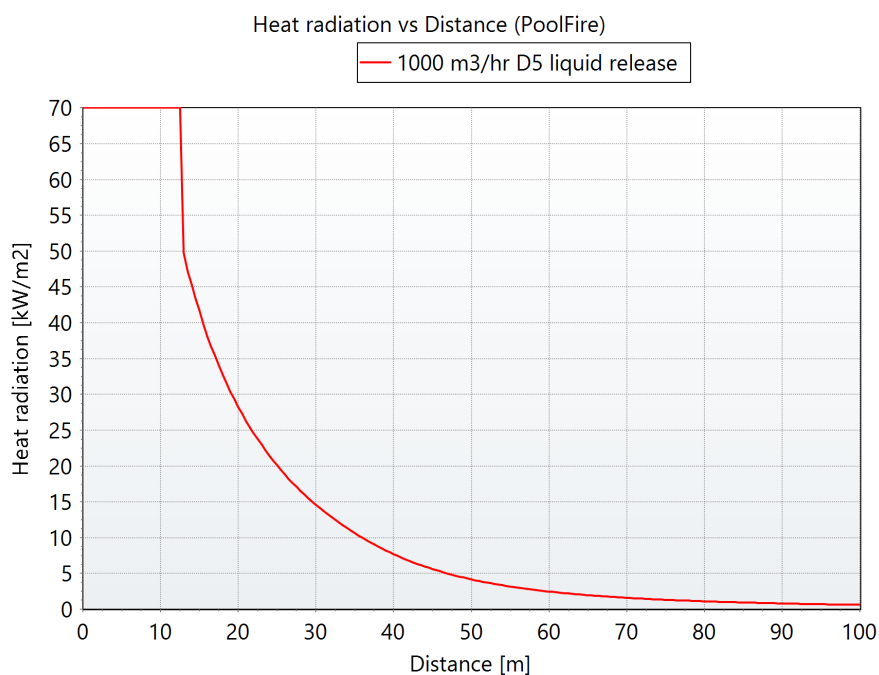
Tabel 2.7 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Plasoppervlak	108 m ²
Plasdiameter	11.7 m
Vlamlengte	33 m
Vlamhoek (door wind)	48 °
Duur brand	136 s

In Figuur 2.7 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het schadebeeld dat is weergegeven in Tabel 2.8. Figuur 2.8 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur 2.7).



Figuur 2.7 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren



Figuur 2.8 Hittestraling plasbrand

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 8.13.

Tabel 2.8 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 17	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	17	35			99
2 ^e ring	17 tot 35	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 39 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	40
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	35	10			1
3 ^e ring	35 tot 50	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 43 meter.	<u>Lichte schade</u>	0
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	50	4			0

Conclusie

Ook de plasbrand zal tot op circa 35 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

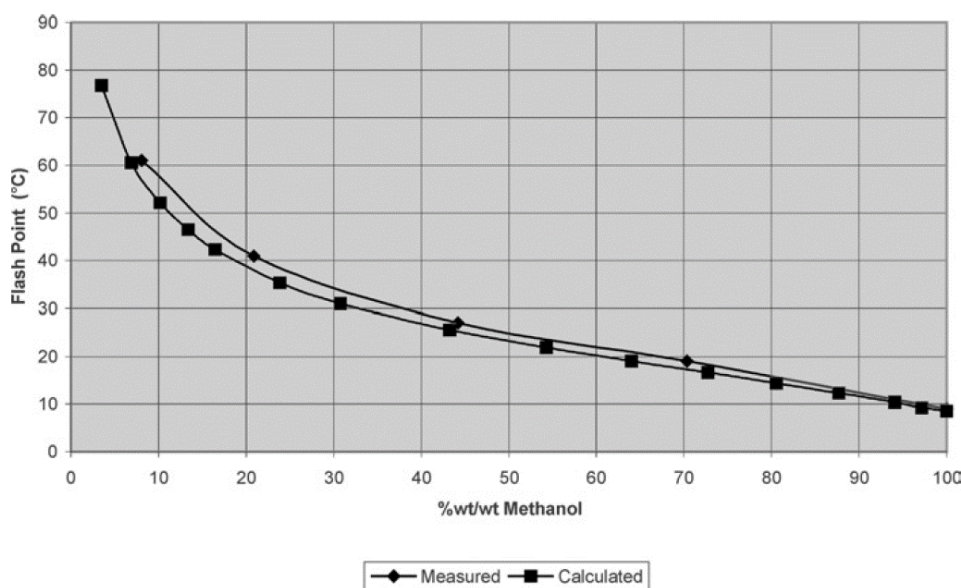
Bijlage 3 – Uitwerking incidentscenario's Methanol

Methanol-aangedreven chemicaliëntanker – kleine botsing tijdens het varen

Stof	Methanol
Beschrijving scenario	Een chemicaliëntanker die gebruikmaakt van methanol als brandstof vaart op het water. De brandstoftank is vol en de inhoud bedraagt 4300 ton; de methanol zit opgeslagen in een tank onder atmosferische druk (1 atm) op kamertemperatuur. De chemicaliëntanker komt in botsing met een object op het water, zoals een ander schip, waardoor schade aan de methanol-tank en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen methanol. Dit mengt volledig met water en heeft geen veiligheidsgevolgen
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Chemicaliëntanker
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houder	4.300.000 kg methanol → 5.400 m ³
Temperatuur houder	Omgevingstemperatuur
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang – methanol komt vrij en mengt met water:
Overige informatie	-

Beschouwing relevantie scenario

De methanol die op het (zee)water terecht komt, zal hiermee (vrijwel) meteen mengen. Op of nabij de plek waar de uitstromende methanol op het water komt, kan er (hooguit) gedurende zeer korte tijd sprake zijn van een pure methanolplas. Om deze te ontsteken moet de temperatuur minimaal de waarde van het vlampunt ('flash point') hebben. Voor puur methanol is dit circa 11 °C. In Figuur 3.1 is het vlampunt weergegeven als functie van het percentage methanol in een water-methanol-mengsel. Bij verdunning (lagere waarde van 'wt%/wt Methanol' in Figuur 3.1) zal een steeds hogere (zeewater)temperatuur nodig zijn om de methanol te kunnen ontsteken. Hoewel zeer lage concentraties van methanol in water nog kunnen worden ontstoken, zal door de enorme overmaat aan zeewater (en dus zeer sterke verdunning) al snel een temperatuur vereist zijn die hoger is dan de maximale ('s zomers bereikte) zeewatertemperatuur. Met andere woorden: zo de vlampuntconcentratie al bereikt wordt, zal deze van zeer korte duur zijn, waardoor de kans op een methanol plasbrand op het water zo goed als uitgesloten kan worden geacht. Dit scenario zal dan ook geen rol spelen bij de bepaling van de capaciteit van de IBV's en zal niet verder worden uitgewerkt.



Figuur 3.1 Vlampunt van methanol-water mengsels (Ashbury et al., 2004).

Methanol-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	Methanol
Beschrijving scenario	Een tankschip transporteert 120.000 m ³ methanol. De vloeistof is op omgevingstemperatuur en de druk is atmosferisch (1 atm). Tijdens het laden of lossen komt het tankschip in botsing met de kade, waardoor schade aan de tank(s) en/of de installatie (leidingen en slangen) ontstaat, met als gevolg het vrijkomen van methanol. Hierdoor ontstaat een plas op de kade. Deze kan ontsteken en tot een plasbrand leiden (bij verdamping ontstaat een brandbare en toxische wolk).
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Laden / lossen (1000 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tank
Inhoud houders	120.000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch (atm)
Type incident	Kleine botsing, afbreken leiding of slang, methanol komt vrij en vormt plas op kade – plasbrand
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Bij dit scenario wordt aangenomen dat methanol via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een ESD binnen een bepaalde tijd in werking treden, waardoor de uitstroom zal wordt gestopt.

- Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen (Havenbedrijf Amsterstam N.V., 2021):
- > Methanoluitstroom stopt na 120 seconden door het in werking treden van de ESD.
 - > Pompdebit methanol 1000 m³/uur → 220 kg/s methanol.

Aanvullende gegevens:

- > De methanol stroomt in vloeibare vorm op de kade en vormt een cirkelvormige plas.

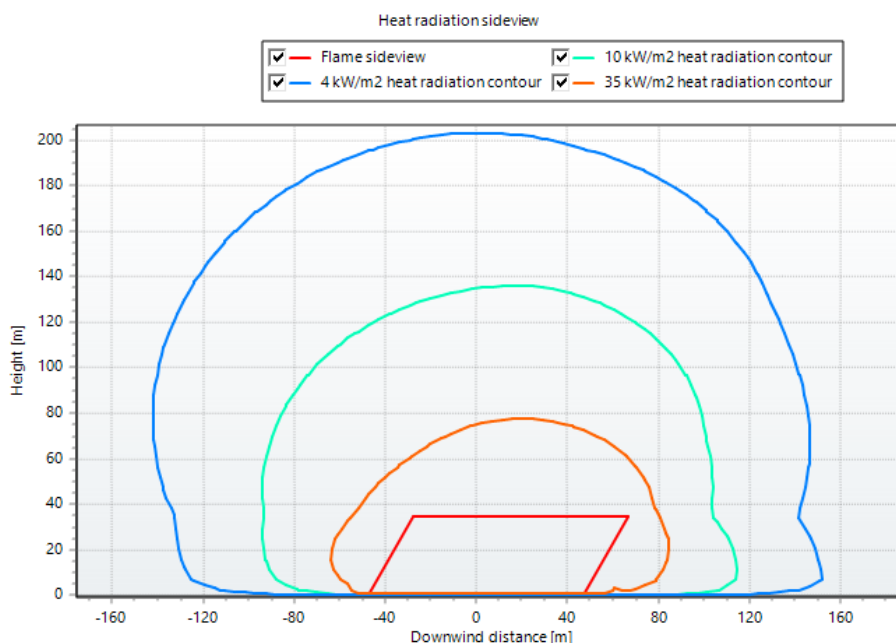
Resultaten

In Tabel 3.1 zijn enkele gegevens van de plasbrand weergegeven.

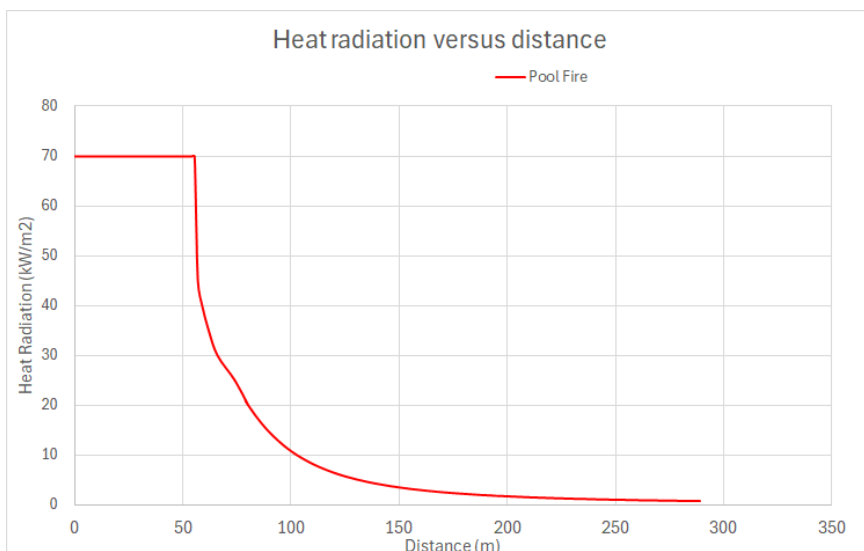
Tabel 3.1 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Oppervlak plasbrand	7044 m ²
Diameter plasbrand	95 m
Vlamlengte	40 m
Vlamhoek (door wind)	30 °
Duur brand	187 seconden

In Figuur 3.2 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het shadebeeld dat is weergegeven in Tabel 3.2. Figuur 3.3 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren



Figuur 3.3 Hittestraling plasbrand

Tabel 3.2 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Schade en slachtoffers binnen	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten	% letale slachtoffers	
1 ^e ring	<= 60	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100%
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	60	35		99%	
2 ^e ring	60 tot 105	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 85 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	54%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	105	10		1%	
3 ^e ring	105 tot 140	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 10 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	140	4		0%	

Conclusie

Tot op ruim 100 meter kan brandoverslag plaatsvinden en kunnen er letale slachtoffer vallen.

Methanol-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen

Dit scenario is niet verder uitgewerkt.

Bijlage 4 – Uitwerking incidentscenario's ammoniak

Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – toxisch wolk

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip aan de kade is ammoniak aan het lossen. Een laadarm breekt af, waardoor ammoniak vrijkomt. De uitstromende koude ammoniak verdampt deels meteen en komt deels als vloeistof op de kade en in het water.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (500 m ³ /s)
Locatie	Schip aan kade
Object	Schip met lading koude ammoniak
Type houder	Atmosferische dubbelwandige tank
Inhoud houder	93 000 m ³ (Mandra, 2023)
Temperatuur houder	-34 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Uitstroming uit atmosferische tank – plasvorming op kade – verdamping – toxische blootstelling.
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Er wordt vanuit gegaan dat alle (koude) ammoniak als vloeistof zal uitstromen. Er zijn twee berekeningen uitgevoerd:

1. Alle ammoniak komt op de kade en vormt een plas. Door verdamping uit de plas ontstaat een toxische wolk.
2. Alle ammoniak komt in het water waarbij, 1/3 meteen verdampt (NIPV, 2024a), met ook een toxische wolk tot gevolg. De rest mengt met en wordt verdund in het water, en heeft geen externe effecten.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen (NIPV, 2024a):

- > Uitstroomsnelheid (via pomp): 142 kg/s; dit is 1,5 x het nominale debiet (500 m³/s)
- > Uitstroomtijd: 97 s (dan grijpt ESD in)
- > gatgrootte: 35,6 cm (14 inch)
- > Situatie 1:
 - temp: -34 °C (net onder kookpunt, vloeistofuitstroming).
 - de vrijgekomen ammoniak vormt een cirkelvormige plas op de kade waaruit verdamping optreedt.
- > Situatie 2:
 - Temp: 9 °C (watertemperatuur, alle ammoniak gaat meteen over in de dampfase).

