



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Effect van risicoreducerende maatregelen op het plaatsgebonden risico van LPG-tankstations

RIVM-briefrapport 2021-0184
M. van der Linden | G. Stam



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Effect van risicoreducerende maatregelen op het plaatsgebonden risico van LPG-tankstations

RIVM-briefrapport 2021-0184
M. van der Linden | G. Stam

Colofon

© RIVM 2022

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

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2021-0184

M. van der Linden (auteur), RIVM
G. Stam (auteur), RIVM

Contact:
Centrum Veiligheid
omgevingsveiligheid@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van M/260119/21 – Veiligheid bedrijven.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Effect van risicoreducerende maatregelen op het plaatsgebonden risico van LPG-tankstations

Auto's die op autogas (LPG) rijden kunnen tanken bij LPG-tankstations. Vanwege de veiligheid moet er voldoende afstand zijn tussen een LPG-tankstation en woningen in de buurt. Deze afstanden staan in de Revi (Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen) en zijn gebaseerd op berekeningen van het RIVM. Het RIVM heeft de afstanden tussen LPG-tankstations en woningen nu opnieuw berekend. In dit onderzoek gaat het specifiek over een onderdeel daarvan: de veiligheid wanneer de tankauto's de LPG-reservoirs op het station vullen.

Tot nu toe ging het RIVM bij de berekeningen uit van twee veiligheidsmaatregelen voor de tankauto's die LPG vervoeren: een hittewerende coating en een verbeterde vulslang. De coating is een laag op de tank die de tankauto beschermt tegen brand. De verbeterde vulslang breekt minder snel als het LPG uit de tankauto wordt gepompt.

De kans op een ongeluk is kleiner wanneer een tankauto de twee maatregelen heeft ingevoerd, maar de maatregelen zijn niet verplicht. De afstanden zijn daarom berekend voor tankauto's met en zonder de veiligheidsmaatregelen. Zo wordt duidelijk wat het effect is van de maatregelen op de afstand tussen een LPG-tankstation en woningen. Naar verwachting hebben de meeste Nederlandse LPG-tankauto's de coating en verbeterde vulslang.

Uit de berekeningen blijkt dat de afstand tussen een LPG-tankstation en woningen groter moet zijn als een tankauto een van de twee of geen maatregelen heeft uitgevoerd. Zonder de maatregelen kunnen de afstanden meer dan twee keer zo groot zijn. Hoe groot deze afstand precies moet zijn, wordt bepaald door het aantal keren dat de LPG-tankauto het LPG-reservoir op het tankstation bijvult.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) bepaalt uiteindelijk welke afstanden in de Revi staan. Het RIVM raadt IenW aan om de afstanden die gebaseerd zijn op nieuwe berekeningen te gebruiken in de wet- en regelgeving. Een aanpassing van de wet- en regelgeving kan nodig zijn vanwege een uitspraak van het Europese Hof van Justitie over veiligheidsmaatregelen bij LPG-tankauto's. Het onderzoek is in opdracht van het ministerie van IenW gedaan.

Kernwoorden: autogas, omgevingsveiligheid, LPG-tankstation

Synopsis

Effect of risk reducing measures on safety distance of LPG filling stations.

Cars that run on liquified petroleum gas (LPG) can fill up at LPG filling stations. For safety reasons, there must be sufficient distance between an LPG filling station and nearby homes. These distances are included in the Revi (Regulation on External Safety of Facilities) and based on RIVM calculations. RIVM has now recalculated the distances between LPG filling stations and homes. This study focuses specifically on the following aspect: safety when road tankers fill the LPG storage tanks at the filling station.

Until now, RIVM based its calculations on two safety measures for the road tankers that transport LPG: a heat-resistant coating and an improved filling hose. The coating is a layer that protects the tank of the road tanker against fire. The improved filling hose is less likely to break when the LPG is pumped from the road tanker at the filling station.

The risk of an accident is lower when a road tanker has introduced both safety measures, but these measures are not mandatory. The distances have therefore been calculated for road tankers with and without these safety measures, to indicate the effect of the measures on the distance between an LPG filling station and nearby homes. Most Dutch road tankers are expected to be equipped with the coating material and improved filling hose.

