

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75
infodesk@tno.nl

TNO-rapport**TNO 2013 R10710****Veiligheid van aardgastransportroutes**

Datum	16 mei 2013
Auteur(s)	I.M.E. Raben J.J. Meulenbrugge H.G. Bos (AVIV)
Aantal pagina's	39 (excl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5 (A t/m E)
Opdrachtgever	Ministerie van IenM
Projectnaam	Aardgastransportroutes
Projectnummer	057.02510
Postscannummer	TNO-060-UT-2013-00387

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Aanpak	6
3	Externe veiligheidsbeleid	7
3.1	Plaatsgebonden risico en groepsrisico	7
4	Beschrijving van de situatie	9
4.1	LNG tankauto	9
4.2	LNG binnenvaartschip	10
4.3	LNG tankstation	10
4.4	LNG bunkerstation	11
4.5	Ontstekingsbronnen	12
4.6	Weercondities	13
4.7	Omgeving	13
5	Scenario's en frequenties	15
5.1	Wegtransport	15
5.2	Watertransport	15
5.3	LNG tankstation	16
5.4	LNG bunkerstation	18
6	Resultaten risicoberekeningen vaste installaties	21
6.1	LNG tankstation	21
6.2	LNG bunkerstation	22
7	Resultaten risicoberekeningen transportroutes	25
7.1	Inleiding	25
7.2	Eigenschappen en modellering van LNG	25
7.3	Vervoer over de weg	26
7.4	Binnenvaart	28
7.5	Spoor	29
8	Beschouwing domino effecten op gecombineerde tankstations	31
8.1	Domino effecten	31
8.2	Hoe domino effecten te voorkomen	31
8.3	Aanpassingen in de regelgeving	32
9	Discussie en conclusies	33
9.1	Vaste LNG installaties	33
9.2	LNG transport	34
9.3	Samenvattende conclusie	36
10	Referenties	37
11	Ondertekening	39

Bijlage(n)

- A Beschrijving situatie
- B Faalfrequenties en kansen LNG tankstation
- C Faalfrequenties en kansen LNG bunkerstation
- D Invoerparameters en schadeafstanden LNG tankstation
- E Invoerparameters en schadeafstanden LNG bunkerstation

1 Inleiding

Aardgas kan in verschillende vormen als primaire bron van energie voor de transportsector worden ingezet. Het meest voor de hand liggend is CNG en LNG. Ook door omzetting van aardgas naar GTL (Gas To Liquid) kan aardgas gemakkelijker als primaire energiebron voor transport worden ingezet, omdat het direct dieselbrandstof kan vervangen. Voor de toekomst zijn ook nog andere vormen denkbaar, zoals dimethylether (DME) en waterstof. Elektriciteit dat nu voor verkeer wordt ingezet is ook voor een belangrijk deel met aardgas geproduceerd. Doel van het gehele onderzoeksproject is om verschillende brandstofroutes voor toepassing van aardgas als primaire energiebron voor transport met elkaar te vergelijken.

De doelstelling voor het deel veiligheid in deze studie is een inschatting te maken van de externe veiligheid van de distributieketen en - infrastructuur voor LNG bedoeld als brandstof voor schepen en wegvoertuigen, en het identificeren van mogelijke veiligheidsknelpunten in deze keten.

Een tweede afgeleide doelstelling is het benoemen van eventuele kennislacunes die een definitieve bepaling van de veiligheidsrisico's nog niet mogelijk maken.

In het volgende hoofdstuk wordt de aanpak en doelstelling van het project besproken. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de algemene aanpak voor risicoberekeningen in Nederland beschreven.

Hoofdstuk 4 geeft de beschrijvingen van de LNG installaties en de LNG voertuigen. Hoofdstuk 5 geeft de scenario's en faalfrequenties voor de incidenten die in beschouwing worden genomen.

In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de vaste installaties weergegeven en in hoofdstuk 7 de eerste inzichten verkregen voor het transportnet (basisnet) berekend met RBM II met de voorbeeldstof LPG in plaats van LNG.

Hoofdstuk 8 geeft vervolgens een korte kwalitatieve beschouwing op eventuele dominorisico's wanneer op bestaande tankstations LNG zou worden toegevoegd.

Hoofdstuk 9 bevat de discussie, conclusies en aanbevelingen.

2 Aanpak

De potentiële risico's zullen bepaald worden door middel van kwantitatieve risico analyse (QRA) conform de Nederlandse regelgeving (BEVI). Daarbij wordt gebruik gemaakt van alle geëigende hulpmiddelen en richtlijnen, in de versies zoals deze ten tijde van de uitvoering van dit project beschikbaar zijn (november 2012):

1. de rekentool SAFETI-NL [DNV, 2009];
2. de rekentool RBMII versie 2.0;
3. de handleiding risicoberekeningen inrichtingen (HARI) [RIVM, 2009];
4. de concept rekenmethodiek voor LNG tankstations [RIVM, 2012];
5. de QRA uitgevoerd door DNV voor het Rotterdams Havenbedrijf voor LNG bunkeractiviteiten in de haven [DNV, 2012];
6. de concept handleiding risicoanalyse transport (HART) [Min I&M, 2011];
7. Concept PGS 33-1 voor LNG tankstations [NEN, okt. 2012];

Deze hulpmiddelen en richtlijnen zijn echter niet allemaal specifiek toegesneden op LNG. Een officiële PGS voor LNG bunkerstations ontbreekt bijvoorbeeld evenals een typische uitvoeringsvorm voor een LNG bunkervaartuig en faalfrequenties voor LNG apparatuur. Ook ontbreken de specifieke scenario's en modellering voor de risico's van het transport van LNG.

Daar waar gegevens ontbreken m.b.t. technische uitvoeringsvormen van installaties, van schepen, van de specifieke activiteiten bij bunkeren, faalfrequenties en de rekenwijze etc., zullen voor dit project conservatieve aannames worden gedaan. Dit leidt in dit rapport tot conservatieve risico-afstanden waarbij de werkelijke risico's op basis van nieuwe, meer gedetailleerde of betere gegevens naar verwachting kleiner zullen zijn.

De coördinatie van de veiligheidsstudie en de risicoschattingen voor de vaste installaties zijn uitgevoerd door TNO, de risicoverkenning voor het basisnet weg en water is uitgevoerd door AVIV.

3 Externe veiligheidsbeleid

In dit hoofdstuk wordt het externe veiligheidsbeleid in Nederland beschreven.

3.1 Plaatsgebonden risico en groepsrisico

De externe veiligheid rondom installaties en transportassen met gevaarlijke stoffen dient conform het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen [Min. VROM, 2004] en de circulaire Risico Normering Vervoer van Gevaarlijke Stoffen (RNVGS, [Min I&M, 2012]) te worden getoetst aan het plaatsgebonden risico (PR) en het groepsrisico (GR).

Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat een persoon dodelijk wordt getroffen door een ongeval met gevaarlijke stoffen indien deze persoon zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt. Het plaatsgebonden risico wordt op een kaart weergegeven door middel van zogenaamde iso-risico contouren. Dit zijn lijnen die punten met dezelfde kans op overlijden met elkaar verbinden. De PR 10^{-6} /jaar contour (kans op overlijden van eens in de miljoen jaar) geldt als grenswaarde voor kwetsbare objecten. Binnen de 10^{-6} /jaar contour mogen geen kwetsbare objecten aanwezig zijn. Voor beperkt kwetsbare objecten geldt de 10^{-6} /jaar contour als een richtwaarde. De definitie voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten is opgenomen in de circulaire RNVGS [Min I&M, 2012] en het BEVI [RIVM, 2009]. In grote lijnen komt het er op neer dat kwetsbare objecten gebouwen zijn waar mensen zich gedurende langere tijd bevinden en/of het verblijf van kwetsbare en/of grote groepen personen betreft (zoals woningen, verpleeghuizen, scholen, ed.).

Groepsrisico

Het groepsrisico beschouwt de aanvaardbaarheid van grote rampen met een kleine kans. Het groepsrisico wordt bepaald door de cumulatieve kans per jaar dat in één keer een groep van 10 of meer personen zal overlijden als gevolg van een ongeval tijdens de beschouwde activiteit. Bij dit risico wordt dus rekening gehouden met personen die zich in de buurt van een inrichting met gevaarlijke stoffen of van een traject van een transportroute bevinden; hoe meer mensen in de omgeving van de gevaarlijke activiteit, des te hoger het groepsrisico.

Het Nederlandse beleid heeft geen hard criterium voor het GR; er is een oriënterende waarde, als door bepaalde activiteiten het GR significant toeneemt en/of boven de oriënterende waarde komt moet dit verantwoord worden.

In deze studie is het GR niet meegenomen omdat hiervoor de actuele omgeving van een transportroute of van een tankstation met aantallen en plaatsen van bewoners bekend moet zijn. Omdat in deze studie niet met concrete locaties of transportroutes wordt gerekend is die omgeving niet bekend.

Voor de transportroutes kan eventueel in een vervolgstudie, op basis van de omgevingskenmerken van bestaande knelpunten in het basisnet, een berekening worden uitgevoerd die inzicht geeft in de mate van toename van het GR op die locaties.

Noot:

Binnen het ministerie van Infrastructuur en Milieu wordt nagedacht over 'modernisering omgevingsveiligheid'. Het beleid externe veiligheid (omgevingsveiligheid) zal straks een plek gaan krijgen in de nieuwe omgevingswet. Hiervoor zal eerst een moderniseringsslag nodig zijn in relatie tot de uitgangspunten van de omgevingswet. Het huidige beleid is de afgelopen decennia tot stand gekomen en zorgt ervoor dat waar gewerkt wordt met gevaarlijke stoffen er aandacht is voor de mogelijke gevolgen op de omgeving. Tegelijkertijd wordt het beleid in de samenleving als complex ervaren, mede door lastig uitlegbare normen en de complexe manier waarop risico's worden berekend. Bezien moet worden waar het beleid transparanter en eenvoudiger kan, met ook meer oog voor effecten op de omgeving als het toch mis gaat (bv in de vorm van vaste afstanden).

Of en zo ja, welke consequenties bovenstaande heeft voor de uitkomsten van deze studie is nog niet te overzien. Vooralsnog moet worden uitgegaan van de huidige normen en wijze van risicoberekeningen en zullen de conclusies en aanbevelingen in die context moeten worden beoordeeld.

4 Beschrijving van de situatie

Voor het uitvoeren van de berekeningen zijn de configuratie en de condities van de LNG houdende installaties van belang. Hiertoe zijn binnen dit project een aantal referentiesituaties gedefinieerd. Deze worden beschreven in dit hoofdstuk.

LNG tankstation en wegtransport

Voor het LNG tankstation en wegtransport is zo veel mogelijk aansluiting gezocht met de referentiesituaties zoals deze gedefinieerd zijn in de concept rekenmethodiek LNG tankstations [RIVM, 2012]. Het tankstation wordt beschreven in paragraaf 4.3 en het wegtransport/ de tankauto in paragraaf 4.1.

LNG bunkerstation en watertransport

Het bunkeren van LNG kan op verschillende manieren plaats vinden. Bunkeren is mogelijk vanuit een opslagtank, een bunkerschip (groot/ klein), een tankauto of een bunkerponton. Indien er vanuit een schip gebunkerd wordt, is er ook sprake van het laden van het bunkerschip met LNG. Daarnaast zijn er verschillende type schepen die kunnen bunkeren: binnenvaartschip, zeeschip (short sea, feeder, very large crude carrier, etc), service schepen, etc.

Dit project heeft betrekking op de externe veiligheid als gevolg van het transport en gebruik van LNG en is gericht op de risico's in Nederland. Voor het vervoer van LNG over water zal gebruik gemaakt gaan worden binnenvaartschepen.

Daarom wordt voor het bunkerstation voor het type cargoschip uitgegaan van een binnenvaartschip- dat sluit aan bij de verder te beschouwen LNG transportketen. Voor het bunkerschip is gekozen voor een klein LNG bunkerschip.

Voor de referentiesituaties is deels uitgegaan van de uitgangspunten zoals gehanteerd in [DNV, 2012].

Een nadere beschrijving van het bunkerstation wordt gegeven in paragraaf 4.4 en van binnenvaartschip/ watertransport in paragraaf 4.2.

4.1 LNG tankauto

In overeenstemming met [RIVM, 2012] is uitgegaan van een dubbelwandig geïsoleerde druktank met een volume van 40 m³, waarbij de temperatuur -150 °C is. De hoeveelheid LNG in een tankauto bedraagt hiermee ca. 20 ton LNG. Voor het wegtransport is uitgegaan van een totaal transportvolume van 0,9 Mton LNG per jaar. De verdeling over de transportroutes en het aantal tanktrucks voor LNG is benaderd door deze naar rato gelijk te stellen aan het aantal dieseltransporten in Nederland. Voor het algemene beeld lijkt dit een goede benadering. Deze benadering is onvoldoende specifiek om daaruit voor alle concrete wegvakken definitieve conclusies te trekken. De aanpak voor de berekeningen en de resultaten zijn nader beschreven in hoofdstuk 7. Een uitgebreidere beschrijving van het voertuig en de scenario's is weergegeven in bijlage A.1.

4.2 LNG binnenvaartschip

Het binnenvaartschip wordt gebruikt voor het transport van LNG (zowel de levering van LNG aan het bunkerstation als het binnenlands transport). De inhoud van de cargo tank(s) loopt uiteen van enkele honderden m³ tot 750 m³. De precieze inhoud van een tankschip is minder relevant voor de risicoberekeningen, de grootte van de individuele tanks op een schip is van groter belang. Voor deze studie is uitgegaan van een tankgrootte van 380 m³. Voor de temperatuur van het LNG is -150 °C aangenomen. Het betreft dubbelwandige tankers, het aantal binnenvaarttransporten is berekend op 2093 per jaar. Dit is gebaseerd op de aanname van een totale LNG transportstroom over het water van 1,5 Mton per jaar. De resultaten van de risicoberekeningen voor het binnenvaarttransport zijn weergegeven in hoofdstuk 7.

Daarnaast zijn er binnenvaartschepen die LNG als motorbrandstof gebruiken. Deze schepen komen bunkeren bij een bunkerstation. Het volume van de brandstoftank is maximaal enkele tientallen m³. Deze schepen zijn niet meegenomen in de risicoberekeningen voor het binnenvaarttransport, deze schepen zijn wel van belang voor de berekening van de risico's van de bunkerstations.

4.3 LNG tankstation

Naast de tankauto (voor beschrijving zie paragraaf 4.1) kunnen de volgende installaties aanwezig zijn op het tankstation:

- Opstelplaats tankauto met losslang/ arm
- Vulpunt en vulleiding (vullen opslagtank)
- Bovengrondse opslagtank
- Dampretoursysteem
- Conditioneringsinstallatie (buffervat + warmtewisselaar)
- Afleverslang (tanken vrachtauto)

Voor de uitgangspunten van het tankstation is zoveel mogelijk aangesloten bij [RIVM, 2012]. Hieronder volgt een korte beschrijving van de uitgangspunten. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in bijlage A.

Een doorzet van 5 000 m³ per jaar is aangenomen, met een losdebiet van 500 l/min en een bovengrondse tank van 40 m³. In overeenstemming met de conceptmethodiek voor LNG-tankstations is aangenomen dat de temperatuur in de tank -150°C is, als gevolg van warmte-inlek bij de tussenopslag en tijdens het transport [RIVM, 2012].

Uitgegaan is van een vulgraad van 95% bij afsteldruk van de veerveiligheid van 10 bara. De opgeslagen hoeveelheid LNG is dan 13 640 kg bij -124 °C. Dat komt overeen met 33.7 m³ (85%) bij -150°C (2.4 bara).

Er wordt vanuit gegaan dat 25 m³ gelost wordt: de LNG opslagtank bevat altijd een restant LNG en er moet rekening gehouden worden met de uitzetting van LNG bij opwarming in de tank [RIVM, 2012].

Voor alle pompen is uitgegaan van een canned pump (zonder pakking).

Er zijn twee buffervaten met elk een capaciteit van 10 m³. De opslagdruk is 9 en 18 barg. Aangenomen is dat er evenveel LNG op 9 bar als op 18 bar afgeleverd wordt. Het afleverdebiet is 160 l/min.

Dampvoerende onderdelen zijn niet beschouwd in de QRA omdat deze een laag risico hebben ten opzichte van de vloeistofvoerende onderdelen [RIVM, 2012].

Naast een tankstation met alleen LNG is ook een tankstation beschouwd waarbij ook LPG aanwezig is. Het rekenbestand voor een LPG tankstation is van het RIVM ontvangen en ongewijzigd toegevoegd aan het LNG tankstation. Voor een uitgebreide beschrijving van het tankstation wordt verwezen naar [RIVM, 2008].

Hieronder zijn de belangrijkste punten samengevat:

- Ondergrondse opslagtank met inhoud 9 200 kg- BLEVE scenario wordt niet meegenomen;
- Doorzet: 1 000 m³ /jr;
- 70 verladings per jaar, à 0.5 uur aanwezigheid tankauto.

4.4 LNG bunkerstation

Twee type bunkerstations worden beschouwd:

- Landinrichting zonder terminal faciliteit: alleen voor het bunkeren van binnenvaartschepen, niet voor het laden van binnenvaartschepen en/ of LNG-tankauto's.
- Landinrichting met terminal faciliteit: zowel het bunkeren van binnenvaartschepen als het laden van binnenvaartschepen en tankauto's.