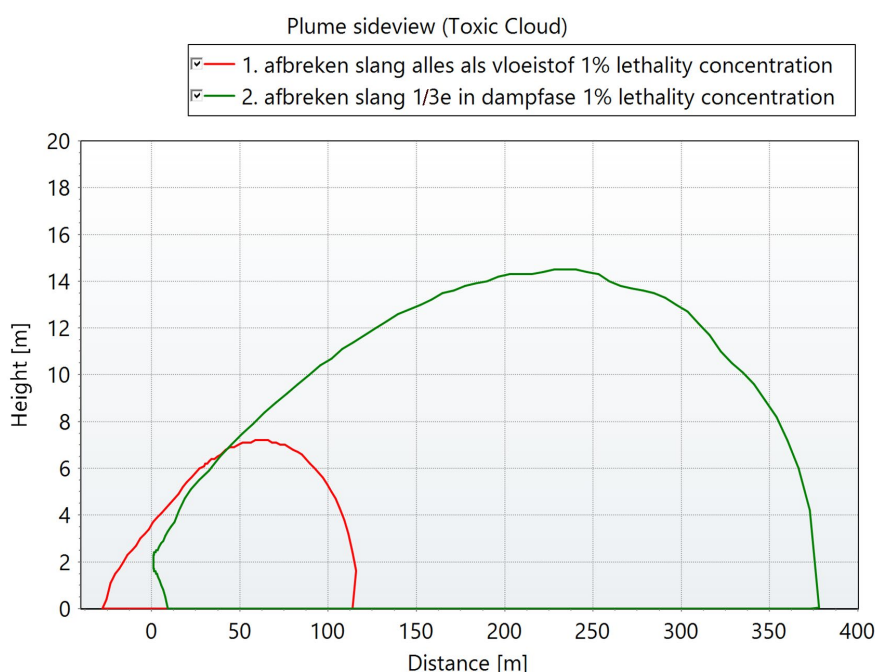
Resultaten

In situatie 1 zal er zich een plas vormen waaruit door verdamping een toxische wolk zal ontstaan. In situatie 2 wordt uitgegaan van instantane verdamping door het contact met (het veel warmere) zeewater.

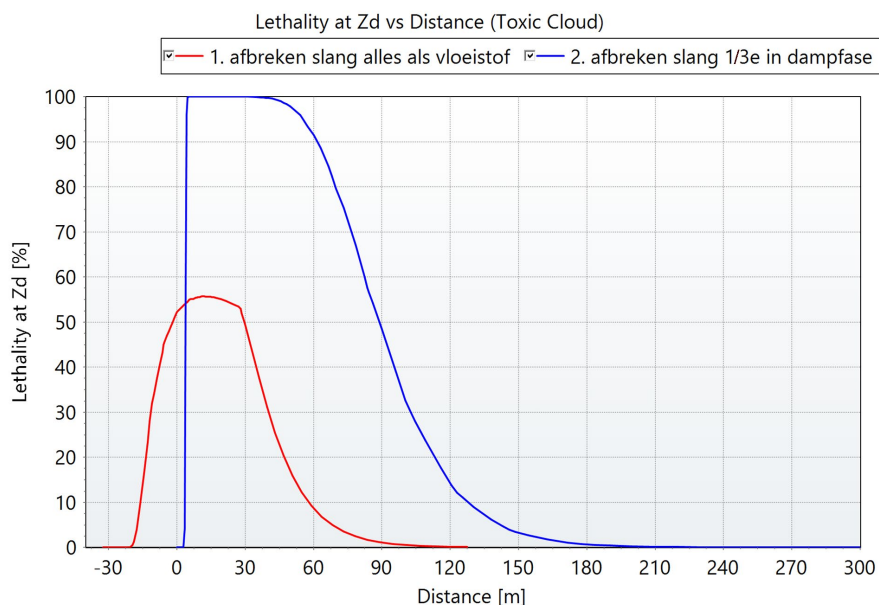
De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn weergegeven in Tabel 4.1. In Figuur 4.1 is het zijaanzicht van de toxische wolk weergegeven, dat wil zeggen de 1% letaliteitscontour, bij 30 minuten blootstelling. Figuur 4.2 geeft de letaliteit weer als functie van de afstand, gemeten op 1,5 m hoogte (i.e. $Z_d=1,5$ m). In Figuur 4.3 is het concentratieverloop als functie van de tijd weergegeven voor de beide locaties (X_d) waarop 1% letaliteit optreedt (situatie1: $X_d=90$ m; situatie 2: $X_d=174$ m).

Tabel 4.1 Resultaten EFFECTS-berekeningen

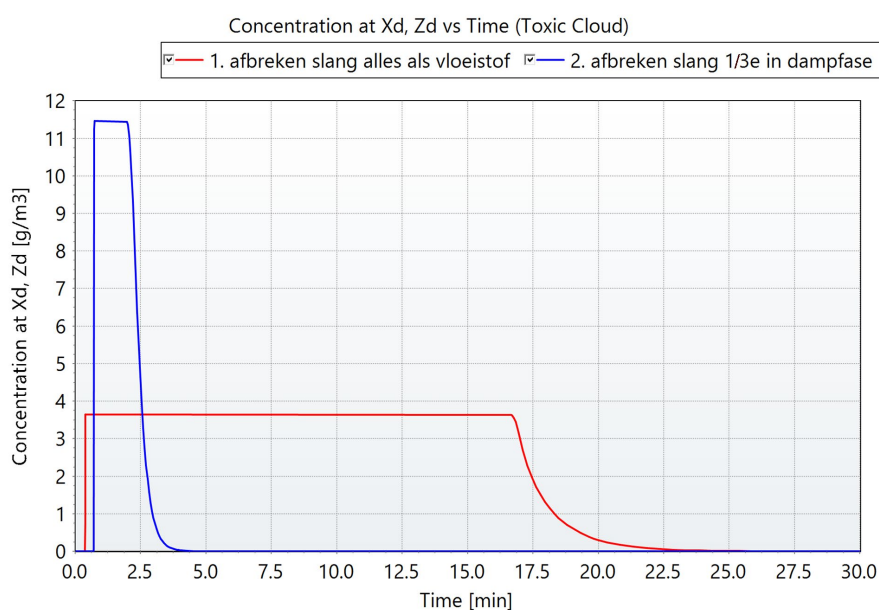
Parameter	Situatie 1	Situatie 2
Max. plasoppervlak	3124 m ²	n.v.t.
Max. plasdiameter	63 m	n.v.t.
Afstand tot 1% letaliteit (30 min blootstelling)	115 m	377 m
Afstand tot 1% letaliteit (actuele blootstelling)	90 m (ca. 20 min)	174 m (ca. 3 min)
Duur verdamping	> 30 minuten	97 s (=uitstroomduur)



Figuur 4.1 Zijaanzicht toxische wolk (1% letaliteit, uitgaande van 30 min blootstelling)



Figuur 4.2 Letaliteit als functie van de afstand (uitgaande van actuele blootstellingstijden)



Figuur 4.3 Concentratieverloop als functie van de tijd voor de locaties (Xd) waarop 1% letaliteit optreedt (situatie1: Xd=90 m; situatie 2: Xd=174 m)

Conclusie

De instantane verdamping van de vrijkomende ammoniak (1/3 van het totaal) in situatie 2 leidt tot een grotere effectafstand dan de (langdurige) verdamping uit de plas die is gevormd bij vloeistofuitstroming in situatie 1 (zie Tabel 4.1; bij actuele blootstelling bijvoorbeeld: 174 m vs. 90 m). Oorzaak hiervan is de circa drie maal hogere ammoniakconcentratie die ontstaat door de instantane verdamping na opmenging met het zeewater (zie Figuur 4.3).

Ammoniak-aangedreven schip met droge lading - botsing tijdens het varen op water - explosie

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip met droge lading aangedreven door ammoniak (NH ₃) komt in botsing met een ander drijvend object. De onder druk staande tank barst volledig open en er zal een toxische (en brandbare) gaswolk ontstaan
Modus	Als aandrijving / energiebron
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met (droge) lading
Type houder	Druktank
Inhoud houder	16 ton (gelijkgesteld aan de inhoud van een tankwagen; 29 m ³ , 88% vulling ¹⁹ (NIPV, 2023b))
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	5,9 bar
Type incident	Instantaan vrijkomen – toxische blootstelling

Uitwerking

Voor dit scenario gaan we uit van een tank ter grootte van de tankauto (29 m³). Door een aanvaring raakt de tank zodanig beschadigd dat deze volledig faalt, waardoor de gehele inhoud in één keer vrijkomt (BLEVE). Een deel zal instantaan verdampen en een toxische gaswolk vormen. De rest zal als vloeistof uitregenen en in het water terecht komen (en mogelijk deels op het scheepsdek). De ammoniak in het water zal voor 1/3 snel verdampen (zie het vorige scenario); de rest zal in het zeewater oplossen.