The calculations show that a larger distance between an LPG filling station and homes is needed if a road tanker has implemented just one or none of the measures. Without both measures, the distances could be more than twice as large. The exact distance is determined by the number of times the LPG road tanker is supplying the filling station with LPG.

The Ministry of Infrastructure and Water Management ultimately decides which distances are included in the Revi. RIVM recommends the Ministry of Infrastructure and Water Management to use the distances that are based on the new calculations. Changing the fixed distances could be necessary due to a ruling of the European Court of Justice on safety measures for LPG road tankers. The study was carried out on behalf of the Ministry of Infrastructure and Water Management.

Keywords: liquified petroleum gas, environmental safety, LPG filling station

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Aanleiding — 11
- 1.2 Risicoreducerende maatregelen — 12
- 1.3 Huidige situatie (Revi en circulaire) — 12
 - 1.3.1 Revi — 12
 - 1.3.2 Circulaire — 13
- 1.4 Toekomstige situatie (Bal en Bkl) — 13
 - 1.4.1 Bal — 13
 - 1.4.2 Bkl — 13
- 1.5 Afbakening/scope — 14
- 1.6 Leeswijzer — 14

2 Scenario's en faalfrequenties — 15

- 2.1 Scenario's opslag — 16
- 2.2 Scenario's verlading — 16
 - 2.2.1 Intrinsiek falen tankauto — 17
 - 2.2.2 Falen losslang — 17
 - 2.2.3 Falen pomp — 18
 - 2.2.4 BLEVE-scenario's — 18
- 2.3 Nalevering en terugstroming — 23
- 2.4 Terreingrens — 23
- 2.5 De invloed van de hittewerende coating en verbeterde losslang — 24

3 Resultaten — 25

- 3.1 Plaatsgebonden risico — 25
 - 3.1.1 Risk transects — 26
- 3.2 Aandachtsgebieden — 27
 - 3.2.1 Vergelijking met aandachtsgebieden Bkl — 28

4 Conclusies en aanbevelingen — 29

Literatuur — 31

Bijlage A Overzicht van wijzigingen in het rekenbestand — 33

Bijlage B Overige berekeningen — 34

- 1.1 Meenemen van de pomp tijdens verlading — 34
 - 1.1.1 Beschrijving scenario's — 34
 - 1.1.2 Resultaten — 35
- 1.2 Verschillende terreingrenzen (boundaries) — 35

Samenvatting

Voor LPG (Liquefied Petroleum Gas) tankstations zijn in de regelgeving vaste risicoafstanden opgenomen. De afstanden zijn vastgesteld op basis van berekeningen waarbij ervan is uitgegaan dat de LPG-tankauto's uitgerust zijn met twee risicoreducerende maatregelen, namelijk een verbeterde losslang en een hittewerende coating. Hierdoor is de kans op bepaalde ongevalsscenario's verlaagd.

Uit een recente uitspraak van het Europese Hof van Justitie blijkt dat het opleggen van strengere constructievoorschriften (i.c. een hittewerende coating) ten opzichte van de ADR-constructievoorschriften (al dan niet) via de omgevingsvergunning in strijd is met Europese regelgeving. Dit is overgenomen door de Raad van State in een uitspraak over een LPG-tankstation in Purmerend. De aanwezigheid van een hittewerende coating als risicoreducerende maatregel kan dus niet in de omgevingsvergunning geborgd worden.

In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM nieuwe berekeningen gedaan voor situaties waarbij één of beide risicoreducerende maatregelen niet aanwezig zijn. Ook zijn de aandachtsgebieden bepaald en is bij alle berekeningen gebruik gemaakt van de nieuwste versie van de QRA software.

De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van 1×10^{-6} per jaar (PR 1×10^{-6} /jaar) neemt toe voor alle doorzetten indien de verbeterde losslang en/of hittewerende coating niet wordt/worden meegenomen.

De berekende afstanden van het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied zijn groter dan de afstanden die daarvoor zijn opgenomen in het Besluit kwaliteit leefomgeving.