De volgende tabel toont de activiteiten die per type bunkerstation kunnen plaatsvinden.

Tabel 4-1 Activiteiten op een bunkerstation

Activiteit	Landinrichting zonder terminal faciliteit (klein bunkerstation)	Landinrichting zonder terminal faciliteit (groot bunkerstation)
Vullen LNG-opslagtank (d.m.v. binnenvaartschepen)	x	x
Laden LNG bunkerschip	x	x
Bunkeren LNG binnenvaartschip	x	x
Laden LNG binnenvaarttanker		x
Laden tankauto		x

Naast de twee schepen (bunkerschip en binnenvaartschip) kunnen de volgende installaties aanwezig zijn op het bunkerstation:

- losplaats LNG-tankschip
- dampretoursysteem
- verlaadpomp
- losslang/ arm binnenvaartschip
- vulleiding opslagtank
- bovengrondse opslagtank
- pomp

- losslang
- laadplaats LNG binnenvaartuig
- laadplaats LNG tankauto

Evenals voor de aanpak van het LNG tankstation zijn de dampvoerende onderdelen niet beschouwd in de QRA.

Voor het uitvoeren van de risicoberekeningen zijn de configuratie en de condities van het bunkerschip, binnenvaartschip, pomp en de opslag van belang. Hiertoe zijn binnen dit project een aantal referentiesituaties/ vervoersmiddelen gedefinieerd. Hieronder volgt een korte beschrijving van de installaties. Bijlage A bevat de volledige beschrijving van de installaties.

Voor sommige gegevens is [DNV, 2012] als bron gebruikt. Indien in het DNV rapport geen gegevens beschreven waren is uitgegaan van het voorstel voor de PGS33 rekenmethodiek of zijn er aannames gedaan.

Een beschrijving van het binnenvaartschip is gegeven in paragraaf 4.2.

Uitgangspunt is 160 keer het laden van het bunkerschip (ca. 3 keer per week). Dit resulteert in een doorzet van 60 800 m³ LNG per jaar. Uitgaande van een tank inhoud van 380 m³ per tank (2 tanks per binnenvaartschip) geeft dit 190 keer het vullen van de opslagtank. Het debiet voor de levering van LNG aan de terminal, het bunkerschip en bij ship to ship transfer STS) is 500 m³/h. Het bunkerdebiet is 80 m³/h.

Net als voor het tankstation is uitgegaan van pompen zonder pakking (canned pumps).

De opslagtank heeft een volume van 1 000 m³ en ook hier is uitgegaan van een opslagtemperatuur van -150 °C.¹

Voor het laden van de LNG tankauto is aangenomen dat de configuratie (debieten, leiding diameters, lengtes etc.) vergelijkbaar is met de configuratie van de losslang op een LNG tankstation.

4.5 Ontstekingsbronnen

In de omgeving van een ongeval kunnen ontstekingsbronnen aanwezig zijn. Deze zijn van invloed op de grootte van schade-afstanden.

Voor dit project is geen rekening gehouden met ontstekingsbronnen.

¹ In [DNV, 2012] wordt uitgegaan van -162°C.

4.6 Weercondities

Voor de scenario's van vrijkomen van gevaarlijke stoffen is de verspreiding van deze stoffen naar de omgeving van belang. De verspreiding van een gaswolk is, onder andere, afhankelijk van de heersende stabiliteitsklasse, de windsnelheid en de windrichting.

Voor de meteorologische data is voor deze studie uitgegaan van meteostation Nederland. De omgevingstemperatuur is 12°C voor de dag en 8 °C voor de nacht, conform [RIVM, 2009].

4.7 Omgeving

Voor de verspreiding van stoffen in de omgeving is naast de weerscondities ook de ruwheid van de omgeving van belang. Een gaswolk zal sneller verdunnen in een omgeving met een hoge ruwheid, zoals het geval is bij hoge gebouwen in een stedelijke omgeving. Is de omgeving vlak (vb grasland of water) dan zal de wolk minder snel verdunnen.

Voor deze studie is de standaard ruwheidslengte van 0.3 m gehanteerd [RIVM, 2009].

Voor de scenario's van het bunkerstation en het watertransport is uitgegaan van een diepe rivier/ kanaal als ondergrond waarop het LNG zou kunnen uitstromen. Voor de overige scenario's is geen specifieke ondergrond gehanteerd.

5 Scenario's en frequenties

In dit hoofdstuk worden de gehanteerde scenario's en frequenties gepresenteerd. Per type risicobron (transport, bunkerstation, tankstation) is er een paragraaf met daarin de specifieke installaties uitgewerkt.

De exacte lay-out voor zowel het bunkerstation als het tankstation zijn momenteel niet bekend. Daarom zijn de verschillende installaties binnen de inrichting allemaal geplaatst op het zelfde coördinaat: d.w.z. dat er geen rekening is gehouden met de ruimtelijke spreiding van de installaties ten opzichte van elkaar.

5.1 Wegtransport

Zoals genoemd in hfst 4.1 is het transportvolume voor deze studie gesteld op 0,9 Mton LNG per jaar. De verdeling van de transportstromen is analoog verondersteld aan de huidige dieseltransportstromen. Voor de berekeningen van de transportrisico's is RBM II gebruikt en is zowel voor de faalfrequenties als voor de scenario's de Handleiding Risicoberekeningen Transport (HART) [Min I&M, 2011] als uitgangspunt genomen.

Deze handleiding en de rekentool zijn specifiek toegesneden op de Nederlandse situatie. Omdat het vervoer van LNG nieuw is in Nederland en LNG dus tot op heden niet in grote hoeveelheden wordt vervoerd ontbreken in het rekenmodel de specifieke scenario's en faalfrequenties voor LNG. Om die reden is de stofcategorie GF3 (voorbeeldstof propaan) gebruikt. Het is belangrijk te realiseren dat LNG andere stoffeigenschappen heeft en onder andere condities wordt vervoerd. Zo kan LNG niet (of zeer beperkt) BLEVE-en en wordt LNG in dubbelwandige tankauto's vervoerd (in tegenstelling tot propaan). Dit maakt de benadering met GF3 / propaan een conservatieve benadering.

Tabel 5-1 toont de scenario's en basisfaalfrequenties zoals deze zijn gebruikt voor de LNG risicoberekeningen.

Tabel 5-1 LPG tankauto- transportsenario's

	Scenario's	Basisfaalfreq. (-/vtg/km)	Bron/ opmerking
Tankauto	Instantaan falen	$8.3 \cdot 10^{-8} * 0.052 * 0.3$ * 0.35	[Min I&M, 2011]
	Gat in tank (50 mm)	$8.3 \cdot 10^{-8} * 0.052 * 0.3$ * 0.65	[Min I&M, 2011]

Bijlage B geeft een meer uitgebreide beschrijving van de gehanteerde scenario's en faalfrequenties.

5.2 Watertransport

Zowel voor de faalfrequenties als voor de scenario's is de voorgeschreven Handleiding Risicoberekeningen Transport [Min I&M, 2011] als uitgangspunt genomen.

N.B. In een risicoanalyse voor bunkerstations in Rotterdam [DNV, 2012] worden voor enkele situaties zowel afwijkende scenario's als afwijkende frequenties gehanteerd. Doordat deze scenario's en frequenties niet nader zijn beoordeeld of gevalideerd zijn deze niet gebruikt in deze studie. Het benadrukt echter de noodzaak om tot een eenduidige set van scenario's en faalfrequenties te komen waarop de risicoanalyses voor LNG installaties moeten worden gebaseerd.

Tabel 5-2 toont de scenario's voor het transport over water zoals gebruikt in deze studie. Bijlage C geeft een gedetailleerdere beschrijving van de scenario's en faalfrequenties voor het bunkerstation en bijlage E geeft de gehanteerde invoerparameters.

Tabel 5-2 LPG binnenvaartschip- transportsenario's

Scenario's		Bron/ opmerking
Dubbelwandige gastanker	Groot gat in tank (150 mm, 1800 s)	[Min I&M, 2011]
	Klein gat in tank (75 mm, 1800 s)	[Min I&M, 2011]

5.3 LNG tankstation

De volgende tabel toont de scenario's en de basisfaalfrequenties. Bijlage A bevat de uitgebreide beschrijving van de gehanteerde frequenties, per onderdeel. Onder de tabel staan enkele opmerkingen betreffende de scenario's en frequenties.

Tabel 5-3 LNG tankstation- scenario's en frequenties

Scenario's		Basisfaal- frequentie	Bron/ opmerking
Tankauto	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2012]
	Falen grootste aansluiting	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2012]
	Instantaan falen a.g.v. brand tijdens verlading (warme BLEVE)	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /h	[RIVM, 2012]
	Instantaan falen a.g.v. brand (warme BLEVE)	$2 \cdot 10^{-6}$ /50h	[RIVM, 2012]
	Instantaan falen a.g.v. externe impact (koude BLEVE)	$2.3 \cdot 10^{-7}$ /50h	[RIVM, 2012]
Pomp	Breuk pomp	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2012]
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2012]
Laad/ loslang	Breuk slang	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	[RIVM, 2012]
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	[RIVM, 2012]
Leiding	Breuk leiding	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	[RIVM, 2012]
	Lek	$5 \cdot 10^{-6}$ /jr	[RIVM, 2012]
Opslagtank	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2012]
	10 min. uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2012]
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2012]

De mogelijkheid van een BLEVE van de tankauto als gevolg van een externe impact (koude BLEVE) evenals een BLEVE van de tankauto als gevolg van een externe brand (brand tijdens verlading en/of brand in de nabijheid van de tankauto) zijn beschouwd.

Voor de opslagtanks zijn warme BLEVE's niet beschouwd. De LNG opslagtank is evenwel beschouwd als bovengronds (wel koude BLEVE) en de LPG tank als ondergronds (geen koude BLEVE).

Door het vervoer van LNG in dubbelwandige tanks is de kans op lekragen als gevolg van een externe impact mogelijk kleiner dan bij LPG in een enkelwandige druktank (met coating). Door gebrek aan gegevens hierover is echter met de standaard LPG faalfrequenties gerekend.

NB. door de lagere wanddikte van de LNG tank is een lagere kwetsbaarheid, ondanks de dubbelwandige tank nog niet zeker.

In deze studie is aangenomen dat de tankauto dubbelwandig geïsoleerd is, en dat de isolatie een zelfde werking heeft als de coating van een LPG tankauto, waardoor de kans op een warme BLEVE een factor 20 lager is dan voor een niet geïsoleerde tankauto.

Voor de faalkans voor de composiet laad/losslang is uitgegaan van de faalfrequentie zoals deze gehanteerd is in de conceptrekenmethodiek voor het LNG tankstation: een factor 10 lager dan de standaard faalkans voor een BRZO-inrichting.

Bij breuk van de losslang blijven de pompen doorpompen met het normale pompdebiet: sommige pompen hebben een vernauwing in de leiding na de pomp, waardoor de tegendruk niet wegvalt bij een leidingbreuk [RIVM, 2012].

Tweezijdige uitstroming is meegenomen voor de volgende scenario's:

- Breuk losslang
- Breuk vulleiding
- Breuk leiding pomp opslagtank- buffervat

Aangenomen is dat bij breuk van de pomp (falen toevoerleiding pomp) er geen terugstroming optreedt vanuit de volgende installatie omdat de pomp de terugstroming belemmert.

Alle onderdelen en installaties zijn geplaatst op het coördinaat (0,0); er is dus geen rekening gehouden met de ruimtelijke spreiding van de installaties.

Naast een tankstation met alleen LNG is ook een tankstation beschouwd waarbij ook LPG aanwezig is (cumulatie van risico's). Het rekenbestand voor een LPG tankstation is van het RIVM ontvangen en ongewijzigd toegevoegd aan het LNG tankstation. Ook voor het LPG tankstation zijn alle installaties op het coördinaat (0,0) geplaatst.

De basisfaalfrequenties en scenario's staan hieronder weergegeven. Voor een uitgebreide beschrijving van de gehanteerde frequenties wordt verwezen naar [RIVM, 2008].

Tabel 5-4 LPG tankstation- scenario's en frequenties

	Scenario's	Basisfaal-frequentie	Bron/opmerking
Tankauto	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	Falen grootste aansluiting	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. brand tijdens verlading (warme BLEVE)	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /h	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. brand (warme BLEVE) ²	$2 \cdot 10^{-6}$ /50h	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. externe impact (koude BLEVE) ²	$2.3 \cdot 10^{-7}$ /50h	[RIVM, 2008]
Pomp	Breuk pomp	$1 \cdot 10^{-4}$ /jr	[RIVM, 2008]
	Lek pomp	$4.4 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2008]
Laad/losslang	Breuk slang	$4 \cdot 10^{-6}$ /h	[RIVM, 2008]
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	[RIVM, 2008]
Opslagtank	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	10 min. Uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2008]

De belangrijkste verschillen tussen het LPG tankstation en het LNG tankstation zijn:

- Voor de BLEVE van de tankauto a.g.v. brand in de omgeving of door externe beschadiging wordt bij LPG rekening gehouden met 3 vulgraden omdat de tankauto niet altijd maximaal beladen is bij aankomst op een tankstation: 1 wagen inhoud kan meerdere tanks bevoorraden. Voor LNG is met 1 vulgraad gerekend.
- De LNG opslagtank is bovengronds, de LPG tank ondergronds.
- Voor LPG wordt uitgegaan van een pomp met pakking, voor LNG zonder pakking. Deze laatste heeft een lagere faalfrequentie.
- Voor LNG wordt uitgegaan van een composiet slang, voor LPG van een metalen slang. De composiet slang heeft een 10 keer lagere faalfrequentie.
- De doorzet van het LNG tankstation is 5 keer groter dan van het standaard LPG tankstation omdat alleen vrachtwagens tanken.

5.4 LNG bunkerstation

Zowel voor de faalfrequenties als voor de scenario's is de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [RIVM, 2009] als uitgangspunt genomen.

De gedetailleerde beschrijving van de gehanteerde frequenties is gegeven in A.

Conform [RIVM, 2009] wordt externe beschadiging tgv scheepsbotsingen niet beschouwd: de schepen liggen in een haven, buiten de transportroute, waardoor de kans op een botsing die leidt tot een uitstroming verwaarloosbaar klein is.

Voor het falen van de losslang en pompen wordt aangenomen dat de schepen voorzien zijn van een emergency shutdown system (ESD) met een faalkans van 0.001 en een reactietijd van 20 s.

² Voor LPG wordt rekening gehouden met 3 verschillende vulgraden van de tankauto.

Bij de breuk van de losslang blijven de pompen doorpompen met het normale pompdebiet: sommige pompen hebben een vernauwing in de leiding na de pomp, waardoor de tegendruk niet wegvalt bij een leidingbreuk [RIVM, 2012].

Aangenomen is dat er tweezijdige uitstroming optreedt bij de volgende scenario's:

- Breuk losslang binnenvaartschip
- Breuk vulleiding opslagtank
- Breuk laadslang bunkerschip
- Breuk bunkerslang binnenvaartschip
- Breuk laadslang binnenvaartschip

Aangenomen is dat bij breuk van de pomp (falen toevoerleiding pomp) er geen terugstroming optreedt vanuit de volgende installatie omdat de pomp de terugstroming belemmert.

Voor de bovengrondse opslagtank is in de QRA geen rekening gehouden met het falen van de tank als gevolg van een externe impact of het optreden van een warme BLEVE.

Tabel 5-5 LNG bunkerstation scenario's

	Scenario's	Basisfaal-frequentie	Bron/opmerking
Pomp	Breuk pomp	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2009]
	Lek pomp- 10% van diameter	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2009]
Slang	Breuk slang	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	[RIVM, 2012]
	Lek- 10% van diameter	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	[RIVM, 2012]
Leiding	Breuk slang	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	[RIVM, 2009]
	Lek- 10% van diameter	$5 \cdot 10^{-6}$ / jr	[RIVM, 2009]
Opslagtank	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2009]
	10 min. uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2009]
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	[RIVM, 2009]
Tankauto	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	Falen grootste aansluiting	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. brand tijdens verlading (warme BLEVE)	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /h	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. brand (warme BLEVE)	$2 \cdot 10^{-6}$ /50h	[RIVM, 2008]
	Instantaan falen a.g.v. externe impact (koude BLEVE)	$2.3 \cdot 10^{-7}$ /50h	[RIVM, 2008]

Voor het grote bunkerstation is aangenomen dat

- 50% van het LNG gebruikt wordt voor het bunkeren;
- 25% voor het laden van een LNG binnenvaartschip (STS);
- 25% voor het laden van tankauto's.

In [DNV, 2012] worden voor enkele situaties zowel afwijkende scenario's als frequenties gehanteerd. De belangrijkste verschillen worden hieronder benoemd.

- de faalscenario's voor bunkerslangen zijn:
 - 5 mm gat met frequentie $1.5 \cdot 10^{-6}/h$
 - 25 mm gat met frequentie $1.5 \cdot 10^{-6}/h$
 In deze studie is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende lek diameters. De totale faalfrequentie in de DNV-studie ($3 \cdot 10^{-6}/h$) is ca. een factor 10 kleiner dan de in deze studie gehanteerde lek frequentie ($4 \cdot 10^{-5}/h$).
 - breuk slang met faalfrequentie $3.4 \cdot 10^{-7}/h$. Deze faalfrequentie is iets kleiner dan de in deze studie gehanteerde frequentie ($4 \cdot 10^{-7}/h$).

De door DNV gehanteerde scenario's en frequenties zijn volgens DNV representatief voor slang falen, gebaseerd op een ARF document³.