Resultaten

Resultaten van de effectberekeningen zijn weergegeven in Tabel 4.2. Instantaan verdampt 5169 kg (bijna 1/3 van de totale hoeveelheid ammoniak in de tank). Van hetgeen in het water terechtkomt, zal snel 1/3 verdampen (zie het vorige scenario). Voor de berekeningen van verspreiding en de vorming van een toxische wolk zijn het instantaan verdampte deel en het bij contact met water verdampte deel bij elkaar opgeteld en in EFFECTS gemodelleerd als instantaan vrijgekomen ammoniak, zoals ook weergegeven in Tabel 4.2. Relevante effectafstanden (1% letaliteit door toxische blootstelling) zijn ook in deze tabel weergegeven.

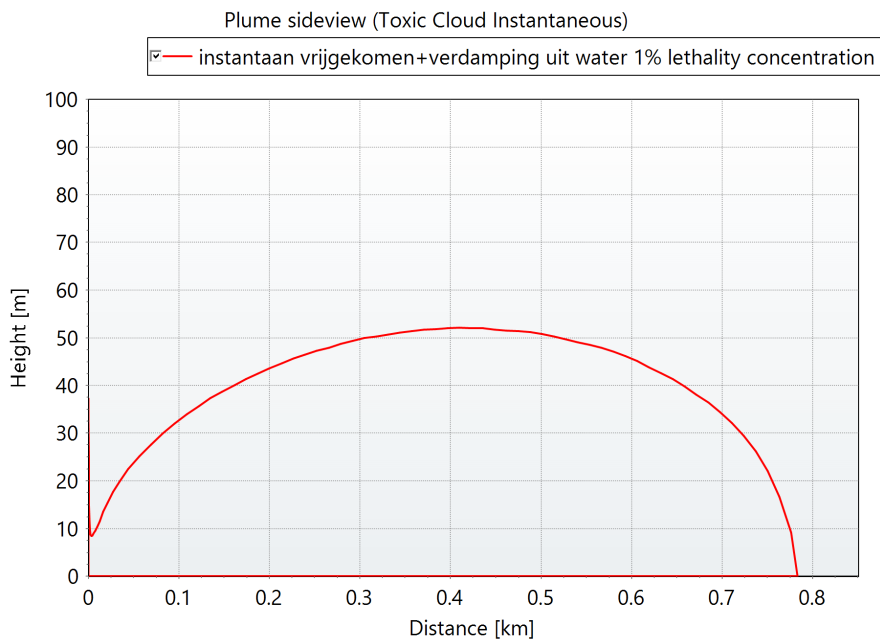
Tabel 4.2 Resultaten EFFECTS berekeningen voor instantane verdamping

Parameter	Waarde	
Massa ammoniak in tank	16028 kg	
Instantaan verdampt	5169 kg	Totaal: 8807 kg
Verdampt bij contact met water	3611 kg (1/3 x (16028 – 5169))	gemodelleerd als instantaan vrijkomen
1% letaliteit (30 min blootstelling)	781 m	
1% letaliteit (actuele blootstelling)	236 m (ca. 2 min.)	

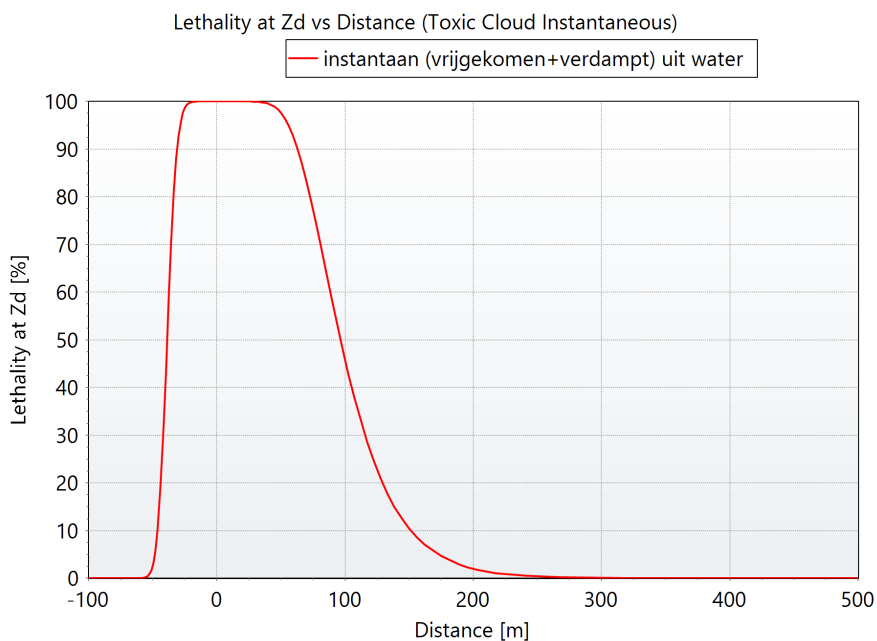
Het zijaanzicht van de toxische wolk (begrensd door 1% letaliteit) is weergegeven in Figuur 4.4. Letaliteit (op 1,5 m hoogte; Z_d = 1,5 m) is weergegeven in Figuur 4.5. In Figuur 4.6 is

¹⁹ Zie ook [Tankwagen Ammoniak – Giftige wolk – Scenarioboeken](#).

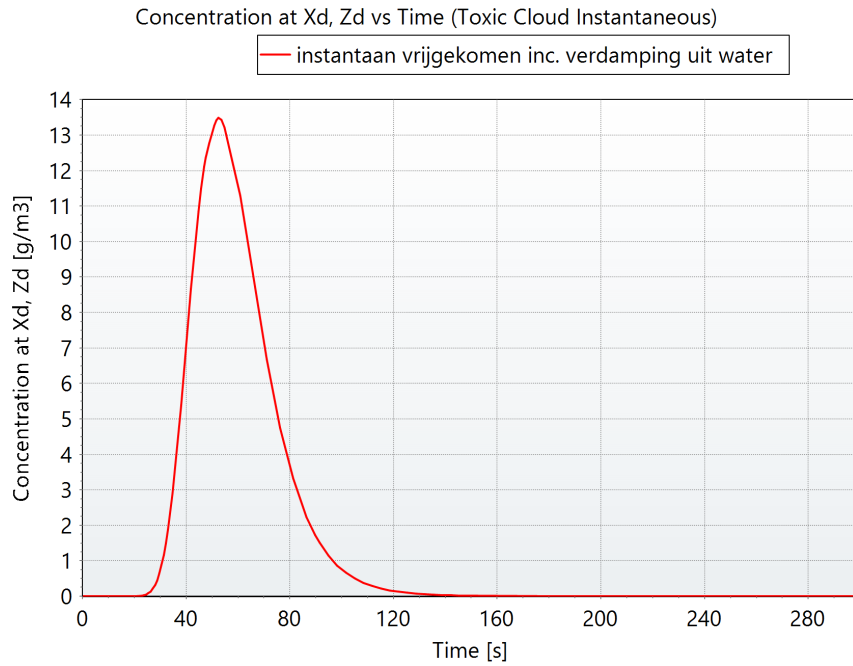
het concentratieverloop als functie van de tijd weergegeven voor de locatie (X_d) waarop 1 % letaliteit optreedt ($X_d = 236$ m).