1 Inleiding

LPG (Liquefied Petroleum Gas) tankstations zijn inrichtingen voor het afleveren van LPG aan motorvoertuigen voor het wegverkeer. LPG is een zeer licht ontvlambaar gas dat onder hoge druk is samengeperst tot een vloeistof.

LPG-tankstations vallen onder de reikwijdte van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) [1]. Het Bevi verplicht veiligheidsafstanden aan te houden tussen risicovolle bedrijven en (beperkte) kwetsbare objecten in de omgeving. De afstand tussen risicovolle bedrijven en de omgeving moet voldoen aan de norm van 1×10^{-6} per jaar voor het plaatsgebonden risico. Deze afstand kan berekend worden met een kwantitatieve risicoanalyse (QRA, quantitative risk assessment) of is voorgeschreven in de Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi) [2]. Voor LPG-tankstations met een doorzet vanaf 50 m³ per jaar, en waarvan de opslagcapaciteit voor LPG niet meer bedraagt dan 50 ton zijn vaste veiligheidsafstanden in de Revi voorgeschreven.

Naar verwachting treedt de Omgevingswet in 2022 of 2023 in werking [3]. Onder de Omgevingswet zijn in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) de risicoafstanden uit de Revi overgenomen [4]. In het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) zijn vaste afstanden opgenomen voor het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied [5].

1.1 Aanleiding

De veiligheidsafstanden in de Revi zijn gebaseerd op berekeningen waarin een tweetal risicoreducerende maatregelen is meegenomen. De maatregelen zijn dat LPG-tankauto's voorzien zijn van een hittewerende coating en dat gebruik gemaakt wordt van een verbeterde losslang van de tankwagen [6]. Dit is gebaseerd op het Convenant LPG-autogas van 22 juni 2005 [7]. Latere afspraken zijn vastgelegd in de *Circulaire effectafstanden externe veiligheid LPG-tankstations* uit 2016 [8] (hierna: circulaire). Wanneer deze maatregelen aanwezig zijn, gelden er lagere kansen voor een aantal scenario's in de risicoberekening (zie paragraaf 1.2).

Gevaarlijke stoffen moeten vervoerd worden volgens regels van het ADR (Accord relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route). Het ADR is het pan-Europese verdrag voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg. Uit een recente uitspraak van het Europese Hof van Justitie blijkt dat het opleggen van strengere constructievoorschriften (i.c. een hittewerende coating) ten opzichte van de Europese constructievoorschriften ADR-constructievoorschriften (al dan niet) via de lokale omgevingsvergunning in strijd is met Europese regelgeving [9]. Dit is overgenomen door de Raad van State in een uitspraak over een LPG-tankstation in Purmerend. De aanwezigheid van een hittewerende coating als risicoreducerende maatregel kan dus niet in de omgevingsvergunning geborgd worden. Bij de berekeningen die ten grondslag liggen aan de risicoafstanden in de

Revi is aangenomen dat zowel een hittewerende coating als verbeterde vulsslang aanwezig zijn.

Vooruitlopend op de mogelijkheid dat de afstanden voor het plaatsgebonden risico in de Revi en het Bal moeten worden aangepast, heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan het RIVM gevraagd de risicoafstanden voor LPG-tankstations in de Revi en het Bal te herberekenen. Bij die herberekening is gevraagd uit te rekenen waar de afstanden op uitkomen wanneer één of beide risicoreducerende maatregelen niet aanwezig zijn. Ook is gevraagd de aandachtsgebieden te bepalen en bij alle berekeningen gebruik te maken van de nieuwste versie van de QRA software, in dit geval Safeti-NL 8.5 [10].

1.2 Risicoreducerende maatregelen

Het gebruik van de hittewerende coating en verbeterde losslang leidt tot lagere faalfrequenties. De kans op een warme BLEVE is een factor 20 lager en de kans op een breuk van de losslang is een factor 10 lager dan wanneer deze maatregelen niet aanwezig zijn [11, 12].