- DNV houdt rekening met 1 scenario voor het falen van de LNG-tank van het bunkerschip: gat van 250 mm. De frequentie van dit scenario is afhankelijk van de verkeersintensiteit en de kans op een botsing tussen een passerend schip en het bunkerschip. De kans op het falen van de LNG tank a.g.v. een scheepsbotsing is $2.9 \cdot 10^{-4}/jr$ voor een hoge verkeersintensiteit, $5.0 \cdot 10^{-5}/jr$ voor lage verkeersintensiteit en $2.3 \cdot 10^{-7}/jr$ voor een zeer lage verkeersintensiteit. Deze cijfers zijn gebaseerd op volcontinue aanwezigheid van het bunkerschip.
- Ten slotte wordt door DNV ook nog het loskoppelen van de bunkerslang a.g.v. een scheepsbotsing meegenomen. Ook de frequentie van dit scenario is afhankelijk van de verkeersintensiteit en de kans op een botsing. De kans op het falen van de bunkerslang a.g.v. een scheepsbotsing is $1.5 \cdot 10^{-3}/jr$ voor een hoge verkeersintensiteit, $3.8 \cdot 10^{-4}/jr$ voor lage verkeersintensiteit en $6.8 \cdot 10^{-6}/jr$ voor een zeer lage verkeersintensiteit. Deze cijfers zijn gebaseerd op volcontinue aanwezigheid van het bunkerschip.
- In de DNV studie worden uitsluitend scenario's met betrekking tot het bunkeren meegenomen: scenario's voor de opslag etc. worden niet beschouwd. Er wordt wel onderscheid gemaakt tussen verschillende bunkerconfiguraties (bunkeren met een klein bunkerschip, een groot bunkerschip, met een tankauto met een bunkerponton en ship-to-ship transfer (STS)) en verschillende scheepvaartintensiteiten.

³ ARF document T14 rev 1; process equipment failure frequencies for transfer equipment, DNV, Høvik, 1999.

6 Resultaten risicoberekeningen vaste installaties

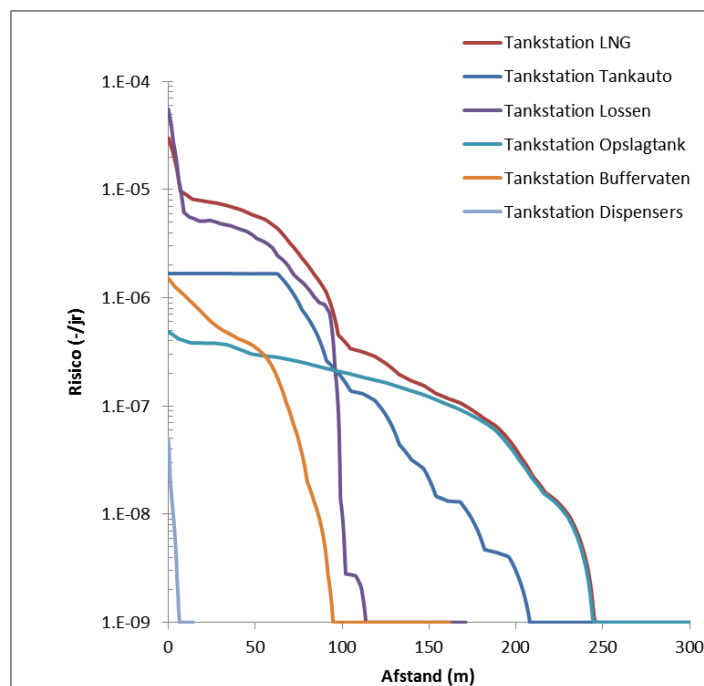
Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de risicoberekeningen voor de inrichtingen. Hierbij wordt het plaatsgebonden risico gepresenteerd in de vorm van een transect (plaatsgebonden risico afgezet tegen de afstand, PR(x)-grafiek). De coördinaat van de inrichting (0,0) is hierbij het begin van de transect (x=0), waarbij vervolgens in noordelijke richting de transect getrokken wordt.

6.1 LNG tankstation

Figuur 6-1 toont het plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor het LNG tankstation.

Hierbij zijn de onderliggende onderdelen als volgt gedefinieerd:

- Tankauto: alleen de tankauto;
- Lossen: pomp tankauto en losslang;
- Opslagtank: opslagtank, inclusief aanvoerleiding en pomp;
- Buffervaten: buffervaten 9 en 18 bar, inclusief aanvoerleiding en pomp;
- Dispensers: dispensers 9 en 18 bar (aanvoerleiding en afleverslang).



Figuur 6-1 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor het LNG tankstation

De relatief hoge risico's die voor een LNG tankstation worden berekend zijn te verklaren door

- de grote doorzet van het standaard LNG tankstation: 5000 m³ /jr. (standaard LPG station: 1000 m³ /jr.
- de conservatieve aannames en dientengevolge relatief grote effectafstanden en hoge faalfrequenties voor bepaalde scenario's.

De afstanden tot de PR contouren zijn in onderstaande tabel samengevat. Voor bespreking van de resultaten wordt verwezen naar hoofdstuk 9.

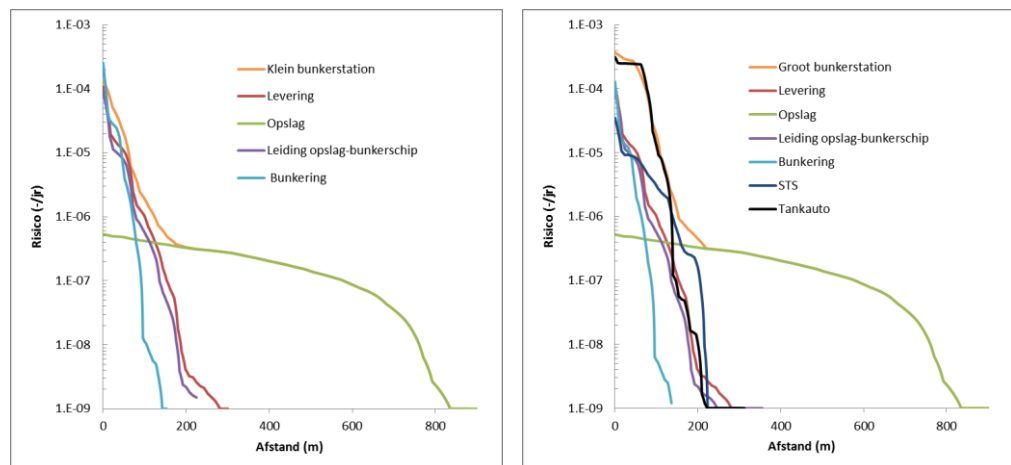
Tabel 6-1 Afstanden tot de plaatsgebonden risico contouren voor een LNG tankstation

PR contour LNG tankstation	Afstand (m)
10^{-5}	5
10^{-6}	90
10^{-7}	170
10^{-8}	230

6.2 LNG bunkerstation

Figuur 6-2 toont het plaatsgebonden risico voor de bunkerstations. Hierbij zijn de onderliggende onderdelen als volgt gedefinieerd:

- Levering: pomp en slang tussen binnenvaartschip en opslagtank
- Opslag: vulleiding, opslagvat en pomp opslagvat
- Leidingen opslag naar bunkerschip: leidingen/ slangen tussen opslagtank en bunkerschip en pomp opslagtank
- Bunkering: pomp bunkerschip en bunkerslang
- STS: pomp bunkerschip en bunkerslang
- Tankauto: pomp opslagtank, leiding en laadslang, tankauto



Figuur 6-2 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand met links een LNG bunkerstation zonder terminal faciliteiten (klein bunkerstation) en rechts met terminal faciliteiten (groot bunkerstation)

[NB. In de 2^e figuur is te zien dat op een afstand van ca. 70 m het risico van de tankauto iets hoger is dan het risico van het gehele bunkerstation. Dit is feitelijk niet mogelijk. Dit is een artefact in de grafische presentatie waarbij in de opsplitsing van het risico mogelijk door afrondingen een iets ander beeld ontstaat. Dit verandert echter niets aan de conclusies. Uit een controle berekening blijkt ook dat de som van de risico's van de onderliggende onderdelen gelijk is aan het risico van het gehele tankstation.]

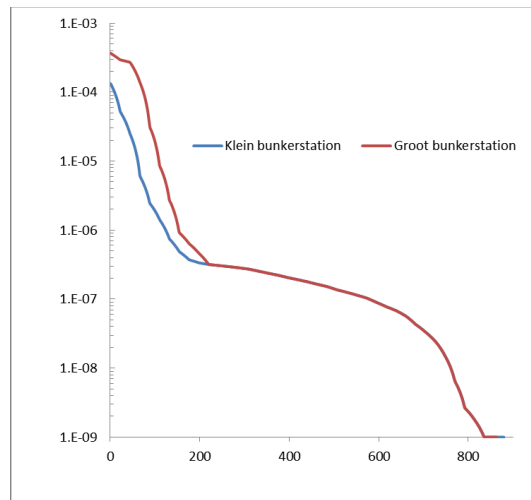
De totale doorzet van beide bunkerstations is identiek. Bij het bunkerstation met terminal wordt 50% van het LNG gebunkerd, 25% wordt gebruikt voor het laden van binnenvaartschepen en 25 % is voor het beladen van LNG tankauto's.

De PR 10^{-6} /jaar contour voor het bunkerstation zonder terminal wordt hoofdzakelijk bepaald door de levering van LNG aan het station, het transport van LNG naar het bunkerschip en de bunkeractiviteiten.

Voor het bunkerstation met terminal wordt de PR 10^{-6} contour daarnaast ook bepaald door het laden van de tankauto's. Door het relatief lage laaddebiet voor de tankauto's is de laadduur langer dan voor STS en het bunkeren van het binnenvaartschip, waardoor de faalkans groter is en bepalend is voor de hogere risico's. Bovendien zit in de grafiek voor de tankauto ook de leiding van de opslag naar de verlaadinstallatie- terwijl deze voor de bunker- en STS activiteiten niet beschouwd is.

De PR 10^{-7} , 10^{-8} en 10^{-9} /jaar contouren worden voor beide varianten bepaald door de opslagtank. Eventuele aanpassingen aan de opslagtank waardoor deze veiliger wordt (bv. ondergronds brengen) zal vooral de grote effecten met lage kansen beïnvloeden. Een dergelijk aanpassing zal daarmee vooral een positief effect hebben op het groepsrisico en niet tot nauwelijks op het plaatsgebonden risico.

De volgende figuur toont een vergelijking van het kleine en grote bunkerstation.



Figuur 6-3 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor het LNG bunkerstation met (groot bunkerstation) en zonder terminal faciliteiten (klein bunkerstation)

De afstanden tot de PR contouren zijn in de volgende tabel samengevat.

Tabel 6-2 Afstanden tot de plaatsgebonden risico contouren voor een bunkerstation

PR	LNG bunkerstation zonder terminal faciliteiten	LNG bunkerstation met terminal faciliteiten
10 ⁻⁵	60	110
10 ⁻⁶	120	150
10 ⁻⁷	580	580
10 ⁻⁸	760	760

7 Resultaten risicoberekeningen transportroutes

7.1 Inleiding

Er worden momenteel voor diverse locaties initiatieven ontwikkeld voor de bouw van LNG tank- en bunkerstations. De bevoorrading van de zeehavens met LNG vindt plaats vanuit de Maasvlakte of uit het buitenland (Zeebrugge). De binnenlandlocaties worden bevoorraad met binnenvaart LNG tankers. De tankstations zullen worden bevoorraad met tankauto's of binnenschepen.

In dit hoofdstuk wordt een eerste schatting van de toename van het plaatsgebonden risico door dit transport berekend.

Voor de risicoberekeningen in deze studie zijn conservatieve aannames gedaan voor de uitvoeringvorm van de vaste installaties, de uitvoering van de transportmiddelen, de volumestromen van het LNG en zijn de standaard modellen, rekenvoorschriften en faalfrequenties voor een risicoberekening toegepast. Door de onzekerheden die er zijn in de genoemde aannames zullen de uitkomsten een conservatief beeld geven van de risico's van LNG.

Verwacht wordt dat wanneer meer en nauwkeuriger informatie beschikbaar komt over de definitieve installaties en transportmiddelen en er betere effectmodellen en faalfrequenties voor LNG komen, de berekende risico's (aanzienlijk) lager zullen zijn dan de nu berekende risico's.

Om een nauwkeuriger bepaling te kunnen doen over de hoogte van de werkelijke risico's zal te zijner tijd een detailstudie moeten worden uitgevoerd gericht op de werkelijke vervoerstromen en de wijze waarop dat vervoer wordt uitgevoerd. In deze detailstudies zal ook met een aangepast RBMIII moeten worden gewerkt waarin LNG als stofcategorie is opgenomen.

De onderzoekers realiseren zich dat de in deze studie gemaakte inschatting van de risico's een conservatieve benadering is. Gegeven de onzekerheden in de aannames van het vervoer biedt vergelijking met de risico's met LPG transport de beste schatting van de transportstromen met LNG. Met deze studie wordt beoogd inzicht te krijgen in de risico's van het vervoer van LNG aan de hand waarvan keuzes voor vervolgstudies en doorontwikkeling van de risicomodellen gemaakt kunnen worden.

7.2 Eigenschappen en modellering van LNG

Voor het transport van LNG worden de risico's berekend met RBM II. RBM II kent echter geen stofcategorie LNG. De huidige opdracht bood geen ruimte qua tijd en budget om deze stofcategorie toe te voegen. Er is daarom in deze studie een bestaande stofcategorie gekozen die de risico's van LNG het best benaderd. Om deze stofcategorie voor LNG te bepalen zijn voor enkele scenario's RBM II berekeningen voor stofcategorie GF2 met voorbeeldstof butaan en GF3 met voorbeeldstof propaan, vergeleken met de uitkomsten van SafetiNL met LNG.

Hiervoor zijn voor de wegsituatie de volgende scenario's gebruikt:

- continue uitstroming van vloeistof uit een gat met een diameter van 50 mm
- instantane uitstroming van de gehele inhoud.

De kans op directe ontsteking in RBM II voor beide scenario's is 0.8 [1] en de totale tankinhoud is gesteld op 40 m³.

In de vergelijking zijn twee condities in de tankauto gemodelleerd, te weten een temperatuur van -160° C met een evenwichtsdruk van 1.13 bar(a) en een temperatuur van -152° C met een evenwichtsdruk van 2.06 bar(a). [Door warmteinstroom zal de initiële temperatuur in de LNG tank van -160° C niet gedurende het hele transport gehandhaafd kunnen worden. Voor aflevering bij het tankstation wordt een conservatieve aanname gedaan van een temperatuur van -152° C.]

Op basis van de resultaten in tabel 7.1 is stofcategorie GF3 (voorbeeldstof propaan) in RBM II gekozen als stofcategorie die de risico's van LNG het best weergeeft. RBM II GF3 (propaan) resultaten komen vrij goed overeen met het gemiddelde van de beide SafetiNL berekeningen voor LNG.

Voor een goede berekening van de transportrisico's van LNG is het aan te bevelen een eigen stofcategorie voor LNG in RBM II te creëren. Op die manier kan recht gedaan worden aan de specifieke stofeigenschappen voor LNG.

Tabel 7-1. Afstand tot verschillende contouren [m]

Berekening	10 ⁻⁶ contour (m)	10 ⁻⁷ contour (m)	10 ⁻⁸ contour (m)
Safeti-NL LNG -160° C	0	105*	170
Safeti-NL LNG -152° C	0	60	235
RBM II GF2	0	49	175
RBM II GF3	5	99	218

*Als het LNG bij een relatief lage temperatuur zal worden vervoerd dan wordt het grootste effect bij directe ontsteking niet veroorzaakt door een vuurbal, maar door een directe plasbrand. Dit veroorzaakt de grotere 10⁻⁷ contour bij Safeti-NL -160° C.

7.3 Vervoer over de weg

7.3.1 Transportintensiteit

Het totale transport LNG voor de weg is voorzien op 1 Mton in 2025 [2]. Er wordt aangenomen dat daarvan 90% per tankauto wordt getransporteerd van de bunkerdepots naar de tankstations (0.9 Mton). De resterende 10% wordt getankt door auto's die op LNG rijden en tanken aan het bunkerdepot zelf. Dit volume hoeft niet te worden toegekend aan het risico's op het basisnet.

De 0,9 Mton LNG transport zal initieel over de hoofdverkeerswegen worden afgevoerd. Voor de berekeningen is uitgegaan van de distributie vanuit de GATE terminal, niet van mogelijke andere distributiepunten in het land.

Het is de verwachting dat LNG de diesel gedeeltelijk zal vervangen, het is daarom redelijk te veronderstellen dat de LNG transportintensiteiten evenredig zijn met die van diesel (categorie LF1 in RBM II).

Voor de berekening van de grootte van de LNG stromen moet een omrekeningsfactor tussen diesel en LNG worden vastgesteld.

Deze omrekeningsfactor wordt berekend aan de hand van het totale LNG volume (ton) in relatie tot het totale diesel volume (ton). Volgens het CBS bedraagt de diesel afzet in 2010 6.4 Mton [3]. Voor LNG is in deze studie 0,9 Mton aangenomen. Hieruit volgt dat er met 0.14 ton LNG per vervoerde ton diesel moet worden gerekend.