Figuur 4.4 Zijaanzicht toxische wolk (1% letaliteit, uitgaande van 30 min blootstelling)



Figuur 4.5 Letaliteit als functie van de afstand (uitgaande van actuele blootstellingstijden)



Figuur 4.6 Concentratieverloop als functie van de tijd voor de locatie ($X_d = 236$ m) waarop 1% letaliteit optreedt

Conclusie

Tot op meer dan 200 m kunnen personen overlijden als gevolg van de (in ca 2 minuten) passerende toxische wolk.

Ammoniak-vervoertankschip – kleine botsing tijdens het varen – toxische wolk

Stof	Ammoniak
Beschrijving scenario	Een schip met koude ammoniak aan boord komt in botsing met een ander drijvend object. Hierdoor ontstaat schade aan de tank en/of de installatie (leidingen en slangen), met als gevolg het vrijkomen van ammoniak. De uitstromende koude ammoniak verdampt deels meteen en komt deels als vloeistof in het water. Daarmee mengt de ammoniak volledig, maar er verdampt veel door het warmere water.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Schip met lading koude ammoniak
Type houder	Atmosferische dubbelwandige tank
Inhoud houder	93 000 m ³
Temperatuur houder	-60 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Uitstroming uit atmosferische tank – menging met water – veel verdamping -toxische blootstelling
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

In dit scenario wordt uitgegaan van dezelfde tanker als in scenario 13. Door de aanvaring ontstaat een gat in de wand van 1 m doorsnede, ongeveer halverwege de tank, waardoor deze ongeveer half leeg loopt. De ammoniak komt meteen in het water terecht, waarbij 1/3 verdampt en een toxische wolk vormt die zich met de wind verspreidt. De rest mengt met het water en zal geen toxische damp vormen.

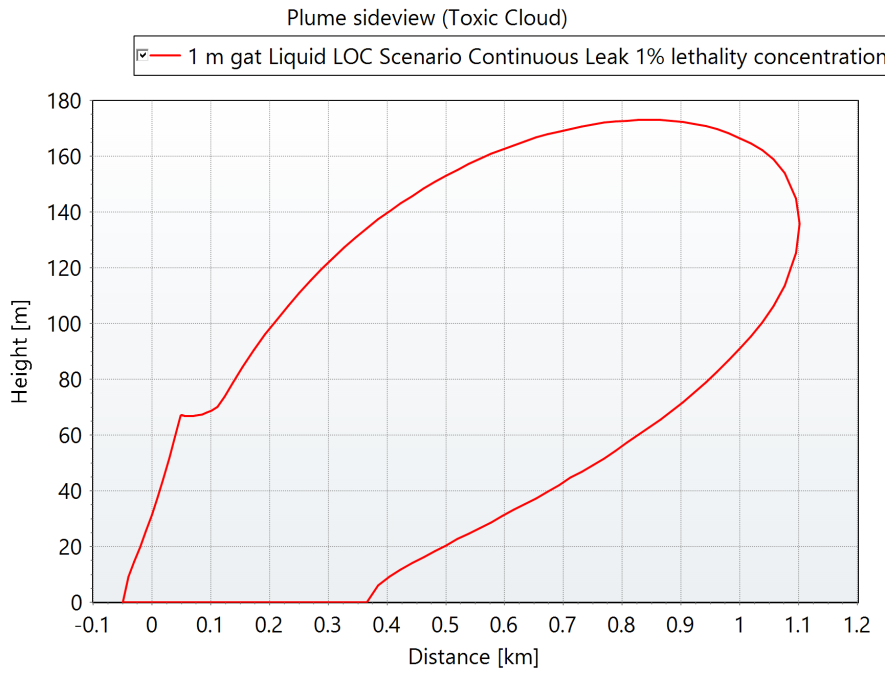
Resultaten

Een derde van de in het water terecht gekomen ammoniak zal zeer snel verdampen en een toxische gaswolk vormen (zie vorige scenario's). Resultaten van de effectberekeningen zijn weergegeven in Tabel 4.3. Het zal meer dan 3 uur duren voordat de uitstroming stopt. Voor de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat blootstelling tot maximaal een half uur na het incident zal optreden zal zijn.

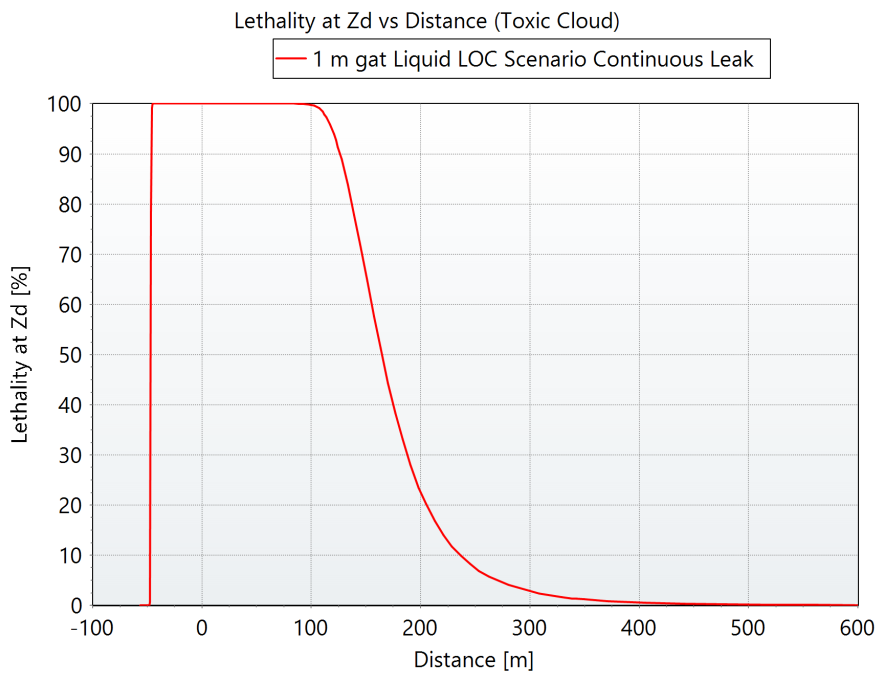
Tabel 4.3 Resultaten EFFECTS berekeningen

Parameter	Situatie 2
Uitgestroomde massa ammoniak	Ca 25 ton
Uitstroomduur	Ca. 3,5 uur
1% letaliteit (30 min blootstelling)	368 m
1% letaliteit (actuele blootstelling)	361 (29 min)