De verbeterde losslang is in het Convenant LPG-autogas gedefinieerd als een "slang met een faalfrequentie die kleiner is dan de faalfrequentie van een vulslang¹ berekend volgens de CPR-18 richtlijn, tabel 3.19." (art. 1, onder d) [7]. De factor 10 reductie in faalfrequentie voor de verbeterde losslang is in 2006 door het RIVM vastgesteld [13] op basis van onderzoek van TNO [14].

De hittewerende coating is beschreven in de circulaire. In een TNO-notitie uit 2006 is een onderbouwing gegeven voor de factor 20 reductie in faalfrequentie voor deze hittewerende coating [15]. Deze TNO-notitie is door het RIVM beoordeeld [6].

1.3 Huidige situatie (Revi en circulaire)

1.3.1 Revi

Voor LPG-tankstations zijn vaste veiligheidsafstanden in de Revi voorgeschreven in bijlage 1, tabel 1. De afstanden zijn hieronder overgenomen.

Tabel 1.1 Deze tabel is overgenomen uit de Revi (bijlage 1, tabel 1): "Afstanden in meters tot al dan niet geprojecteerde kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten, waarbij wordt voldaan aan de grenswaarde 10^{-6} per jaar, onderscheidenlijk de richtwaarde 10^{-6} per jaar (zie artikelen 2, eerste lid, onderdeel a, en 9, tweede lid, onderdeel a)"

Doorzet (m ³ per jaar)	Afstand (m) vanaf vulpunt	Afstand (m) vanaf ondergronds of ingeterpt reservoir	Afstand (m) vanaf afleverzuil
≥ 1.000	40	25	15
500–1.000	35	25	15
< 500	25	25	15

¹ In het Convenant wordt de term "vulslang" gebruikt voor het installatieonderdeel dat in dit briefrapport "losslang" wordt genoemd. Het betreft de slang tussen de tankauto en het LPG-vulpunt van het tankstation.

Opmerking uit de Revi bij deze tabel: "Voor LPG-tankstations met een bovengronds reservoir geldt een afstand van 120 meter vanaf dat reservoir tot al dan niet geprojecteerde kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten. Die afstand geldt ongeacht de doorzet van LPG per jaar."

Ook is in de Revi een invloedsgebied benoemd van 150 meter. Bij de verantwoording van het groepsrisico moet rekening gehouden worden met de aanwezige personen in dit gebied. Met de komst van de Omgevingswet vervalt dit invloedsgebied.

1.3.2 *Circulaire*

Naast de risicoafstanden en het invloedsgebied in de Revi zijn in de circulaire afstanden opgenomen tot kwetsbare en zeer kwetsbare objecten die het bevoegd gezag mee moet nemen in de afweging rondom de vergunningverlening. Er zijn twee afstanden in de circulaire opgenomen. Een afstand van 60 meter voor (beperkt) kwetsbare objecten en een afstand van 160 meter voor zeer kwetsbare objecten.

1.4 **Toekomstige situatie (Bal en Bkl)**

1.4.1 *Bal*

In het Bal tabel 4.472c zijn de veiligheidsafstanden opgenomen. Deze komen overeen met de afstanden zoals deze in de Revi staan. Hierbij valt op dat de kopteksten gewijzigd zijn ten opzichte van de Revi. De herberekeningen zijn uitgevoerd voor de huidige (Revi) afstanden, namelijk vanaf het vulpunt, de tankzuil en het ondergronds reservoir.

Tabel 1.2 Deze tabel is overgenomen uit het Bal tabel 4.472c.

Doorzet per jaar	Afstand vanaf vulpunt	Afstand vanaf bovengrondse vloeistofvoerende leiding en de aansluitpunten van die leiding en pomp	Afstand vanaf de bovengrondse opslagtank	Afstand vanaf de tankzuil
Minder dan 500 m ³	25 m	25 m	120 m	15 m
500 m ³ of meer maar minder dan 1.000 m ³	35 m	25 m	120 m	15 m
1.000 m ³ of meer	40 m	25 m	120 m	15 m

1.4.2 *Bkl*

In het Bkl zijn in bijlage VII vaste afstanden gegeven voor LPG-tankstations die moeten worden aangehouden voor het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied. Deze afstanden zijn gelijkgesteld aan de afstanden uit de circulaire en niet afgeleid volgens de methode uit de stappenplannen voor het berekenen van de aandachtsgebieden [16].