Dit verhoudingsgetal in tonnen van 0,14 moet gecorrigeerd worden naar het aantal benodigde transporten. Hiervoor is de verhouding nodig van de grootte van een tanktruck LNG t.o.v. tanktruck diesel. Hierbij moet rekening worden gehouden met dichtheidsverschillen en verschillen in tankvolumes.

	Dichtheid (kg/m ³)	Volume tank (m ³)	Tonnage tank (ton)
LNG	450	40	18
Diesel	820	50	41

Het blijkt dat de inhoud (in tonnen) van een diesel tankauto veel groter is (41 ton) dan die van een LNG tankauto (18 ton).

De volledige factor om het huidige aantal dieseltransporten om te rekenen naar het benodigde aantal transporten voor 0,9 Mton LNG, komt daarmee op 0,14* 41000/18000 = 0,32.

Dus er zijn 0.32 * aantal huidige diesel transporten is nodig om 0,9 Mton LNG te transporteren.

In deze studie is geen rekening gehouden met de volgende punten:

- Een deel van het LNG zal via de terminal in Zeebrugge naar Nederland komen. Dit is niet meegenomen in deze studie. Indien dat aandeel significant is zal het transport op met name de A16 toenemen evenals de risico's op dat traject. Tegelijkertijd zal het risico op de A15 (afvoerroute Gate terminal) afnemen. Op de overall conclusie heeft dit geen significant effect, lokaal kunnen wel significante veranderingen in de risico's langs de transportroutes optreden.
- Er is geen rekening gehouden met een LNG terminal in de Eemshaven. Indien die terminal er wel komt zal het risico op de transportroutes van Delfzijl naar het zuiden (m.n. via de A28) toenemen. Tegelijkertijd zal het risico op de A15 afnemen. Op de overall conclusie heeft dit een geen significant effect maar de situatie lijkt in het Noorden alleen maar lastiger op te lossen doordat er minder vaarwegen beschikbaar zijn en de modal shift naar de binnenvaart dus lastiger is. Ook hier geldt dat de lokale situatie kan afwijken van het overall risicobeeld.
- Er is geen rekening gehouden met grensoverschrijdend transport. Mocht dit gaan plaatsvinden dan wordt het totale transportvolume groter en de risico's vooral op de routes naar Duitsland en België zullen toenemen.

7.3.2 Resultaten

In het basisnet zitten 575 wegvakken. Op 120 wegvakken vindt geen vervoer van diesel en zal ook geen LNG transport plaatsvinden. Op 105 wegvakken neemt het vervoer ten gevolge van LNG transport met minder dan 100 transporten per jaar toe. Op deze 225 wegvakken worden voor de PR contouren en het groepsrisico geen problemen verwacht.

Op de resterende 350 wegvakken wordt, uitgaande van de bevoorrading vanuit de GATE terminal, in een groot deel van de wegvakken een overschrijding verwacht van de risicoplafonds van het basisnet weg.

Het LNG-transport leidt tot een extra belasting van het basisnet Weg. Als het vervoer van LNG op een vergelijkbare wijze plaats vindt als het vervoer van diesel, dan is de risicoruimte voor een groot deel van het basisnet niet voldoende om de extra LNG stroom te accommoderen. De verwachting is dat er mogelijk langs de A15 en A16 extra saneringssituaties kunnen ontstaan door een toenemende PR 10^{-6} contour.

In deze studie is aangenomen dat de LPG stroom constant blijft. Op dit moment wordt echter een afname in het vervoer geconstateerd. Het LPG vervoer op het basisnet Weg veroorzaakt de grootste risico's en is bepalend voor het plaatsgebonden risico en voor het groepsrisico. Bij een afname van het LPG transport zou meer ruimte ontstaan voor transport van andere stoffen zoals LNG. Een afname van LPG is niet meegenomen in de studie.

Voor de transportrisicoberekeningen van LNG in deze studie is LNG in dezelfde stofcategorie ingedeeld als LPG, stofcategorie GF3 met propaan als voorbeeldstof, zie argumentatie in hfst 7.2. Hierdoor is in feite 0,9 Mton LPG transport toegevoegd aan de huidige 1 Mton LPG. Dit is een overschatting van de risico's van LNG. Deze overschatting van LNG in combinatie met een mogelijke afname van het LPG volume zal in werkelijkheid meer ruimte geven voor LNG transport over het basisnet weg dan in deze studie is berekend.

7.4 Binnenvaart

7.4.1 Transportintensiteit

De distributie van LNG over binnenwateren vindt plaats met binnenvaartschepen. Er wordt verwacht dat hiervoor ruim 2000 scheepsbewegingen noodzakelijk zijn [3].

7.4.2 Risico's

De risico's van LNG worden berekend door uit te gaan van GF3 (voorbeeldstof propaan). Dit resulteert in een overschatting van de risico's. De maximale transportintensiteit bedraagt ruim 2000 transporten. Uitgaande van de standaard ongevalsfrequentie van $4,17 \cdot 10^{-7}$ /j.km en een vaarwegbreedte van 100 meter, wordt een 10^{-8} /jaar contour berekend die net op de oever ligt. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat er ten gevolge van LNG een PR 10^{-6} /jaar contour zal ontstaan. Toevoeging van een LNG stroom op het water zal geen ruimtelijke consequenties opleveren.

Ook uit de gevoeligheidsanalyses die zijn gemaakt voor het basisnet Water blijkt dat er (behoudens de Westerschelde) ruimte is voor een vertienvoudiging van het huidige vervoer van LPG voordat er ruimtelijke consequenties optreden op de oever. Toevoeging van het verwachte LNG transport zal dus niet tot problemen met extra risico's leiden.

7.5 Spoor

Er is geen LNG transport over het spoor meegenomen in deze studie. De meeste spoorroutes lopen door binnensteden en belasting van deze locaties met de risico's van het transport lijkt ongewenst. Bovendien moet bij langdurig transport en parkeren van wagons rekening gehouden met het venten van LNG. Bovendien is aan boord van een schip of bij een tankauto monitoring van de temperatuur en druk van de lading mogelijk. Er kan zo nodig worden ingegrepen als de vervoercondities buiten de vervoerspecificaties komen. In de huidige vervoerconcepten per spoor is een dergelijk ingrijpen niet mogelijk.

De Betuweroute zou voor LNG transport in aanmerking kunnen komen en daarmee kunnen voorzien in een LNG transportbehoefte naar Duitsland. De consequenties van LNG transport op deze route zullen apart moeten worden bekeken. De verwachting is dat er voldoende risicoruimte is op de Betuweroute om een eventueel vervoer van LNG te kunnen accommoderen.

8 Beschouwing domino effecten op gecombineerde tankstations

Een onderdeel van het project is een kwalitatieve beschouwing van domino effecten op een tankstation indien daar meerdere transportbrandstoffen worden gevoerd. Daarbij wordt gedacht aan een tankstation dat naast benzine en diesel, ook LPG, LNG en CNG voert.

8.1 Domino effecten

Domino effecten kunnen niet op voorhand worden uitgesloten. B.v. een breuk van de losslang van een benzine tankauto die tot een plasbrand leidt, kan aanleiding zijn tot opwarming (en uiteindelijk wellicht een warme BLEVE) van de nabij gelegen LNG opslagtank.

Domino effecten kunnen worden voorkomen als de afstand tussen de verschillende onderdelen 'voldoende' groot is. Met voldoende groot wordt bedoeld dat de belasting (warmtestraling, overdruk) van een initieel scenario op een naast liggend onderdeel, kleiner is dan de veilige belasting van dat onderdeel.

Een eerste beschouwing geeft aan dat de volgende onderdelen in een gecombineerd station kritisch zouden kunnen zijn omdat de LNG opslag- en buffertank bovengronds zijn:

- De opstelplaats van de LPG tankauto i.r.t. de LNG en CNG opslag- en/ of buffertank in verband met een fakkel, BLEVE, plasbrand van de LPG tankauto.
- De opstelplaats van de benzinetankauto i.r.t. de LNG en CNG opslag- en/of buffertank i.v.m. een plasbrand van benzine.
- De locatie van de kiosk i.r.t. de LNG en CNG opslag- en/of buffertank in verband met een kioskbrand.
- De locatie van de LNG opslagtank, de LNG buffertank en de CNG installatieonderdelen t.o.v. elkaar vooral in verband met fakkelscenario's in een van de onderdelen.

Bij een langduriger warmtestralingsbelasting zou een warme BLEVE van de LNG opslagtank kunnen optreden. Dit in tegenstelling tot een LPG opslagtank (ondergronds) waarbij dat scenario is uitgesloten.

8.2 Hoe domino effecten te voorkomen

Domino effecten kunnen voorkomen worden als alle gegevens over de effecten van ongevalsscenario's en de belastbaarheid van installatieonderdelen bekend zijn en daarnaar gehandeld wordt. Met andere woorden als in de lay-out van een tankstation en bij vaststelling van de interne veiligheidsafstanden, voldoende rekening wordt gehouden met de externe veiligheidsscenario's.

Wat betreft de effectafstanden van ongevalsscenario's; deze zijn in principe bekend (uit QRA of andere effectberekeningen) maar de informatie is niet altijd eenvoudig beschikbaar voor de gebruikers en wordt bv. niet altijd genoemd e/o meegenomen in de PGS voor de betreffende installatie.

Informatie over de belastbaarheid van installatieonderdelen is meestal niet toegankelijk, is onvolledig of is niet bekend.

8.3 Aanpassingen in de regelgeving

Het is wenselijk dat de genoemde effectafstanden en kwetsbaarheden (belastbaarheid) in de relevante veiligheidsdocumenten (m.n. PGS 16, PGS 25, PGS 33 en BEVI, REVI) zijn benoemd. Dit is nu niet het geval. Bovendien zijn deze documenten niet altijd consequent in het type informatie dat wordt gegeven; in PGS 16 (LPG) wordt aangegeven wat de afstand van een benzine tankauto tot de LPG tankauto moet zijn. In de versie van PGS 33 (LNG) beschikbaar in deze studie worden geen afstanden genoemd voor tankauto's of eventuele andere bronnen die voor de LNG installatie risico's kunnen opleveren. In het algemeen geldt dat een PGS document de eisen voor de betreffende installatieonderdelen beschrijft en niet consequent de mogelijke andere aanwezige risicobronnen in beschouwing neemt.

De uitgangspunten van de verschillende documenten zouden consequent op elkaar aangepast moeten worden en informatie over effectafstanden van ongevalsscenario's en kwetsbaarheden van installatieonderdelen zou expliciet moeten worden benoemd.

Op deze manier is informatie beschikbaar waarmee op elke nieuwe situatie en combinatie van brandstoffen op een station kan worden ingespeeld. De lay-out en/of de uitvoering van de installaties kan dan worden aangepast om domino of andere ongewenste effecten te voorkomen.

Voor categoriale instellingen gelden vaste veiligheidsafstanden en wordt niet uitgegaan van gecumuleerde contouren. Aan verschillende type installaties (bv. de LPG en de LNG installatie) worden separaat risicocontouren toegekend. Toepassing van meerdere brandstoffen op een locatie leidt in het algemeen niet tot een verhoging van het risico.

Overwogen moet worden hierin verandering te brengen en, vooral voor de grotere stations, één QRA van alle activiteiten uit te laten voeren waarin de gecumuleerde risico's worden weergegeven conform de voorgeschreven methodiek voor BRZO- en Bevi-inrichtingen. Zo'n complete QRA biedt tegelijk de mogelijkheid om dominoscenario's te definiëren en mee te nemen in de risicoberekeningen. Hiermee kan ook op realistische (correcte) wijze rekening worden gehouden met de geografische spreiding van de inrichtingsonderdelen.

9 Discussie en conclusies

De gehanteerde rekenmethodieken zijn gebaseerd op de geldende regels en voorschriften in Nederland voor de betreffende risicovolle activiteiten.

9.1 Vaste LNG installaties

De berekende afstanden tot de 10^{-6} risicocontour van een LNG tankstation en een LNG bunkerstation zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Het is belangrijk te vermelden dat het indicatieve berekeningen betreft die gebaseerd zijn op beperkte informatie over de uitvoeringsvormen van de LNG installaties en conservatieve aannames voor ongevalsscenario's en faalfrequenties. De risicoafstanden moeten daarom als bovengrens van een range worden gezien. Nadere definitie van de installaties, hun faalgedrag en -frequenties zal kunnen leiden tot significant kleinere veiligheidsafstanden..

Tabel 9-1 Afstanden tot de plaatsgebonden risicocontouren (in meters) voor verschillende LNG stations

PR contour	LNG Bunkerstation zonder terminal (m)	LNG Bunkerstation met terminal (m)	LNG Tankstation (m)
10^{-5}	60	110	5
10^{-6}	120	150	90
10^{-7}	580	580	170
10^{-8}	760	760	230

LNG Bunkerstation

De 10^{-6} risicocontour ligt op 120 m. Dit is een aanzienlijke afstand maar gezien de industriële locaties waar deze bunkerstations zullen liggen (en daardoor het ontbreken van kwetsbare objecten) is het de verwachting dat bij een zorgvuldige locatiekeuze dit geen probleem zal opleveren met de externe veiligheid.

Een aandachtspunt hierbij is het groepsrisico. Door de grote 10^{-7} en 10^{-8} contouren is er een groot effectgebied (in de orde van 800-1000 m) rondom het bunkerstation dat potentieel bereikt kan worden door een effect bij een groot ongeval. De hele bevolking in dat gebied rondom de potentiële locaties zal in beschouwing moeten worden genomen.

Voor het bunkerstation geldt dat, bij gelijk blijvende omzet, het geen significant verschil maakt of de LNG naar een bunkerschip, een LNG tankschip (als lading) of LNG tankauto's voor transport over de weg wordt verladen. In de praktijk zal bij de verlading naar tankschepen de omzet vermoedelijk toenemen en kan daardoor ook leiden tot een grotere risicocontour. Dit is in de studie niet meegenomen.

LNG tankstation

De indicatie voor de 10^{-6} risicocontour voor een LNG tankstation ligt op 90 meter, dat ligt in de grootte orde van de 110 meter voor een LPG tankstation met een bovengrondse opslagtank en is groter dan de 40 meter voor een LPG tankstation met een ondergrondse opslagtank en dat bevoorraadt wordt met tankauto's met hittewerende bekleding.

De redenen voor de relatief grote risico-inschatting zijn:

- Er is gerekend met een typische doorzet van een LNG tankstation van 5000 m³ (een LPG tankstation heeft bv. een doorzet van 1000 m³)
- Er is gerekend met een bovengrondse LNG opslagtank met de bijbehorende mogelijkheid voor falen door externe impact terwijl LPG opslagtanks in de standaard situatie ondergronds zijn geplaatst.
- De huidige modellen en berekeningsmethodiek voor uitstroming, verdamping en verspreiding in SafetiNL geven relatief grote effectafstanden voor LNG.

Een risicocontour van 90 m zal voor verschillende bestaande tankstations problemen op kunnen leveren met de externe veiligheid om, naast de gebruikelijke brandstoffen, ook LNG te kunnen voeren. In de risicoberekeningen zijn echter nog een aantal onduidelijkheden en mogelijke verbeterpunten.

Er wordt aanbevolen om het ontwerp van de LNG installatie-onderdelen verder te optimaliseren door het vastleggen van de toe te passen (veiligheids)maatregelen en ontwerp eisen voor LNG installaties, bijvoorbeeld:

- toepassen van een ondergrondse, ingeterpte of verzonken opslagtank,
- te gebruiken type laadinstallatie (loslangen, laadarmen)
- toepassing van kleppen, sensoren en specificaties voor reactietijden
- etc.

Daarnaast moeten de faalscenario's en faalkansen voor LNG installaties eenduidig worden gedefinieerd. In combinatie met meer gedetailleerde uitvoeringsgegevens zal dit leiden tot minder conservatieve uitgangspunten in de berekeningen en tot kleinere risicoafstanden.

Op de langere termijn verdient het aanbeveling de huidige effectmodellen voor o.a. verdamping en het dispersie beter te valideren voor LNG.

Beter gevalideerde effectmodellen voor LNG zullen een beter en reëler beeld van de risico's van LNG geven. Dit geldt in het bijzonder voor het gedrag bij instantaan vrijkomen van grote hoeveelheden LNG. Het gedrag in een dergelijke situatie en of daar BLEVE –achtige verschijnselen optreden is niet bekend.

9.2 LNG transport

LNG transport over het basisnet Weg

Bij distributie van LNG middels tankauto's zal naar verwachting tot maximaal op de helft van de wegvakken het huidige risicoplaafond ontoereikend zijn. Redenen voor die mate van overschrijding van de risico gebruiksruimte zijn:

- De LNG stroom met 0,9 Mton per jaar vervangt een vergelijkbare diesel stroom maar het LNG transport brengt ten opzichte van dieselveervoer grotere risico's met zich mee.
- Er is gerekend met de voorbeeldstof propaan (GF3) omdat RBM II niet specifiek met LNG kan rekenen. Dit geeft naar verwachting een overschatting van de risico's.
- Er is gerekend met een transport van 0.9 Mton /jr over de weg, dit is wellicht een (forse) overschatting voor het referentiejaar 2025.

Door een andere distributie van Zeebrugge en GATE via bunkerstations en door LNG tankstations zoveel mogelijk op inrichtingen met bunkerstations te vestigen zal het aantal wegvakken met overschrijding van risicoplafonds afnemen.

Bij grootschalige introductie van LNG transport over de weg is de verwachte overschrijding van de risicoruimte op het basisnet weg dermate dat deze zonder nadere maatregelen en betere inzichten, niet te combineren is met de huidige uitgangspunten en risicoruimte van het basisnet.