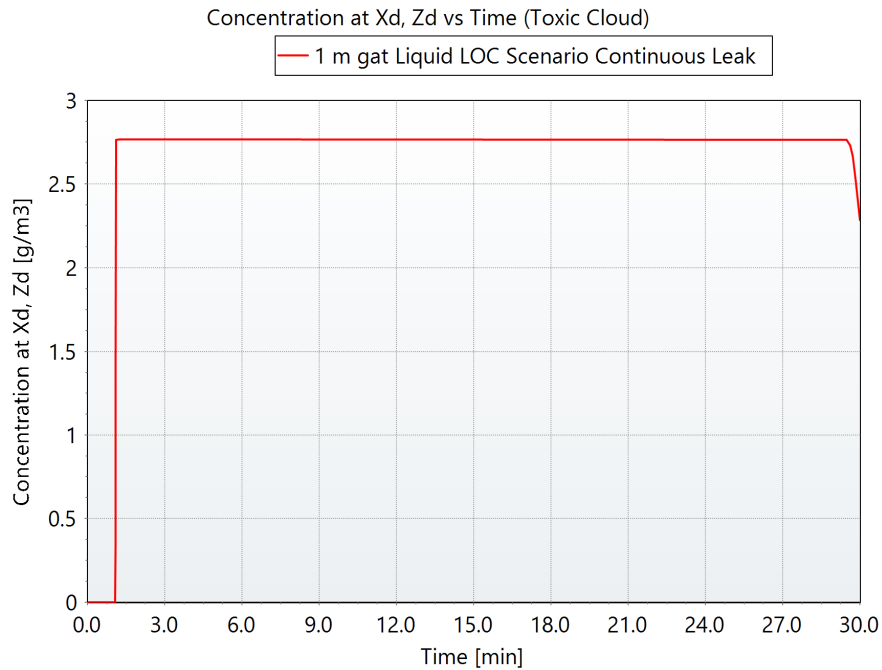
Het zijaanzicht van de toxische wolk (begrensd door 1% letaliteit) is weergegeven in Figuur 4.7. Letaliteit (op 1,5 m hoogte; $Z_d = 1,5$ m) is weergegeven in Figuur 4.8. In Figuur 4.9 is het concentratieverloop als functie van de tijd weergegeven voor de locatie (X_d) waarop 1 % letaliteit optreedt ($X_d = 361$ m).



Figuur 4.7 Zijaanzicht toxische wolk (1% letaliteit, uitgaande van 30 min blootstelling)



Figuur 4.8 Letaliteit als functie van de afstand (uitgaande van actuele blootstellingstijd)



Figuur 4.9 Concentratieverloop als functie van de tijd voor de locatie (Xd = 361 m) waarop 1% letaliteit optreedt

Conclusie

Tot op ruim 350 m kunnen personen overlijden als gevolg van de passerende toxische wolk, ervan uitgaande dat binnen 30 minuten na het incident de blootstelling kan worden beëindigd.

Bijlage 5 – Uitwerking incidentscenario's batterij en CO₂

Lithium-ion-batterijvervoerschip – (externe) brand tijdens het varen

Stof	Lithium-ion batterij
Beschrijving scenario	Aan boord van een varend schip met lithium-ion containers vliegt een lithium-ion batterij ergens binnen in de stapels containers in brand. De brand breidt zich uit naar containers eromheen.
Modus	Als (vervoerd) product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Binnenvaartschip
Type houder	Container / batterij
Inhoud houder	5200 kWh batterijen
Temperatuur houder	-
Druk houder	-
Type incident	(Externe) brand: Thermal runaway in lithium-ion container ergens hoog op een schip tussen andere (lithium-ion) containers – branduitbreiding dus moeilijk te blussen
Overige informatie	-
Bronnen	5200 kWh gebaseerd op een tweetal ZES-packs (Zero emission services, z.d.): de hoeveelheid energie is daarbij afgeleid van het ZES-pack-concept. Er kan ook sprake zijn van een ander systeem met een lithium-ion batterij.

Uitwerking scenario

De totale verbrandingsenergie van een batterijpakket wordt voor een groot gedeelte bepaald door de materialen waaruit het is opgebouwd (kunststoffen en dergelijke).

Volgens (Wilstrand, 2022) geldt voor het verband tussen de totale verbrandingsenergie van batterijen (THR) en de elektrische energie (E):

$$\text{THR (MJ)} = 48,5 \times \text{E(kWh)}$$

Omgerekend naar gelijke eenheden voor THR en E betekent dit (van uren naar secondes):

$$\text{THR} = 48,5/3,6 \times \text{E} = 13,5 \times \text{E}$$

(Voigt et al., 2021) vonden dat de totale energie die vrijkomt, afhankelijk van de meetmethode, tussen de 6 en 12 keer de elektrische energie is.

Als we aannemen dat de totale energie 10 maal de elektrisch energie is, betekent dit voor een lithium-ion batterij-energiesysteem van 5200 kWh een totale (verbrandings)energie-inhoud van 52000 kWh = 187200 MJ.

Ter vergelijking: de energie-inhoud van benzine is 45 MJ/kg en van plastic circa 30 MJ /kg. Ofwel de verbrandingsenergie van batterijpakketten van 5200 kWh komt overeen met die van 6 ton plastic of 6000 liter benzine. Een dergelijk hoeveelheid brandbaar materiaal in een standaard 30-voet ISO-container (5.89 m x 2.35 m x 2.36 m = 33 m³ inhoud) lijkt niet uitzonderlijk en zal ook geen bijzondere eisen stellen aan de capaciteit van IBV's.

Lithium-ion-batterij-aangedreven binnenvaartschip – (externe) brand aan de kade

Zie het vorige scenario.

Vloeistofbatterij-aangedreven nader te bepalen schip – vrijkomen van een stof

Voor dit scenario zijn geen berekeningen uitgevoerd.

CO₂-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – toxische wolk

Voor dit scenario zijn geen berekeningen uitgevoerd.

CO₂-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen – toxische wolk

Voor dit scenario zijn geen berekeningen uitgevoerd.

Bijlage 6 – Uitwerking incidentscenario's LOHC

LOHC-vervoertankschip – kleine botsing aan de kade – plasbrand

Stof	LOHC (liquid Organic Hydrogen Carrier)
Beschrijving scenario	Tijdens het lossen van een tanker met LOHC (tolueen of methylcyclohexaan) breekt de losslang en er ontstaat een plas op de kade. Deze ontsteekt en er ontstaat een plasbrand.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (500 m ³ /uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tanks
Inhoud houder	35 000 m ³ / tank (Havenbedrijf N.V. et al., 2023))
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Afbreken leiding – plasbrand op de kade
Overige informatie	-

Uitwerking scenario

Bij dit scenario wordt aangenomen dat toluen of cyclohexaan via een leiding met een vast debiet wordt verpompt. Indien de leiding breekt, zal een ESD binnen een bepaalde tijd in werking treden, waardoor de uitstroom wordt gestopt.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

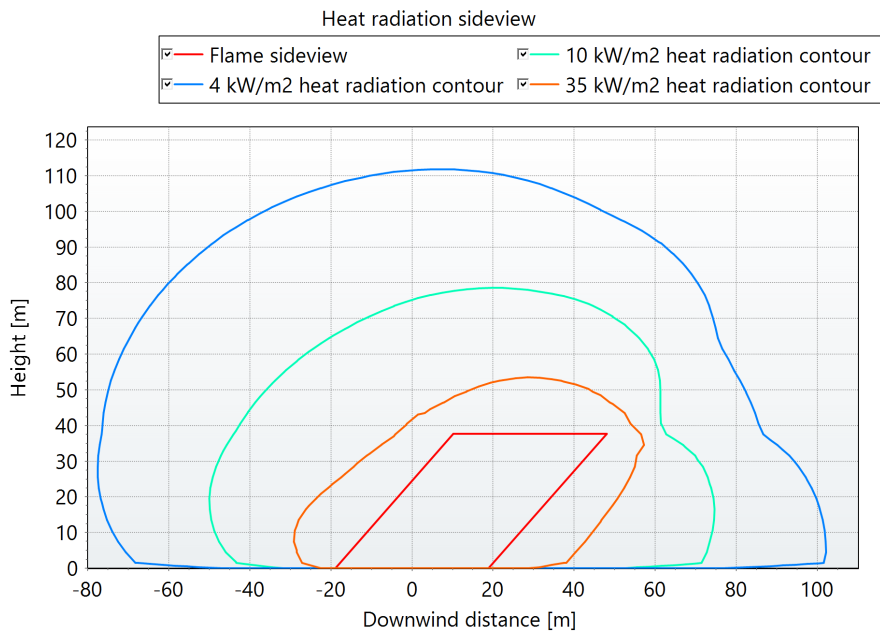
- > Methylcyclohexaan (MCH) wordt als voorbeeldproduct gebruikt (deze stof heeft iets grotere effectafstanden dan toluen (zie LOHC's in scenarioboeken (NIPV, 2025))).
- > Inhoud tanks: 35000 m³ (Havenbedrijf N.V. et al., 2023)
- > Uitstroom stopt na 120 seconden door het in werking treden van de ESD (Havenbedrijf Amsterstam N.V., 2021).
- > Pompdebiet MCH: max 500 m³/uur (eigen info NIPV) per slang of laadarm → 108 kg/s MCH.
- > Er wordt van uitgegaan dat alle product op de kade terechtkomt.