Toelichting: LPG is de risicobepalende stof op het basisnet weg en vult voor een groot gedeelte de risicoruimte op de weg. Er wordt verwacht dat gebruik van LNG niet ten koste zal gaan van LPG maar ten koste van diesel. Er is geen rekening gehouden met een eventuele autonome afname van het LPG transport. Langs de A15 en A16 kan het LNG vervoer leiden tot extra ruimtelijke knelpunten omdat meer kwetsbare bestemmingen binnen de PR 10^{-6} zullen komen te liggen. Voor het GR betekent het dat het aantal aandachtspunten met een risiconiveau boven de oriëntatiewaarde kan toenemen.

Vanuit de risicobenadering wordt aanbevolen:

- LNG depots zoveel mogelijk aan het water te lokaliseren waardoor het transport grotendeels met binnenvaart schepen kan plaatsvinden (modal shift).
- Een LNG stofcategorie in RBM II te creëren die de risico's voor LNG zo specifiek mogelijk kan berekenen, gebruik makend van modellering gevalideerd voor specifieke LNG fenomenen.
- Nadere studie te doen naar de faalscenario's en faalkansen van de tanks waarin het LNG wordt vervoerd. Een lagere faalkans van een dubbelwandige (cryogene) tank ten opzichte van de propaan druktank werkt direct door in de hoogte van de risico's en leidt tot meer transportruimte binnen het bestaande risicoplafond. (Een factor 10 lagere faalkans van de tank ten opzichte van een, niet gecoate, LPG tank, leidt in theorie tot 10 keer meer vervoersruimte binnen hetzelfde risicoplafond.)
- Te bezien of uitgangspunten voor het basisnet gewijzigd kunnen worden waardoor meer ruimte voor LNG ontstaat.

LNG transport over het basisnet Water

Voor het transport over het basisnet water worden geen risicoproblemen verwacht .

9.3 Samenvattende conclusie

De risicoberekeningen zijn op het moment van de start van de studie (september 2012) met de meest recente en gevalideerde richtlijnen uitgevoerd.

De risico indicaties voor het transport zijn gebaseerd op (conservatieve) inschattingen van de omvang van het transport, de uitvoering van de LNG installaties en transportmiddelen, de risico eigenschappen van LNG, en de distributiewijze en modaliteitskeuze, etc.

Deze aannames kunnen verbeterd worden en behoeven nadere uitwerking op specifieke transportstromen. Dit is van belang om duidelijkheid te krijgen waar op korte termijn mogelijkheden zijn voor een geleidelijke introductie van LNG als brandstof voor het wegtransport.

De gebruikte aannames geven voldoende inzicht in de onderwerpen en denkrichtingen die nadere studie en onderbouwing behoeven; dit om de route naar meer grootschalige inpasbaarheid van LNG, inclusief de bijbehorende randvoorwaarden, aan te geven.

De eindconclusie lijkt robuust en zijn beperkt afhankelijk van de onderliggende aannames

- Voor LNG bunkerstations lijken er geen (grote) problemen te zijn kijkend naar de 10^{-6} PR contour. Door de grote effectgebieden zal het GR wel een aandachtspunt zijn en zullen locaties zorgvuldig gekozen moeten worden.
- LNG tankstations hebben vrij grote risicocontouren maar er zijn nog enkele opties om deze te reduceren (bv. ondergrondse opslagtank) en de wijze van risicoberekening kan verbeterd worden.
- Het transport van LNG over het water lijkt zonder problemen te kunnen worden uitgevoerd.
- Het transport van LNG over het basisnet Weg leidt tot een overschrijding van de risicoruimte en het geplande LNG wegtransport lijkt onder de huidige uitgangspunten voor het basisnet niet te realiseren. Nadere studie naar zowel de logistieke en economische uitgangspunten (distributienetwerk, modal shift, marktverwachting en mogelijk technologische innovatie op de langere termijn) als de specifieke LNG faalscenario's en LNG modellering is nodig om locatie specifieke inpassingen mogelijk te maken.

10 Referenties

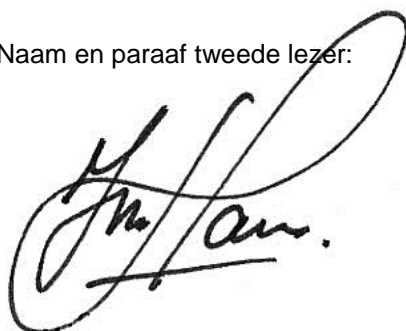
- [RIVM, 2009] Handleiding Risicoberekeningen Bevi, versie 3.2, RIVM, juni 2009
- [PGS 33-1, 2012] Concept Aardgas-afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor motorvoertuigen, versie 0.1, 2012
- [DNV, 2012] Port toolkit risk profile LNG bunkering including addendum, DNV, 2012
- [Min I&M, 2011] Concept handleiding risicoanalyse transport, Ministerie I&M, november 2011
- [Min. VROM, 2004] Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen, Ministerie van VROM, 20-04
- [Min I&M, 2012] Circulaire RisicoNormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2012
- [TNO/ECN/CE Delft] Natural gas in transport, an assessment of different routes, January 2013.
- [RIVM, 2012] Memo BC overleg rekenmethodiek LNG-tankstations 211112, RIVM, 2012
- [RIVM, 2012] Concept rekenmethodiek LNG tankstations, L. Vijgen, RIVM, september 2012
- [TNO, 2012a] Memo, LNG ketenproject, afspraken, J. Meulenbrugge, TNO, december 2012
- [DNV, 2009] SAFETI-NL 6.54
- [UN ADN, 2010] European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways (ADN), United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) and the Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR), Geneva, 2010
- [RIVM, 2008] QRA berekening LPG-tankstations versie 1.1, RIVM-CEV, 2008.
- [1] Achtergrond RBM II, Versie 2.0 november 2011, AVIV
- [2] Natural gas in transport – an assessment of different routes, TNO / ECN / CE Delft, January 2013.
- [3] Motorbrandstoffen voor vervoer; afzet. CBS, 2013
- [4] Lijst wegvakken tellingen en basisnet - nov 2011_tcm174-310398, DVS, 2011
http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/veiligheid/vervoer_gevaarlijke_stoffen/methodiek_data_inwinning_weg/documenten/

11 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

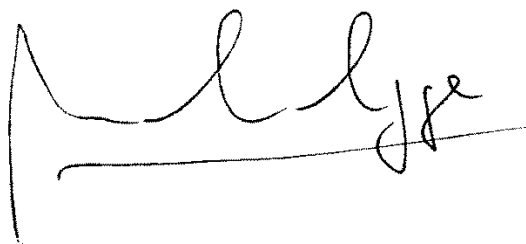
Namen en functies van de projectmedewerkers:
I.M.E. Raben
J.J. Meulenbrugge
H.G. Bos (AVIV)

Naam en paraaf tweede lezer:



Ing. J.M. Ham

Ondertekening:



Ir. J.J. Meulenbrugge
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Dr. H.C. Borst
Research Manager

A Beschrijving situatie

Deze bijlage geeft de uitgebreide beschrijving van de verschillende onderdelen die beschouwd zijn voor deze studie.

A.1 Tankauto

De volgende tabel presenteert de tankauto zoals deze voor dit project gedefinieerd is. Hierbij is zoveel mogelijk aansluiting gezocht met de conceptrekenmethodiek voor LNG tankstations van september 2012.

Tabel A-1 Beschrijving tankauto

	Tankauto	Bron/ opmerking
Beschrijving	dubbelwandig geïsoleerde druktank	[RIVM, 2012]
Volume LNG tank (m ³)	40	[RIVM, 2012]
Vulgraad (%)	95 bij afsteldruk (is 85% bij 1.4 barg)	[RIVM, 2012]
Vloeistofhoogte (m)	1	[RIVM, 2012]
Temperatuur (°C)	-150	[RIVM, 2012]
Druk (barg)	1.4	[RIVM, 2012]
Grootste aansluiting (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Afsteldruk veerveiligheid (bara)	10	[RIVM, 2012]
Aantal transporten (-/jr)	225	

^a doorzet per LNG tankstation

A.2 Binnenvaartschip

Tabel A-2 Beschrijving binnenvaartschip

	Binnenvaartschip	Bron/ opmerking
Volume LNG brandstoftank (m ³)	90	[TNO, 2012a]
Volume LNG tank (m ³)	380-750 (bron: Veka Group)	[UN ADN, 2010]
Type tank	horizontaal	
Aantal LNG tanks (-)	2-3 (bron: Veka Group)	[TNO, 2012a]
Lengte LNG tank (m)	20	[DNV, 2012]
Diameter LNG tank (m)	8	[DNV, 2012]
Vulgraad (%)	80	
Temperatuur (°C)	-150	
Druk (barg)	1.4	
Verladingsmethode	Pomp zonder pakkingen (canned pump)	
Veiligheidsmaatregelen	Bunkeren: emergency shutdown system (ESD/ EMS) aanwezig. interventie tijd 20 s.	[DNV, 2012]

A.3 LNG tankstation

Tabel A-3 Beschrijving LNG tankstation- lossen tankauto

	Lossen tankauto	Bron/ opmerking
Beschrijving	Canned pomp zonder pakking	[RIVM, 2012]
Diameter aansluiting pomp (mm)	76.2 (3 inch)	[RIVM, 2012]
Diameter losslang (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Doorzet (m ³)	5 000	[RIVM, 2012]
Losdebiet (l/min)	500 (=3.4 kg/s)	[RIVM, 2012]
Loshoeveelheid (m ³)	25	[RIVM, 2012]
Laadslang/ arm	composietslang	[RIVM, 2012]
Diameter laadslang (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Lengte laadslang/ arm (m)	5	[RIVM, 2012]
Ligging vulleiding	Bovengronds	[RIVM, 2012]
Diameter vulleiding (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Lengte vulleiding (m)	10	[RIVM, 2012]
Verladingsduur (h)	166.7=5 000 m ³ /0.5 m ³ /min	
Verblijftijd (h)	333.3=2* verlaadduur	[RIVM, 2012]
Veiligheidsmaatregelen	operator ingrijpen na 120 s	[RIVM, 2012]

Tabel A-4 Beschrijving LNG tankstation- opslagtank

	Opslagtank	Bron/ opmerking
Volume LNG tank (m ³)	40	[RIVM, 2012]
Hoogte vloeistofkolom (m)	4	[RIVM, 2012]
Vulgraad (%)	85	[RIVM, 2012]
Temperatuur (°C)	-150	[RIVM, 2012]
Druk (barg)	1.4	[RIVM, 2012]
Afsteldruk veerveiligheid (barg)	10	[RIVM, 2012]

Tabel A-5 Beschrijving LNG tankstation- pomp opslagtank

	Pomp	Bron/ opmerking
Type	Canned- zonder pakking	[RIVM, 2012]
Diameter aansluiting (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur	110% van de levertijd van de afleverzuilen (=1.1*521 = 573)	[RIVM, 2012] – ivm satureren van de buffervaten

Tabel A-6 Beschrijving LNG tankstation- leiding opslagtank naar buffervat

Leiding opslagtank naar buffervat		Bron/ opmerking
Ligging leiding	bovengronds	[RIVM, 2012]
Diameter (mm)	25.4 (1 inch)	[RIVM, 2012]
Leiding lengte (m)	5	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur	110% van de levertijd van de afleverzuilen (=1.1*521 = 573)	[RIVM, 2012] – ivm satureren van de buffervaten

Tabel A-7 Beschrijving LNG tankstation- buffervat

	Opslagtank 9 bar	Opslagtank 18 bar	Bron/ opmerking
Volume LNG tank (m ³)	10	10	[RIVM, 2012]
Hoogte vloeistofkolom (m)	2	2	[RIVM, 2012]
Vulgraad (%)	95	95	[RIVM, 2012]
Temperatuur (°C)	-126	-110	[RIVM, 2012]
Druk (barg)	9	18	[RIVM, 2012]

Tabel A-8 Beschrijving LNG tankstation- pomp buffervat

	Pomp 9 bar en 18 bar	Bron/ opmerking
Type	Canned- zonder pakking	[RIVM, 2012]
Diameter aansluiting (mm)	25.4 (1 inch)	[RIVM, 2012]
Debiet (l/min)	160	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur (h)	50% van de aflevering (=521/2=260.5)	[RIVM, 2012]
Veiligheidsmaatregelen	Automatisch ingrijpen na 120 s	[RIVM, 2012]

Tabel A-9 Beschrijving LNG tankstation- leiding buffervat naar dispenser

	Leiding 9 bar of 18 bar	Bron/ opmerking
Ligging leiding	ondergronds	[RIVM, 2012]
Diameter (mm)	25.4 (1 inch)	[RIVM, 2012]
Leiding lengte (m)	5	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur (h)	50% van de aflevering (=521/2=260.5)	[RIVM, 2012]
Veiligheidsmaatregel en	Automatisch ingrijpen na 120 s	[RIVM, 2012]

Tabel A-10 Beschrijving LNG tankstation- afleverslang

Afleverslang 9 bar of 18 bar		Bron/ opmerking
Type	(composiet) slang	[RIVM, 2012]
Diameter (mm)	25.4 (1 inch)	[RIVM, 2012]
Lengte slang (m)	5	[RIVM, 2012]
Afleverdebiet (l/min)	160	[RIVM, 2012]
Afleverdruk (bar)	9 of 18	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur (h)	521 (5000 m ³ /jr / 160l/min)	[RIVM, 2012]
Veiligheidsmaatregelen	Automatisch ingrijpen na 120 s	[RIVM, 2012]

A.4 Bunkerstation

Tabel A-11 Beschrijving bunkerstation- pomp LNG tanker

Pomp LNG tanker		Bron/ opmerking
Type	Canned (zonder pakking)	
Diameter aansluiting (mm)	127 (5 inch)	
Losdebiet (m ³ /h)	500 (=56 kg/s)	
Gebruiksduur (h)	60 800 m ³ / 500 m ³ /h = 121.6h	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

Tabel A-12 Beschrijving bunkerstation- losslang LNG tanker

Losslang LNG tanker		Bron/ opmerking
Losarm/slang	Composietslang	
Diameter (mm)	127 (5 inch)	
Leiding lengte (m)	25	
Gebruiksduur	60 800 m ³ / 500 m ³ /h = 121.6h	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

Tabel A-13 Beschrijving bunkerstation- vulleiding opslagtank

Vulleiding opslagtank		Bron/ opmerking
Ligging leiding	Bovengronds	
Diameter (mm)	127 (5 inch)	
Leiding lengte (m)	25	
Gebruiksduur	60 800 m ³ / 500 m ³ /h = 121.6h	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

Tabel A-14 Beschrijving bunkerstation- opslagtank

	Opslagtank	Bron/ opmerking
Beschrijving	Druk opslagtank, dubbelwandig, geïsoleerd	PGS33
Type tank	Verticaal	
Volume LNG tank (m ³)	1 000	
Lengte LNG tank (m)	12	
Vloeistofhoogte (m)	10	
Vulgraad (%)	80	
Temperatuur (°C)	-150	
Druk (barg)	1.4	
Gebruiksduur (% per jr)	100	
Afsteldruk veerveiligheid (barg)	10	
Vulslang/arm	arm	
Veiligheidsmaatregelen	Terugslagklep	

Tabel A-15 Beschrijving bunkerstation- pomp opslagtank voor laden bunkerschip

	Pomp opslagtank	Bron/ opmerking
Type	Canned (zonder pakking)	
Diameter (mm)	127 (5 inch)	
Losdebiet (m ³ /h)	500 (=56 kg/s)	
Gebruiksduur (h)	60 800 m ³ / 500 m ³ /h = 121.6h	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

Tabel A-16 Beschrijving bunkerstation- leiding opslagtank naar bunkerschip

	Leiding opslagtank-bunkerschip	Bron/ opmerking
Losarm/slang	Composietslang	
Ligging leiding	Bovengronds	
Diameter (mm)	127 (5 inch)	
Leiding lengte (m)	25	
Gebruiksduur (h)	60 800 m ³ / 500 m ³ /h = 121.6h	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

De volgende tabel geeft de beschrijving van het bunkerschip. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de activiteiten voor het bunkeren van het binnenvaartschip en het laden van het binnenvaartschip met LNG (STS).

Tabel A-17 Beschrijving bunkerstation- bunkerschip

Bunkerschip		Bron/ opmerking
Volume LNG tank (m ³)	380	
Aantal tanks (-)	1	
Type tank	horizontaal	
Vulgraad (%)	80	
Temperatuur (°C)	-150	
Druk (barg)	1.4	
Verladingsmethode	pomp	
Aantal verladingen per jaar (-jr)	160	
Duur verlading (h)	0.75	Per tank
Verlaaddebiet (m ³ /h)	500 bij STS 80 bij bunkeren	[DNV, 2012]
Verlaaddruk (bara)	7	
Laadslang/ arm	Flexible hose	[DNV, 2012]
Diameter laadslang (mm)	127 (5 inch) bij STS 76.2 (3 inch) bij bunkeren	[DNV, 2012]
Lengte laadslang/ arm (m)	25	[DNV, 2012]
Veiligheidsmaatregelen	Terugslagklep	

In overeenstemming met de conceptmethodiek voor LNG-tankstations is aangenomen dat de temperatuur in de LNG-tank -150°C als gevolg van warmte-inlek bij de tussenopslag.

Tabel A-18 Beschrijving bunkerstation- pomp bunkerschip

Pomp bunkerschip		Bron/ opmerking
Type	Canned (zonder pakking)	
Diameter (mm)	127 (5 inch)	
Verlaaddebiet (m ³ /h)	500 (=56 kg/s) voor STS 80 voor bunkeren	[DNV, 2012]
Gebruiksduur (h)	levertijd (=380 m ³ *0.8/500 m ³ /h= 0.651h STS) (=90m ³ *0.8/80 m ³ /h=0.9h bunkeren)	
Veiligheidsmaatregelen	ESD, reactietijd 20 s	

Tabel A-19 Beschrijving bunkerstation- bunkersslang

Bunkerslang		Bron/ opmerking
Laadslang/ arm	Flexible hose	[DNV, 2012]
Diameter (mm)	76.2 (3 inch)	[DNV, 2012]
Lengte laadslang/ arm (m)	25	[DNV, 2012]
Gebruiksduur (h)	0.9 h	Per verlading
Verlaaddruk (barg)	5	[DNV, 2012]
Aantal verlaadslangen	1	[DNV, 2012]

Tabel A-20 Beschrijving bunkerstation- losslang

Losslang STS		Bron/ opmerking
Laadslang/ arm	Flexible hose	[DNV, 2012]
Diameter (mm)	127 (5 inch)	[DNV, 2012]
Lengte laadslang/ arm (m)	25	[DNV, 2012]
Gebruiksduur (h)	0.65 h bij STS 0.9 h bij laden	Per verlading
Verlaaddruk (barg)	5	[DNV, 2012]
Aantal verlaadslangen	1	[DNV, 2012]

Voor het laden van de LNG tankauto is aangenomen dat de configuratie (debieten, leiding diameters, lengtes etc.) vergelijkbaar is met de configuratie van een tankstation. Dit is een overschatting van de risico's aangezien de tankauto niet de hele tijd vol zal zijn.

Tabel A-21 Beschrijving bunkerstation- pomp opslagvat voor laden tankauto

Pomp		Bron/ opmerking
Type	Canned- zonder pakking	
Diameter aansluiting (mm)	76.2 (3 inch)	[RIVM, 2012]
Laaddebiet (l/min)	500 (=3.4 kg/s)	[RIVM, 2012]
Veiligheidsmaatregelen	Automatisch ingrijpen na 120 s	
Gebruiksduur (h)	60 800 m ³ * 25%/0.5 l/min/60 min/h = 507	[RIVM, 2012]

Tabel A-22 Beschrijving bunkerstation- leiding pomp opslagvat naar laadslang tankauto

Leiding opslagvat- tankauto		Bron/ opmerking
Ligging leiding	Bovengronds	[RIVM, 2012]
Diameter leiding (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Lengte leiding (m)	10	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur (h)	$60\,800\text{ m}^3 \cdot 25\% / 0.5\text{ l/min}/60\text{ min/h}$ = 507	

Tabel A-23 Beschrijving bunkerstation- laden tankauto

Laden tankauto		Bron/ opmerking
Ligging vulleiding	Bovengronds	[RIVM, 2012]
Diameter (mm)	50.8 (2 inch)	[RIVM, 2012]
Lengte vulleiding (m)	10	[RIVM, 2012]
Gebruiksduur (h)	$60\,800\text{ m}^3 \cdot 25\% / 0.5\text{ l/min}/60\text{ min/h}$ = 507	
Verblijftijd (h)	1 014	=2* verlaadduur

B Faalfrequenties en kansen LNG tankstation

Tabel B-24 LNG tankstation- scenario's en frequenties

	Scenario's	Basisfaal-frequentie	Correctie factor	Freq. (-/jr)
Tankauto	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	333.3/8766	$1.9 \cdot 10^{-8}$
	Falen grootste aansluiting	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	333.3/8766	$1.9 \cdot 10^{-8}$
	Instantaan falen a.g.v. brand tijdens verlading (warme BLEVE)	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /h	166.7/20	$4.8 \cdot 10^{-9}$
	Instantaan falen a.g.v. brand (warme BLEVE)	$2 \cdot 10^{-6}$ /50h	333.3/50*0.24/20	$1.6 \cdot 10^{-7}$
	Instantaan falen a.g.v. externe impact (koude BLEVE)	$2.3 \cdot 10^{-7}$ /50h	333.3/50	$1.5 \cdot 10^{-6}$
Pomp	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	166.7/8766*0.9	$1.7 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	166.7/8766 *0.1	$1.9 \cdot 10^{-8}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	166.7/8766	$9.5 \cdot 10^{-7}$
Losslang	Breuk slang, ingreep + inblokken	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	166.7*0.9*(1-0.06)	$5.6 \cdot 10^{-5}$
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	166.7*0.9*0.06	$3.6 \cdot 10^{-6}$
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	166.7*0.1	$6.7 \cdot 10^{-6}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	166.7	$6.7 \cdot 10^{-3}$
Vulleiding	Breuk slang, ingreep + inblokken	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	166.7/8766*0.9*(1-0.06)	$1.6 \cdot 10^{-8}$
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	166.7/8766*0.9*0.06	$1.0 \cdot 10^{-9}$
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	166.7/8766*0.1	$1.9 \cdot 10^{-9}$
	Lek	$5 \cdot 10^{-6}$ / jr	166.7/8766	$9.5 \cdot 10^{-8}$
Opslagtank	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5.0 \cdot 10^{-7}$
	10 min. uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5.0 \cdot 10^{-7}$
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr		$1.0 \cdot 10^{-5}$

Scenario's		Basisfaal-frequentie	Correctie factor	Freq. (-/jr)
Pomp opslagtank	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	521 /8766* 1.1*0.999	$6.5 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	521/8766 * 1.1*0.001	$6.5 \cdot 10^{-10}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	521/8766/1.1	$3.3 \cdot 10^{-6}$
Leiding pomp-buffervat	Breuk leiding, ingreep + inblokken	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	521/2 /8766 * 1.1*0.999*(1-0.06)	$2.8 \cdot 10^{-8}$
	Breuk leiding, ingreep + inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	521/2 /8766 * 1.1*0.999*0.06	$1.8 \cdot 10^{-9}$
	Breuk leiding, ingreep faalt inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	521/2 /8766 * 1.1*0.001	$2.9 \cdot 10^{-11}$
	Lek	$5 \cdot 10^{-6}$ /jr	521/8766 * 1.1	$1.5 \cdot 10^{-7}$
Buffervat	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5.0 \cdot 10^{-7}$
	10 min. uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5.0 \cdot 10^{-7}$
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr		$1.0 \cdot 10^{-5}$
Pomp buffervat	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	521/2/8766* 0.999	$3.0 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	521/2/8766 *0.001	$3.0 \cdot 10^{-10}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	521/2/8766	$1.5 \cdot 10^{-6}$
Leiding pomp-dispenser	Breuk leiding, ingreep	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	521/2 /8766 * 0.999	$1.5 \cdot 10^{-8}$
	Breuk leiding, ingreep faalt	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	521/2 /8766 *0.999	$1.5 \cdot 10^{-11}$
	Lek	$1.5 \cdot 10^{-6}$ / jr	521/8766	$4.5 \cdot 10^{-8}$
Vulslang	Breuk slang, ingreep	$4 \cdot 10^{-7}$ /jr	521/2 /8766 * 0.999	$1.2 \cdot 10^{-8}$
	Breuk slang, ingreep faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /jr	521/2 /8766 *0.999	$1.2 \cdot 10^{-11}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-6}$ /jr	521/8766	$1.2 \cdot 10^{-7}$

Voor de aanstraling van een brand in de omgeving wordt uitgegaan van het volgende:

- kans op warme BLEVE bij aanstraling damp is 1
- kans op warme BLEVE bij aanstraling vloeistof is 0.1 (veiligheidsventielen voorkomen een BLEVE in 90% van de gevallen)

Kans op warme BLEVE bij aanstraling is bij een vulgraad van 85% dan:
 $0.85 * 0.1 + 0.15 * 1 = 0.24$

Gebruikstijd van de pompen na de opslagtank is 110 % van de aflevertijd
(aflevertijd + 10% voor het satureren van het vat).

C Faalfrequenties en kansen LNG bunkerstation

De in de tabel gegeven correctiefactoren gelden voor het kleine bunkerstation. Voor het grote bunkerstation (met terminal faciliteiten) is analoog gewerkt.

Tabel C-25 LNG bunkerstation- scenario's en frequenties

Scenario's	Basisfaal-freq.	Correctie factor	Frequentie bunkerstation (-/jr)		
			klein	groot	
Pomp	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766*0.99 9	$1.4 \cdot 10^{-7}$	
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766*0.00 1	$1.4 \cdot 10^{-10}$	
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766	$6.9 \cdot 10^{-7}$	
Losslang	Breuk slang, ingreep + inblokken	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.999*(1- 0.06)	$4.6 \cdot 10^{-5}$	
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.999*0.0 6	$2.9 \cdot 10^{-6}$	
	Breuk slang, ingreep faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.001	$4.9 \cdot 10^{-8}$	
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	121.6	$4.9 \cdot 10^{-3}$	
Vulleiding	Breuk slang, ingreep + inblokken	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	121.6/8766*0.99 9*(1-0.06)	$1.3 \cdot 10^{-8}$	
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	121.6/8766*0.99 9* 0.06	$8.3 \cdot 10^{-10}$	
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	121.6/8766*0.00 1	$1.4 \cdot 10^{-11}$	
	Lek	$5 \cdot 10^{-6}$ / jr	121.6/8766	$6.9 \cdot 10^{-8}$	
Opslagtank	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5 \cdot 10^{-7}$	
	10 min. uitstroming	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr		$5 \cdot 10^{-7}$	
	10 mm lek	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr		$1 \cdot 10^{-5}$	
Pomp opslagtank	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766*0.99 9	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766*0.00 1	$1.4 \cdot 10^{-10}$	$1.04 \cdot 10^{-10}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	121.6/8766	$6.9 \cdot 10^{-7}$	$5.20 \cdot 10^{-7}$
Laadslang bunkerschip	Breuk slang, ingreep + inblokken	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.999*(1- 0.06)	$4.6 \cdot 10^{-5}$	$3.43 \cdot 10^{-5}$
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.999*0.0 6	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$2.19 \cdot 10^{-6}$
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	121.6*0.001	$4.9 \cdot 10^{-8}$	$3.65 \cdot 10^{-8}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	121.6	$4.9 \cdot 10^{-3}$	$3.65 \cdot 10^{-3}$

Scenario's		Basisfaal-freq.	Correctie factor	Frequentie bunkerstation (-/jr)	
				klein	groot
Pomp bunkerschip bij bunkeren	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	760/8766*0.999	$8.7 \cdot 10^{-7}$	$4.3 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	760/8766*0.001	$8.7 \cdot 10^{-10}$	$4.3 \cdot 10^{-10}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	760/8766	$4.3 \cdot 10^{-6}$	$2.2 \cdot 10^{-6}$
Bunkerslang binnenvaart-schip	Breuk slang, ingreep + inblokken	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	760*0.999*(1-0.06)	$2.9 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	760*0.999*0.06	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$9.1 \cdot 10^{-6}$
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	760*0.001	$3.0 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	760	$3.0 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$
Pomp bunkerschip bij laden binnenvaart-schip	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	30.4/8766*0.999		$3.5 \cdot 10^{-8}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	30.4*8766*0.001		$3.5 \cdot 10^{-11}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	30.4/8766		$1.7 \cdot 10^{-7}$
Laadslang binnenvaart-schip	Breuk slang, ingreep + inblokken	$4 \cdot 10^{-7}$ /h			$1.4 \cdot 10^{-5}$
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h			$7.3 \cdot 10^{-7}$
	Breuk slang, ingreep faalt inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h			$1.2 \cdot 10^{-8}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h			$1.2 \cdot 10^{-3}$
Pomp laden tankauto	Breuk pomp, ingreep	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	507/8766*0.9		$5.2 \cdot 10^{-7}$
	Breuk pomp, ingreep faalt	$1 \cdot 10^{-5}$ /jr	507/8766*0.1		$5.8 \cdot 10^{-8}$
	Lek pomp	$5 \cdot 10^{-5}$ /jr	507/8766		$2.9 \cdot 10^{-6}$
Leiding opslagvat-laadslang	Breuk leiding, ingreep + inblokken	$1 \cdot 10^{-6}$ /jr	507/8766*0.9*(1-0.06)		$4.9 \cdot 10^{-8}$
	Breuk leiding, ingreep + inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	507/8766*0.9*0.06		$3.1 \cdot 10^{-9}$
	Breuk leiding, ingreep faalt inblokken faalt	$1 \cdot 10^{-6}$ / jr	507/8766*0.1		$5.8 \cdot 10^{-9}$
	Lek	$5 \cdot 10^{-6}$ / jr	507/8766		$2.9 \cdot 10^{-7}$

Scenario's		Basisfaal- freq.	Correctie factor	Frequentie bunkerstation (-/jr)	
				klein	groot
	Breuk slang, ingreep + inblokken faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	507*0.9*0.06		$1.1 \cdot 10^{-5}$
	Breuk slang, ingreep faalt	$4 \cdot 10^{-7}$ /h	507*0.1		$2.0 \cdot 10^{-5}$
	Lek	$4 \cdot 10^{-5}$ /h	507		$2.0 \cdot 10^{-2}$
Tankauto	Instantaan falen	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	1 014/8766		$5.8 \cdot 10^{-8}$
	Falen grootste aansluiting	$5 \cdot 10^{-7}$ /jr	1 014/8766		$5.8 \cdot 10^{-8}$
	Instantaan falen a.g.v. brand tijdens verlading (warme BLEVE)	$5 \cdot 10^{-10}$ /h	507/20		$1.5 \cdot 10^{-8}$
	Instantaan falen a.g.v. brand (warme BLEVE)	$2 \cdot 10^{-6}$ /50h	1 014/50*0.24/20		$4.8 \cdot 10^{-8}$
	Instantaan falen a.g.v. externe impact (koude BLEVE)	$2.3 \cdot 10^{-7}$ /50h	1 014/50		$2.3 \cdot 10^{-4}$

D Invoerparameters en schadeafstanden LNG tankstation

In deze bijlage staan tabellen met een samenvatting van de invoerparameters zoals deze gebruikt zijn voor de berekening van de schadeafstanden. In deze tabellen staan, indien relevant, ook tussenresultaten en de schadeafstanden gegeven.

De totale lengte van de contouren zijn gegeven (lengte en breedte). Voor sommige effecten (plasbrand, wolkbrand) reiken de effecten bovenwinds. Voor die gevallen is de offset gegeven: de afstand van het begin van de contour tot aan het uitstroompunt. Een negatieve offset geeft aan dat de contour bovenwinds begint.

D.1 Tankauto

Tabel D-26 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- tankauto

Scenario	Instantaan		Grootste aansluiting		
Invoerparameters					
Volume (m ³)	33.7				
Temperatuur (°C)	-150				
Druk (barg)	1.4				
Diameter lek (mm)			50.8		
Tank head (m)			1		
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	13 640		13.0		
Uitstroomduur (s)			1 047		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		0.92		
Plasvorming	Nee		Ja		
Uitregenfractie (-)			0.0001		
Verdampingsdebiet (kg/s)			n.r.		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5		F1.5	
Fakkelbrand	100			55 x 30	70 x 23
	1			75 x 65	85 x 65
Vuurbal	100	90 x 90 (-45)	90 x 90 (-45)		
	1	110 x 110 (-55)	110 x 110 (-55)		
Wolkbrand (mxm)	100	500 x 500 (-250)	400 x 400 (-200)	165 x 165 (-83)	240 x 240 (-120)

Tabel D-27 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- tankauto BLEVE

Scenario		BLEVE a.g.v. brand tijdens verlading	BLEVE a.g.v. brand omgeving	BLEVE a.g.v. impact
Invoerparameters				
Barst druk (barg)		11.1	11.1	1.4
Vrijkomende hoeveelheid (kg)		13 640	13 640	13 640
Resultaten	letaliteit (%)			
BLEVE	100	210 x 210 (-105)	210 x 210 (-105)	140 x 140 (-70)
	1	410 x 410 (-205)	410 x 410 (-205)	270 x 270 (-135)

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk met ingreep opgenomen. Tussen haakjes zijn de parameters voor breuk zonder ingrijpen gegeven. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek.

Tabel D-28 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- pomp verlading

Scenario		Brek	Lek	
Invoerparameters				
Volume (m ³)		3.2 (33.7)	33.7	
Diameter leiding (mm)	76.2			
Afstand tot breuk (m)	5			
Diameter lek (mm)		76.2	7.62	
Tussenresultaten				
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		10.9	0.029	
Uitstroomduur (s)		120 (1 250)	1800	
Fractie vloeistofdruppels (-)		0.92	0.92	
Plasvorming		Nee	Nee	
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)		
		D5	F1.5	D5
		F1.5		F1.5
Fakkelfbrand	100	50 x 30	65 x 20	10 x 4
	1	65 x 60	80 x 60	13 x 10
Wolkebrand (mxm)	100	150 x 150 (-75)	220 x 220 (-110)	11 x 11 (-6)
				16 x 16 (-8)

Voor het falen van de losslang wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.

- de opslagtank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- bij ingreep van de chauffeur de pomp zal stoppen (uitstroomduur 120 s, faalkans 0.1) en zal de vulleiding ingeblokt worden.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit de opslagtank.