De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel 6.1 zijn enkele kenmerkende gegevens van de plasbrand weergegeven.

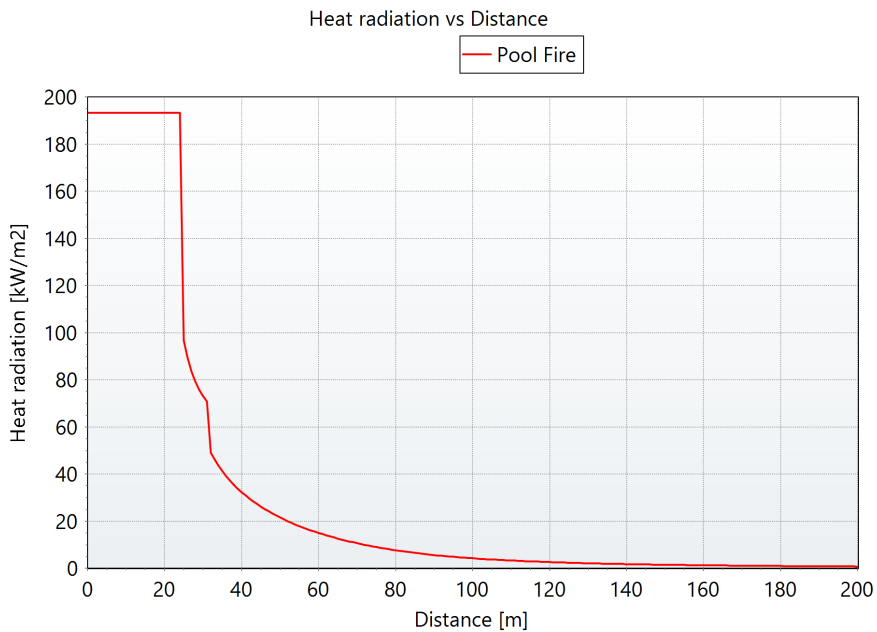
Tabel 6.1 Gegevens plasbrand

Parameter	Waarde
Plasdiameter	38 m
Vlamlengte	48 m
Vlamhoek (door wind)	38 °
Duur brand	1,5 min

In Figuur 6.1 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het schadebeeld dat is weergegeven in Tabel 6.2. Figuur 6.2 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Zijaanzicht van de vlammen en 3 stralingscontouren



Figuur 6.2 Hittestraling plasbrand

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 40	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	40	35			99
2 ^e ring	40 tot 70	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 79 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	40%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	70	10			1
3 ^e ring	70 tot 100	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 86 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	100	4			0

Conclusie

De plasbrand zal tot op 70 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

LOHC-vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (atmosferische tank) – plasbrand

Stof	LOHC
Beschrijving scenario	Tijdens een flinke aanvaring met een tanker met een LOHC (tolueen of methylcyclohexaan) ontstaat een gat en er wordt een plas op het water gevormd. Deze ontsteekt en er ontstaat een plasbrand.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Varen
Locatie	Schip op water (op stroming)
Object	Tankschip
Type houder	Atmosferische tanks
Inhoud houder	2 x 35 000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	Atmosferisch
Type incident	Gat in tank – plasbrand op water
Overige informatie	-

Voor dit scenario wordt uitgegaan van atmosferische tanks van 35 000 m³ in het ruim. De (cilindrische) tanks hebben een lengte van 40 m en doorsnede van 33 m. Door een aanvaring ontstaat een gat van 1 m doorsnede in twee tanks, halverwege hun hoogte, waardoor ongeveer de helft van iedere tank (dus in totaal de inhoud van 1 tank) op het water

terechtkomt. De LOHC vermengt niet met water, waardoor het een plas vormt op het water. Deze wordt ontstoken met als gevolg een plasbrand

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > Methylcyclohexaan (MCH) wordt als voorbeeldproduct gebruikt (deze stof heeft iets grotere effectafstanden dan toluen - zie LOHC's in scenarioboeken (NIPV, 2025).
- > Inhoud tanks: 35000 m³ (Havenbedrijf N.V. et al., 2023)
- > Uitstroom uit gat van 1 m doorsnede, halverwege de hoogte van de tanks, verdeeld over 2 tanks (gemodelleerd als één tank van 80 m lang)
- > Er wordt van uitgegaan dat alle product op het water terecht komt.

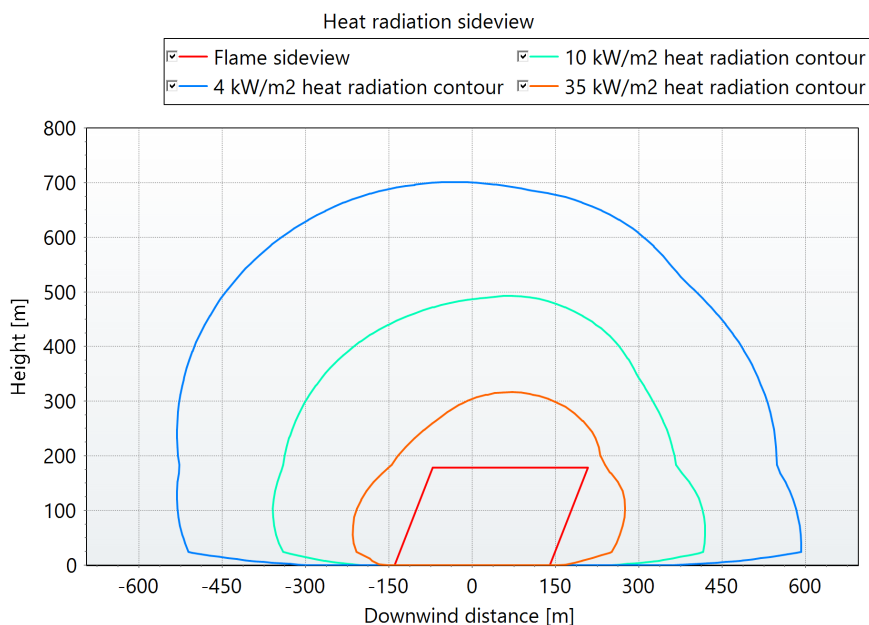
De resultaten van de berekeningen met EFFECTS (versie 12.5) zijn hieronder weergegeven. In Tabel 6.3 zijn enkele gegevens van de plasbrand weergegeven.