Tabel D-29 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation-uitstroming vanuit opslagtank bij breuk loslang

Scenario	Uitstroming vanuit opslagtank
Invoerparameters	
Volume (m ³)	33.7
Vloeistofhoogte (m)	4
Diameter leiding (mm)	50.8 (2 inch)
Afstand tot breuk (m)	10
Diameter lek (mm)	50.8
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	4.5
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92
Plasvorming	Nee

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de loslang:

- bij ingreep operator en inblokken is de uitstroomduur vanuit de opslagtank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de tankauto, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep operator en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit de tankauto gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslag.

Tabel D-30 Invoerparameters - LNG tankstation- breuk loslang

Scenario	Ingreep operator + inblokken	Ingreep operator + inblokken faalt	Ingreep operator faalt+ inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	4.5 + 3.4 = 7.9	4.5 + 3.4 = 7.9	4.5 + 3.4 = 7.9
Duur (s)	120	1 800	1 800

Tabel D-31 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- breuk losslang

Scenario	Ingreep operator + inblokken	Ingreep operator (faalt) + inblokken faalt			
Invoerparameters					
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.9	7.9			
Duur (s)	120	1 800			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	45 x 16	57 x 18	45 x 16	57 x 18
	1	57 x 52	70 x 52	57 x 52	70 x 52
Wolkbrand (mxm)	100	125 x	190 x	125 x	190 x
		125	190	125	190
		(-62)	(-95)	(-62)	(-95)

Tabel D-32 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- lek losslang

Scenario	Lek		
Invoerparameters			
Volume (m ³)	33.7		
Diameter leiding (mm)	50.8 (2 inch)		
Afstand tot breuk (m)	5		
Diameter lek (mm)	5.08		
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	0.13		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	8 x 4	10 x 2
	1	10 x 7	12 x 6
Wolkbrand	100	8 x 8 (-4)	10 x 10 (-5)

D.2 Opslagtank

Voor het falen van de vulleiding wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.
- de opslagtank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- bij ingreep van de chauffeur de pomp zal stoppen (uitstroomduur 120 s, faalkans 0.1) en zal de vulleiding ingeblokkeerd worden.

De schadeafstanden van deze scenario's zijn identiek aan de schadeafstanden voor de breuk van de losslang.

Tabel D-33 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- opslagtank

Scenario	Instantaan	10 min		10 mm			
Invoerparameters							
Volume (m ³)	34						
Temperatuur (°C)	-						
	150						
Druk (barg)	1.4						
Vloeistofhoogte (m)	4						
Tussenresultaten							
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)			22.9		0.53		
Uitstroomduur (s)			600		1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)			0.92				
Plasvorming	Nee		Ja				
Uitregenfractie (-)			0.0007				
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)					
		D5	F1.5	D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100			75 x 42	90 x 32	14 x 5	18 x 5
	1			95 x 90	110 x 90	18 x 14	22 x 13
Vuurbal	100	90 x 90 (-45)	90 x 90 (-45)				
	1	110 x 110 (-55)	110 x 110 (-55)				
Wolkbrand (mxm)	100	500 x 500 (-250)	400 x 400	220 x 220 (-110)	310 x 310 (-155)	16 x 16 (-8)	22 x 22 (-11)

Tabel D-34 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- pomp opslagtank

Scenario	Breuk	Lek
Invoerparameters		
Volume (m ³)		33.7
Diameter leiding (mm)	50.8	
Afstand tot breuk (m)	5	
Diameter lek (mm)	50.8	5.08
Tussenresultaten		
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	5.4	0.02
Uitstroomduur (s)	120	1 800
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92	0.92
Plasvorming	Nee	Nee

Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (m*m) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	40 x 20	48 x 13	5 x 3	6 x 3
	1	48 x 44	58 x 42	5 x 3	6 x 3
Wolkbrand (mxm)	100	100 x	160 x	4 x 4	5 x 5
		100	160	(-2)	(-3)
		(-50)	(-80)		

D.3 Buffervat 9 bar

Voor het falen van de leiding tussen de pomp van de opslagtank en het buffervat wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: vanuit de pomp van de opslagtank en vanuit de buffertank.
- de buffertank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- er automatische detectie en ingreep is bij breuk. De uitstroming wordt beperkt tot 120 s en de faalkans is 0.001.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit de buffertank. Voor de uitstroming vanuit de opslagtank wordt het uitstroomdebiet van pompbreuk gehanteerd.

Tabel D-35 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation-uitstroming vanuit buffervat bij breuk leiding

Scenario	Uitstroming vanuit buffervat 9 bar
Invoerparameters	
Volume (m ³)	9.5
Vloeistofhoogte (m)	2
Diameter leiding (mm)	25.4 (1 inch)
Afstand tot breuk (m)	10
Diameter lek (mm)	25.4
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	1.7
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.77
Plasvorming	Nee
Uitstroomduur (s)	1 800

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de leiding:

- bij ingreep en inblokken is de uitstroomduur vanuit de buffertank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslagtank, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep operator en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit de opslagtank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het buffervat.

Tabel D-36 Invoerparameters - LNG tankstation- breuk leiding opslagtank- buffervat

Scenario	Ingreep + inblokken	Ingreep + inblokken faalt	Ingreep + inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	5.4 + 1.7=7.1	5.4 + 1.7=7.1	5.4 + 1.7=7.1
Duur (s)	120	1 800	1 800

Tabel D-37 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- breuk leiding opslagtank- buffervat 9 bar

Scenario	Ingreep + inblokken		Ingreep (faalt) + inblokken faalt		
Invoerparameters					
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.1		7.1		
Duur (s)	120		1 800		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelbrand	100	38 x 20	48 x 16	38 x 20	48 x 16
	1	27 x 46	57 x 44	27 x 46	57 x 44
Wolkbrand	100	100 x 100	110 x 110	100 x 100	110 x 110
		(-50)	(-55)	(-50)	(-55)

Tabel D-38 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- lek leiding opslagtank- buffervat 9 bar

Scenario		Lek
Invoerparameters		
Volume (m ³)		34
Diameter leiding (mm)		25.4
Afstand tot breuk (m)		5
Diameter lek (mm)		2.54
Tussenresultaten		
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		0.0033
Uitstroomduur (s)		1 800
Fractie vloeistofdruppels (-)		0.92
Plasvorming		Nee
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)
		D5 F1.5
Fakkelfbrand	100	4 x 2 6 x 2
	1	5 x 2 6 x 2
Wolkebrand (mxm)	100	5 x 5 (-2) 6 x 6 (-3)

Tabel D-39 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- buffervat 9 bar

Scenario		Instantaan	10 min	10 mm			
Invoerparameters							
Volume (m ³)	9.5						
Temperatuur (°C)	-126						
Druk (barg)	8						
Vloeistofhoogte (m)	2						
Tussenresultaten							
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)			5.7	1.2			
Uitstroomduur (s)			600	1 800			
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.77		0.77	0.77			
Plasvorming	Nee		Nee	Nee			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)					
		D5	F1.5	D5	F1.5		
Fakkelfbrand	100			34 x 18	42 x 14	18 x 8	22 x 5
	1			42 x 40	50 x 38	22 x 19	26 x 18
Vuurbal	100	85 x 85 (-42)	85 x 85 (-42)				
	1	145 x 145 (-77)	145 x 145 (-77)				
Wolkebrand (mxm)	100	200 x 200 (-100)	85 x 85 (-42)	80 x 80 (-40)	95 x 95 (-47)	22 x 22 (-11)	32 x 32 (-16)

Tabel D-40 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- pomp buffervat 9 bar

Scenario		Breuk		Lek	
Invoerparameters					
Volume (m ³)					
Diameter leiding (mm)	25.4				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		25.4		2.54	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s)		2.1		0.0075	
Uitstroomduur (s)		120		1 800	
Fractie		0.77		0.76	
vloeistofdruppels (-)					
Plasvorming		Nee		Nee	
Resultaten		letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)		
			D5	F1.5	D5
					F1.5
Fakkelfbrand	100		23 x 11	29 x 8	5 x 3
	1		28 x 25	34 x 24	6 x 5
Wolkbrand (mxm)	100		36 x 36 (-18)	48 x 48 (-24)	6 x 6 (-3)
					8 x 8 (-4)

D.4 Aflevering 9 bar

Het afleverdebiet is 160 l/min (=1.1 kg/s). Bij het falen van de leiding blijft de pomp leveren op het pompdebiet.

Tabel D-41 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation-leiding buffervat dispenser 9 bar

Scenario		Breuk		Lek	
Invoerparameters					
Volume (m ³)					
Diameter leiding (mm)	25.4				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)				2.54	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/)		1.1		0.075	
Uitstroomduur (s)		120		1 800	
Fractie				0.77	
vloeistofdruppels (-)					
Plasvorming				Nee	
Resultaten		letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)		
			D5	F1.5	D5
					F1.5
Fakkelfbrand	100		16 x 8	21 x 4	5 x 3
	1		20 x 18	25 x 18	6 x 5
Wolkbrand (mxm)	100		20 x 20 (-10)	32 x 32 (-16)	6 x 6 (-3)
					8 x 8 (-4)

De schadeafstanden voor de afleverslang zijn identiek aan de schadeafstanden voor de leiding van het buffervat naar de dispenser.

D.5 Buffervat 18 bar

Voor het falen van de leiding tussen de pomp van de opslagtank en het buffervat wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: vanuit de pomp van de opslagtank en vanuit de buffertank.
- de buffertank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- er automatische detectie en ingreep is bij breuk. De uitstroming wordt beperkt tot 120 s en de faalkans is 0.001.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit de buffertank. Voor de uitstroming vanuit de opslagtank wordt het uitstroomdebiet van pompbreuk gehanteerd.

Scenario	Uitstroming vanuit buffervat 18 bar
Invoerparameters	
Volume (m ³)	9.5
Vloeistofhoogte (m)	2
Diameter leiding (mm)	25.4 (1 inch)
Afstand tot breuk (m)	10
Diameter lek (mm)	25.4
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	2.5
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.66
Plasvorming	
Uitstroomduur (s)	1 226

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de leiding:

- bij ingreep en inblokken is de uitstroomduur vanuit de buffertank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslagtank, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep operator en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit de opslagtank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het buffervat.

Tabel D-42 Invoerparameters - LNG tankstation- breuk leiding opslagtank- buffervat

Scenario	Ingreep + inblokken	Ingreep + inblokken faalt	Ingreep + inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	5.4 +2.5 = 7.9	5.4 +2.5 = 7.9	5.4 +2.5 = 7.9
Duur (s)	120	1 800	1 800

Tabel D-43 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- breuk leiding opslagtank- buffervat 18 bar

Scenario	Ingreep + inblokken	Ingreep (faalt) + inblokken faalt			
Invoerparameters					
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.9	7.9			
Duur (s)	120	1 800			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	40 x 5	50 x 16	40 x 5	50 x 16
	1	50 x 24	60 x 46	50 x 24	60 x 46
Wolkbrand	100	105 x 105	120 x 120	105 x 105 (-50)	120 x 120 (-56)
		(-50)	(-56)		

Tabel D-44 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- leiding opslagtank- buffervat 18 bar

Scenario	Lek		
Invoerparameters			
Volume (m ³)	34		
Diameter leiding (mm)	25.4		
Afstand tot breuk (m)	5		
Diameter lek (mm)	2.54		
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	0.0033		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	4 x 2	6 x 2
	1	5 x 2	6 x 2
Wolkbrand	100	5 x 5 (-2)	6 x 6 (-3)

Tabel D-45 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- buffervat 18 bar

Scenario	Instantaan	10 min		10 mm			
Invoerparameters							
Volume (m ³)	9.5						
Temperatuur (°C)	-110						
Druk (barg)	17						
Vloeistofhoogte (m)	1						
Tussenresultaten							
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)			5.2		1.7		
Uitstroomduur (s)			600		1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.67		0.67		0.67		
Plasvorming	Nee		Nee		Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)					
		D5	F1.5	D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelbrand	100			30 x 16	38 x 12	19 x 9	24 x 5
	1			38 x 36	47 x 36	24 x 21	28 x 20
Vuurbal	100	140 x 140 (-70)	140 x 140 (-70)				
	1	210 x 210 (-105)	210 x 210 (-105)				
Wolkbrand (mxm)	100	95 x 95 (-47)	55 x 55 (-28)	60 x 60 (-30)	70 x 70 (-35)	23 x 23 (-11)	32 x 32 (-16)

Tabel D-46 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- pomp buffervat 18 bar

Scenario	Breuk		Lek		
Invoerparameters					
Volume (m ³)					
Diameter leiding (mm)	25.4				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		25.4		2.54	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		3.2		0.011	
Uitstroomduur (s)		120		1 800	
Fractie vloeistofdruppels (-)		0.67		0.67	
Plasvorming		Nee			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelbrand	100	25 x 12	32 x 9	5 x 3	7 x 3
	1	31 x 30	37 x 28	7 x 5	8 x 5
Wolkbrand (mxm)	100	40 x 40 (-20)	50 x 50 (-25)	6 x 6 (-3)	8 x 8 (-4)

D.6 Aflevering 18 bar

Het afleverdebiet is 160 l/min (=1.1 kg/s). Bij het falen van de leiding blijft de pomp leveren op het pompdebiet.

Tabel D-47 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG tankstation- leiding buffervat dispenser 18 bar

Scenario	Breuk		Lek		
Invoerparameters					
Volume (m ³)					
Diameter leiding (mm)	25.4				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		25.4		2.54	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	3.2			0.0096	
Uitstroomduur (s)	120			1 800	
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.67			0.64	
Plasvorming	Nee				
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	25 x 12	32 x 9	5 x 2	4 x 2
	1	31 x 30	37 x 24	5 x 2	4 x 2
Wolkbrand (mxm)	100	40 x 40 (-20)	50 x 50 (-25)	2 x 2 (-1)	2 x 2 (-1)

De schadeafstanden voor de afleverslang zijn identiek aan de schadeafstanden voor de leiding van het buffervat naar de dispenser.

E Invoerparameters en schadeafstanden LNG bunkerstation

E.1 LNG aflevering

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk van de pomp met ingreep opgenomen. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek. Aangenomen is dat bij breuk van de pomp de ESD in werking treedt binnen 20 s.

Tabel E-48 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- pomp verlading

Scenario	Breuk		Lek		
Invoerparameters					
Volume (m ³)	320				
Vloeistofhoogte (m)	6				
Diameter leiding (mm)	127				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		127		12.7	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	64.1			0.87	
Uitstroomduur (s)	20			1800	
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92			0.92	
Plasvorming	Ja	Ja		Nee	
Uitregenfractie (-)	0.003	0.022			
Dampdebiet (kg/s)	0.17	1.05			
Totale dampdebiet (kg/s)	64.1	63.7			
Max. straal plas (m)	0.56	1.36			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	115 x 70	145 x 55	17 x 7	22 x 6
	1	145 x 140	170 x 140	21 x 18	26 x 17
Plasbrand	100	3 x 3 (41)	8 x 8 (31)		
	1	5 x 4 (40)	20 x 18 (28)		
Wolkbrand (mxm)	100	370 x 370 (-185)	480 x 480 (-240)	24 x 24 (-12)	32 x 32 (-16)

Voor het falen van de losslang wordt aangenomen dat

- de LNG tanker voorzien is van een emergency shutdown system (ESD) met een faalkans van 0.001 en een reactietijd van 20 s.
- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.
- de opslagtank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit de opslagtank.

Tabel E-49 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation -uitstroming vanuit opslagtank bij breuk losslang

Scenario	Uitstroming vanuit opslagtank
Invoerparameters	
Volume (m ³)	800
Vloeistofhoogte (m)	10
Diameter leiding (mm)	127
Afstand tot breuk (m)	25
Diameter lek (mm)	127
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	40.0
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de losslang:

- bij ingreep en inblokken is de uitstroomduur vanuit het schip gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslagtank, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit de opslagtank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het schip.

Tabel E-50 Invoerparameters - LNG bunkerstation - breuk losslang

Scenario	ESD + inblokken	ESD + inblokken faalt	Ingreep faalt+ inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	56 + 40= 96	56 + 40= 96	56 + 40=
Duur (s)	5	20	1 800

In de volgende tabel staan de schadeafstanden voor de situatie waarbij alle maatregelen werken. de schadeafstanden van de overige situaties zijn identiek.

Tabel E-51 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - breuk losslang

Scenario		Ingreep ESD + inblokken	
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	96		
Duur (s)	5		
Tussenresultaten			
Plasvorming	Ja	Ja	
Uitregenfractie (-)	0.0054	0.034	
Dampdebiet (kg/s)	0.26	1.0	
Totale dampdebiet (kg/s)	95.7	93.7	
Max. straal plas (m)	0.67	1.3	
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	140 x 90	170 x 70
	1	180 x 170	205 x 170
Plasbrand	100	4 x 4	11 x 10 (34)
	1	9 x 8	26 x 24 (29)
Wolkbrand (mxm)	100	440 x 440 (-220)	560 x 560 (-280)

Tabel E-52 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - lek losslang

Scenario		Lek	
Invoerparameters			
Volume (m ³)	320		
Diameter leiding (mm)	127		
Diameter lek (mm)	12.7		
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	0.87		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	18 x 7	22 x 6
	1	22 x 18	26 x 17
Wolkbrand	100	24 x 24 (-12)	32 x 32 (-16)

E.2 Opslagtank

Voor het falen van de vulleiding wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.
- de opslagtank voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- bij ingreep van de ESD zal de pomp stoppen (uitstroomduur 5 s, faalkans 0.001) en zal de vulleiding ingeblokkeerd worden.

De schadeafstanden van deze scenario's zijn identiek aan de schadeafstanden voor de breuk van de losslang.

Tabel E-53 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- opslagtank

Scenario	Instantaan	10 min		10 mm			
Invoerparameters							
Volume (m ³)	800						
Temperatuur (°C)	-						
	150						
Druk (barg)	1.4						
Vloeistofhoogte (m)	10						
Tussenresultaten							
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		540		0.57			
Uitstroomduur (s)		600		1 800			
Fractie	0.92	0.92		0.92			
vloeistofdruppels (-)							
Plasvorming	Nee	Ja	Ja	Nee			
Uitregenfractie (-)		0.14	0.32				
Verdampingsdebiet (kg/s)		70.0	152.0				
Totale dampdebiet (kg/s)		533	520.5				
Max. straal plas (m)		25	40.2				
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)					
		D5	F1.5	D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100			300 x 210	360 x 175	15 x 5	18 x 5
	1			385 x 385	445 x 395	18 x 14	22 x 13
Plasbrand	100			165 x 155	225 x 215		
	1			(25)	(-35)		
				300 x 312	460 x 460		
				(-40)	(-150)		
Vuurbal	100	250 x 250	250 x 250				
		(-125)	(-125)				
	1	670 x 670	670 x 670				
		(-335)	(-335)				
Wolkbrand (mxm)	100	1 560 x 1	1 600 x 1	1 020 x 1	1 200 x 1	17 x	23 x
		560	600	020	200	17	23
		(-780)	(-800)	(-510)	(-600)	(-9)	(-12)

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk van de pomp met ingreep opgenomen. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek. Aangenomen is dat bij breuk van de pomp de ESD in werking treedt binnen 20 s.

Tabel E-54 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- pomp opslagtank

Scenario	Breuk		Lek		
Invoerparameters					
Volume (m ³)	800				
Vloeistofhoogte (m)	10				
Diameter leiding (mm)	127				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)	127		12.7		
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	78.3		0.91		
Uitstroomduur (s)	20		1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		0.92		
Plasvorming	Ja	Ja	Nee		
Uitregenfractie (-)	0.0046	0.025			
Dampdebiet (kg/s)	0.31	1.4			
Totale dampdebiet (kg/s)	78.3	77.8			
Max. straal plas (m)	0.75	1.6			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	125 x 80	155 x 60	18 x 7	22 x 6
	1	160 x 155	190 x 156	22 x 19	27 x 19
Plasbrand	100	3 x 3 (45)	11 x 10 (34)		
	1	8 x 6 (44)	26 x 25 (29)		
Wolkbrand (mxm)	100	420 x 420 (-210)	520 x 520 (-260)	25 x 25 (-13)	32 x 32 (-16)

E.3 Bunkerschip

Voor het falen van de laadslang tussen de pomp van de opslagtank en het bunkerschip wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: vanuit de pomp van de opslagtank en vanuit het bunkerschip.
- het bunkerschip voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- er automatische detectie en ingreep is bij breuk. De uitstroming wordt beperkt tot 20 s en de faalkans is 0.001.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit het bunkerchip. Voor de uitstroming vanuit de opslagtank wordt het uitstroomdebiet van pompbreuk gehanteerd.

Tabel E-55 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation -uitstroming vanuit bunkerschip bij breuk laadslang bunkerschip

Scenario	Uitstroming vanuit bunkerschip
Invoerparameters	
Volume (m ³)	304
Vloeistofhoogte (m)	1
Diameter leiding (mm)	127
Afstand tot breuk (m)	25
Diameter lek (mm)	127
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	25.1
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92
Plasvorming	Verwaarloosbaar

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de leiding:

- bij ingreep en inblokken is de uitstroomduur vanuit de opslagtank gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het bunkerschip, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep ESD en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit het bunkerschip gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslagtank.

Tabel E-56 Invoerparameters - LNG bunkerstation - breuk laadslang bunkerschip

Scenario	Ingreep + inblokken	Ingreep + inblokken faalt	Ingreep + inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	56 + 25.1 = 81.1	56 + 25.1 = 81.1	56 + 25.1 = 81.1
Duur (s)	5	20	1 800

In de tabel staan de resultaten gegeven voor de situatie waarbij ingreep plaatsvindt. De effectafstanden voor de situatie waarbij de ingreep faalt zijn identiek.

Tabel E-57 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - breuk laadslang bunkerschip

Scenario		Ingrep	
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)		81.1	
Duur (s)		20	
Tussenresultaten			
Plasvorming		Ja	
Uitregenfractie (-)		0.005	0.04
Verdampingsdebiet (kg/s)		0.34	2.1
Totale dampdebiet (kg/s)		81.0	80.2
Gem straal plas (m)		0.79	1.9
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelbrand	100	130 x 80	160 x 65
	1	165 x 160	190 x 160
Plasbrand	100	4 x 4 (44)	15 x 13 (31)
	1	8 x 8 (42)	35 x 36 (24)
Wolkbrand (mxm)	100	420 x 420 (-210)	500 x 500 (-250)

Tabel E-58 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - lek laadslang bunkerschip

Scenario		Lek	
Invoerparameters			
Volume (m ³)		800	
Diameter leiding (mm)		127	
Diameter lek (mm)		12.7	
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	0.91		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelbrand	100	18 x 7	22 x 6
	1	22 x 18	26 x 17
Wolkbrand	100	24 x 24 (-12)	32 x 32 (-16)

E.1.1 Pomp bunkerschip bij bunkeren binnenvaartschip

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk met ingreep opgenomen. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek.

Tabel E-59 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- pomp bunkerschip bij bunkeren

Scenario		Breuk		Lek	
Invoerparameters					
Volume (m ³)	304				
Diameter leiding (mm)	76				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		76		7.6	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		10.9		0.29	
Uitstroomduur (s)		20		1 800	
Fractie vloeistofdruppels (-)					
Plasvorming		Verwaarl oos-baar		nee	
Resultaten		letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)		
			D5	F1.5	D5 F1.5
Fakkelfbrand	100	52 x 15	65 x 20	11 x 4	14 x 4
	1	65 x 60	80 x 60	14 x 11	16 x 9
Wolkbrand (mxm)	100	150 x 150 (-75)	220 x 220 (-110)	12 x 12 (-6)	16 x 16 (-8)

E.1.2 Pomp bunkerschip bij laden binnenvaartschip

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk met ingreep opgenomen. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek.

Tabel E-60 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- pomp bunkerschip bij laden

Scenario		Breuk		Lek	
Invoerparameters					
Volume (m ³)	304				
Diameter leiding (mm)	127				
Afstand tot breuk (m)	5				
Diameter lek (mm)		127		12.7	
Tussenresultaten					
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		33.3		0.18	
Uitstroomduur (s)		120			
Fractie vloeistofdruppels (-)		0.92		0.92	
Plasvorming		Verwaarloosbaar		nee	
Resultaten		letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)		
			D5	F1.5	D5
					F1.5
Fakkelfbrand	100	85 x 50	110 x 40	8 x 4	11 x 4
	1	110 x 105	130 x 105	11 x 7	13 x 7
Wolkbrand (mxm)	100	270 x 270	360 x 360	10 x	12 x
		(-135)	(-180)	10	12
				(-5)	(-6)

E.4 Binnenvaartschip

E.1.3 Bunkeren binnenvaartschip

Voor het falen van de leiding tussen de pomp van het bunkerschip en het binnenvaartschip wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet ($80 \text{ m}^3/\text{h} = 8.9 \text{ kg/s}$) en vanuit het binnenvaartschip vindt ook uitstroming plaats.
- het bunkerschip voorzien is van een emergency shutdown system (ESD) met een faalkans van 0.001 en een reactietijd van 20 s.
- het binnenvaartschip voorzien is van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit het binnenvaartschip. Voor de uitstroming vanuit het bufferschip wordt het uitstroomdebiet van pompbreuk gehanteerd.

Tabel E-61 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation-uitstroming vanuit binnenvaartschip bij breuk bunkerslang

Scenario	Uitstroming vanuit binnenvaartschip
Invoerparameters	
Volume (m ³)	72
Vloeistofhoogte (m)	1
Diameter leiding (mm)	76.2
Afstand tot breuk (m)	25
Diameter lek (mm)	76.2
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.7
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92
Plasvorming	verwaarloosbaar

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de bunkerslang:

- de uitstroomduur vanuit het binnenvaartschip gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het bunkerschip, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.

Tabel E-62 Invoerparameters - LNG bunkerstation- breuk bunkerslang

Scenario	Ingreep + inblokken	Ingreep + inblokken faalt	Ingreep + inblokken faalt
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.6 +8.9= 16.5	7.6 +8.9= 16.5	7.6 +8.9= 16.5
Duur (s)	5	20	1 800

In de tabel staan de resultaten gegeven voor de situatie waarbij ingreep plaatsvindt. De effectafstanden voor de situatie waarbij de ingreep faalt zijn identiek.

Tabel E-63 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - breuk bunkerslang

Scenario	Ingreep		
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	16.5		
Duur (s)	20		
Tussenresultaten			
Plasvorming	Verwaarloosbaar		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelbrand	100	65 x 35	80 x 26
	1	80 x 75	95 x 75
Wolkbrand (mxm)	100	190 x 190 (-95)	260 x 260 (-130)

Tabel E-64 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - lek bunkerslang

Scenario		Lek	
Invoerparameters			
Volume (m ³)	304		
Diameter leiding (mm)	127		
Diameter lek (mm)	7.6		
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	0.29		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelbrand	100	11 x 4	14 x 4
	1	14 x 11	16 x 9
Wolkbrand	100	12 x 12 (-6)	16 x 16 (-8)

E.1.4 Laden binnenvaartschip

Voor het falen van de leiding tussen de pomp van het bunkerschip en het binnenvaartschip wordt aangenomen dat

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet (500 m³/h = 56 kg/s) en vanuit het binnenvaartschip vindt ook uitstroming plaats.
- het bunkerschip voorzien is van een emergency shutdown system (ESD) met een faalkans van 0.001 en een reactietijd van 20 s.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit het binnenvaartschip. Voor de uitstroming vanuit het bunkerschip wordt het uitstroomdebiet van pompbreuk gehanteerd.

Tabel E-65 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation-uitstroming vanuit binnenvaartschip bij breuk laadslang

Scenario		Uitstroming vanuit binnenvaartschip
Invoerparameters		
Volume (m ³)	320	
Vloeistofhoogte (m)	1	
Diameter leiding (mm)	127	
Afstand tot breuk (m)	25	
Diameter lek (mm)	127	
Tussenresultaten		
Uitstroomdebiet (kg/s)	25.1	
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92	
Plasvorming	verwaarloosbaar	

Aangezien de uitstroming vanuit de cargotank van het binnenvaartschip gelijk is aan uitstroming vanuit de brandstoftank, verloopt de rest van het scenario hetzelfde als voor het falen/ lek van de bunkerslang. Deze schadeafstanden staan in de voorgaande paragraaf.

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de leiding:

- de uitstroomduur vanuit het binnenvaartschip gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit het bunkerschip, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.

Tabel E-66 Invoerparameters - LNG bunkerstation- breuk laadslang binnenvaartschip

Scenario	Ingrep	Ingrep faalt
Invoerparameters		
Uitstroomdebiet (kg/s)	56 +25.1= 81.1	56 + 25.1 81.1
Duur (s)	20	1 800

In de tabel staan de resultaten gegeven voor de situatie waarbij ingrep plaatsvindt. De effectafstanden voor de situatie waarbij de ingrep faalt zijn identiek.

Tabel E-67 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - breuk laadslang binnenvaartschip

Scenario	Ingrep		
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	81.1		
Duur (s)	20		
Tussenresultaten			
Plasvorming	Ja		
Uitregenfractie (-)	0.005	0.04	
Verdampingsdebiet (kg/s)	0.34	2.1	
Totale dampdebiet (kg/s)	81.0	80.2	
Gem straal plas (m)	0.79	1.9	
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelbrand	100	130 x 80	160 x 65
	1	165 x 160	190 x 160
Plasbrand	100	4 x 4 (44)	15 x 13 (31)
	1	8 x 8 (42)	35 x 36 (24)
Wolkbrand (mxm)	100	420 x 420 (-210)	500 x 500 (-250)

Tabel E-68 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation - lek laadslang binnenvaartschip

Scenario		Lek	
Invoerparameters			
Volume (m ³)	304		
Diameter leiding (mm)	127		
Diameter lek (mm)	50		
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)	12.6		
Uitstroomduur (s)	1 800		
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92		
Plasvorming	Nee		
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)	
		D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	55 x 30	70 x 22
	1	70 x 65	85 x 65
Wolkbrand	100	160 x 160 (-80)	240 x 240 (-120)

E.5 Tankauto

E.1.5 Laden tankauto

In de volgende tabel is alleen het scenario voor breuk met ingreep opgenomen. Tussen haakjes zijn de parameters voor breuk zonder ingrijpen gegeven. De effectafstanden met en zonder ingreep zijn identiek.

Tabel E-69 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- pomp laden tankauto

Scenario		Breuk	Lek
Invoerparameters			
Volume (m ³)		6.6 (800)	800
Diameter leiding (mm)	76.2		
Afstand tot breuk (m)	5		
Diameter lek (mm)		76.2	7.62
Tussenresultaten			
Uitstroomdebiet (kg/s of kg)		22.2	0.33
Uitstroomduur (s)		120 (1 800)	1800
Fractie vloeistofdruppels (-)		0.92	0.92
Plasvorming		Nee	Nee

Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	70 x 40	90 x 30	11 x 4	14 x 4
	1	90 x 85	110 x 85	14 x 11	17 x 10
Wolkbrand (mxm)	100	220 x 220	305 x 305	12 x 12	16 x 16
		(-110)	(-152)	(-6)	(-8)

Voor het falen van de leiding van de pomp naar de laadslang wordt aangenomen dat:

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.
- de tankauto is voorzien van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- bij ingreep van de chauffeur de pomp zal stoppen (uitstroomduur 120 s, faalkans 0.1) en zal de vulleiding ingeblokt worden.

De volgende tabel toont de gegevens voor de uitstroming vanuit de opslagtank.

Tabel E-70 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation-uitstroming vanuit tankauto bij breuk leiding pomp- losslang

Scenario	Uitstroming vanuit tankauto
Invoerparameters	
Volume (m ³)	33.7
Vloeistofhoogte (m)	1
Diameter leiding (mm)	50.8 (2 inch)
Afstand tot breuk (m)	10
Diameter lek (mm)	50.8
Tussenresultaten	
Uitstroomdebiet (kg/s)	3.8
Fractie vloeistofdruppels (-)	0.92
Plasvorming	Nee

De volgende tabel toont de uitstroomdebieten die gehanteerd zijn voor de verschillende scenario's voor het falen van de leiding van de pomp naar de laadslang:

- bij ingreep operator en inblokken is de uitstroomduur vanuit de tankauto gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de opslagtank, aangezien er met 1 bron gerekend moet worden en de initiële condities bepalend zijn voor brandscenario's.
- bij ingreep operator en inblokken faalt is de uitstroomduur vanuit de opslag gelijkgesteld aan de uitstroomduur vanuit de tankauto.

Tabel E-71 Invoerparameters - LNG bunkerstation- breuk leiding opslagtank- laadslang

Scenario	Ingreep operator + inblokken	Ingreep operator + inblokken faalt	Ingreep operator faalt+ inblokken faalt
Invoerparameters			
Uitstroomdebiet (kg/s)	3.8 + 3.4 = 7.2	3.8 + 3.4 = 7.2	3.8 + 3.4 = 7.2
Duur (s)	120	1 800	1 800

Tabel E-72 Invoerparameters en schadeafstanden - LNG bunkerstation- breuk leiding opslagtank- laadslang

Scenario	Ingreep operator + inblokken	Ingreep operator (faalt) + inblokken faalt			
Invoerparameters					
Uitstroomdebiet (kg/s)	7.2	7.2			
Duur (s)	120	1 800			
Resultaten	letaliteit (%)	Effectafstand (mxm) (offset, m)			
		D5	F1.5	D5	F1.5
Fakkelfbrand	100	45 x 22	55 x 17	45 x 22	55 x 17
	1	57 x 52	65 x 50	57 x 52	65 x 50
Wolkbrand (mxm)	100	120 x	185 x	120 x	185 x
		120	185	120	185
		(-62)	(-90)	(-62)	(-90)

De effectafstanden voor een lek in de leiding zijn vergelijkbaar met de effectafstanden voor een lek in de losslang van het tankstation, zie Tabel D-32.

Voor het falen van de losslang wordt aangenomen dat:

- er sprake is van tweezijdige uitstroming: de pomp blijft doorpompen op het pompdebiet en vanuit de opslagtank vindt ook uitstroming plaats.
- de tankauto is voorzien van een terugslagklep. Deze heeft een faalkans van 0.06 en een reactietijd van 5 s.
- bij ingreep van de chauffeur de pomp zal stoppen (uitstroomduur 120 s, faalkans 0.1) en zal de vulleiding ingeblokkeerd worden.

De schadeafstanden voor de breuk en een lek van de laadslang zijn vergelijkbaar aan de schadeafstanden voor de breuk en lek van de leiding tussen de opslagtank en de losslang.

E.1.6 Tankauto

Voor de scenario's van de tankauto is aangenomen dat deze identiek zijn aan de tankauto scenario's op een tankstation, zie hiervoor bijlage D.1.