Tabel 6.3 Gegevens plasbrand

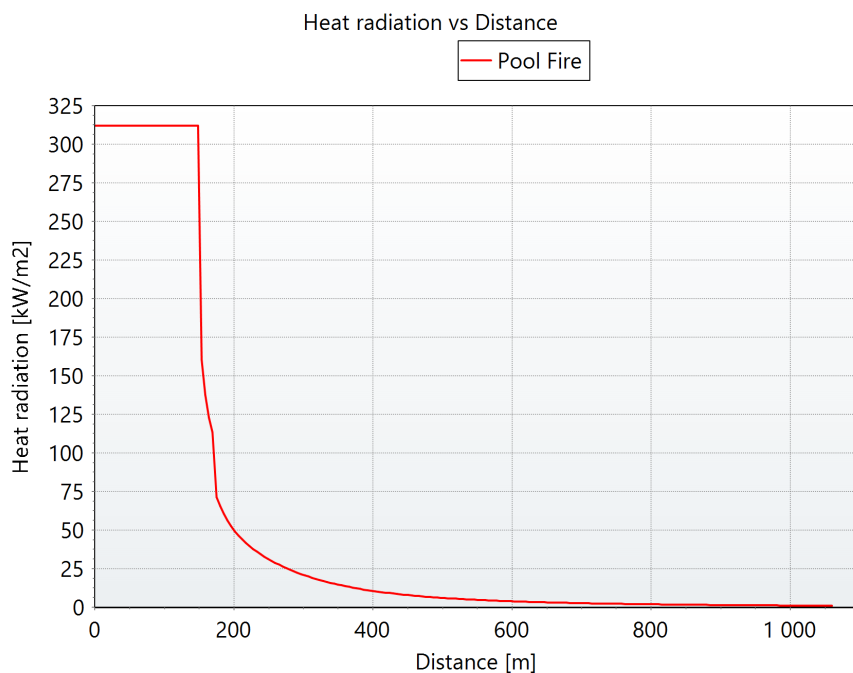
Parameter	Waarde
Plasdiameter	279 m
Vlamlengte	191 m
Vlamhoek (door wind)	21 °
Duur brand	41 min*

* Voor schadeberekeningen wordt er in het algemeen van uitgegaan dat een brand niet langer dan 30 minuten zal duren

In Figuur 6.3 zijn het zijaanzicht van de plasbrand weergegeven en enkele relevante stralingscontouren voor het shadebeeld dat is weergegeven in Tabel 6.4. Figuur 6.4 geeft het stralingsniveau als functie van de afstand tot het middelpunt van plasbrand weer, op 1,5 m hoogte, gemeten in de richting van de wind (dus 'onder' de vlam in Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Zijaanzicht van de vlammen en drie stralingscontouren



Figuur 6.4 Hittestraling plasbrand

Het schadebeeld is weergegeven in Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Schadebeeld als gevolg van warmtestraling plasbrand

Gebied	Effectafstand (meter)	Hittestraling (kW/m ²)	Schade aan objecten		% letale slachtoffers
1 ^e ring	<= 235	≥ 35	Alle brandbare materialen gaan branden.	<u>Onherstelbare schade</u>	100
Grens 1 ^e ring: 99% letaal	235	35			99
2 ^e ring	235 tot 410	35 tot 10	Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Dubbel glas breekt tot 500 meter.	<u>Gemiddelde schade</u>	40%
Grens 2 ^e ring: 1% letaal	410	10			1
3 ^e ring	410 tot 585	10 tot 4	Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 510 meter.	<u>Lichte schade</u>	0%
Grens 3 ^e ring: 1% 1e grd brw	585	4			0

Conclusie

De plasbrand zal tot op ruim 400 m schade (secundaire branden) veroorzaken. Dit kan zowel op het water als op land het geval zijn.

Bijlage 7 – Uitwerking incidentscenario's biobrandstof

Biobrandstof - vervoertankschip – kleine botsing aan de kade - fakkel

Stof	Biobrandstof (Dimethylether of DME)
Beschrijving scenario	Tijdens laden of lossen van DME breekt de laadarm en stroomt DME onder druk uit. Dit ontsteekt meteen en vormt een fakkel.
Modus	Als vervoerd product
Activiteit	Laden / lossen (600 m ³ / uur)
Locatie	Schip aan kade
Object	Tankschip met druktank
Type houder	Bolvormige druktank
Inhoud houder	6000 m ³
Temperatuur houder	9 °C
Druk houder	5,3 bar
Type incident	Afbreken laadarm – fakkel
Overige informatie	-
Bronnen	(Wikipedia, z.d.)

Uitwerking scenario

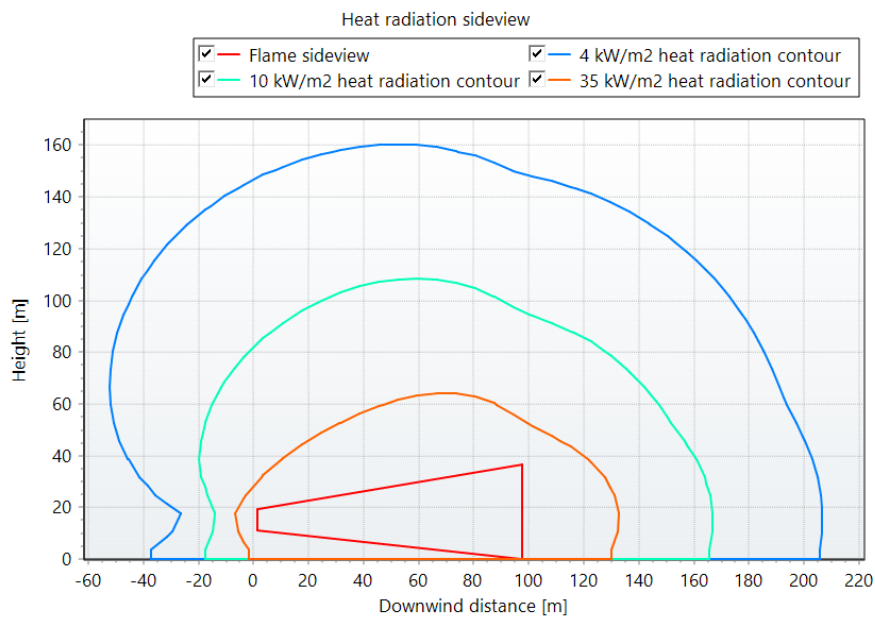
Bij omgevingstemperatuur en druk is DME een gas, maar onder verhoogde druk (vanaf circa 5 bar) kan het als vloeistof worden opgeslagen en vervoerd. DME is dan een tot vloeistof verdicht gas, net zoals LPG. De LPG-infrastructuur kan dan ook worden gebruikt voor transport en opslag van DME (ETIP, z.d.). De bij LPG behorende incidentscenario's zijn dan ook van toepassing op DME.

Het effect van een fakkelbrand wordt hier behandeld. De fakkelbrand wordt veroorzaakt doordat bij laden of lossen als gevolg van een botsing een slang of leiding afbreekt van de DME-tank. Hierdoor spuit DME uit de tank en ontsteekt direct. Er ontstaat een fakkel die blijft branden tot een ESD ingrijpt.

Invoergegevens voor EFFECTS-berekeningen:

- > Pompdebiet: 600 m³/hr (max. van pomp)
- > Uitstroomopening: 20 cm (8 inch)
- > Temperatuur: 9°C
- > Hoogte uitstromingsopening: 15 m.

In Figuur 7.1 is het zijaanzicht van de fakkel weergegeven. In Tabel 7.1 zijn de effectafstanden gegeven.



Figuur 7.1 Zijaanzicht fakkel

Tabel 7.1 Effectafstanden fakkelbrand

Parameter	Waarde
Fakkellengte	98 meter
Afstand en hoogte tot 4 kW/m ² straling	205 m
Afstand en hoogte tot 10 kW/m ² straling	165 m
Afstand en hoogte tot 35 kW/m ² straling	129 m

Conclusie

De circa 100 m lange fakkel zal secundaire branden veroorzaken op andere vaartuigen, of op land.

Biobrandstof - vervoertankschip – grote botsing tijdens het varen (druktank) – instantaan falen

Voor dit scenario zijn geen berekeningen uitgevoerd.