De afstanden zijn hieronder overgenomen uit het Bkl.

- a. brandaandachtsgebied: 60 m vanaf het vulpunt, de bovengrondse vloeistofvoerende leiding en pomp en het aansluitpunt van die leiding; en
- b. explosieaandachtsgebied: 160 m vanaf het vulpunt en de bovengrondse opslagtank.

Voor dit onderzoek zijn de herberekeningen uitgevoerd vanaf het vulpunt en volgens de methode uit de stappenplannen voor het berekenen van de aandachtsgebieden.

1.5 Afbakening/scope

In dit onderzoek worden risicoafstanden en aandachtsgebieden voor een LPG-tankstation bepaald voor het vulpunt en de ondergrondse opslagtank. De afstanden die in de Revi en het Bal zijn opgenomen vanaf de tankzuil en bovengrondse opslagtank worden niet opnieuw bepaald. De LPG-methodiek gaat uit van een ondergronds of ingeterpt reservoir. Scenario's behorende bij de afleverzuil worden binnen de LPG-methodiek niet beschouwd in verband met de beperkte uitstroming.

Bij de berekeningen wordt aangesloten bij de bestaande rekenmethoden: de LPG-rekenmethodiek [11] en de stappenplannen voor de aandachtsgebieden [16]. Een herziening van de gebruikte parameters (zoals leidinglengtes, inhoud van het reservoir, e.d.) in de LPG-rekenmethodiek is geen onderdeel van dit onderzoek.

Wel is de modellering in lijn gebracht met de nieuwste versie van de Handleiding Risicoberekeningen Bevi (versie 4.3) en uitgevoerd met de meest recente versie van het rekenpakket Safeti-NL (versie 8.5) [10, 12].

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de rekenmethode beschreven en de aanpassingen die gemaakt zijn om deze in lijn te brengen met de nieuwste versie van het rekenpakket. Ook wordt hier uiteengezet hoe de aanwezigheid van de risicoreducerende maatregelen wordt meegenomen in de berekeningen.

Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van de berekeningen voor het plaatsgebonden risico, het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied. Ook wordt een vergelijking gemaakt met de eerder uitgevoerde berekeningen in 2006 die ten grondslag liggen aan de risicoafstanden in de Revi.

Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen. In de bijlagen is een aantal aanvullende en ondersteunende berekeningen opgenomen.

2 Scenario's en faalfrequenties

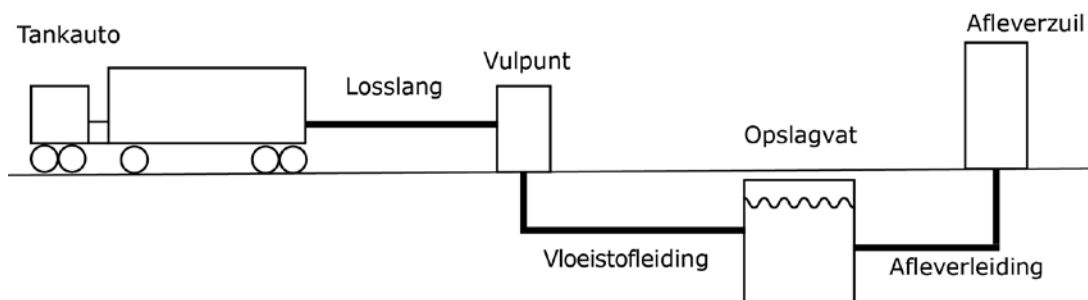
In dit hoofdstuk zijn de gebruikte scenario's en faalfrequenties beschreven. Het LPG-tankstation wordt gemodelleerd conform de Handleiding Risicoberekeningen Bevi versie 4.3 (HRB v.4.3) [12]. Uitzonderingen hierop zijn benoemd. Als karakteristieke stof wordt propaan gebruikt. Voor de karakteristieken van de installatieonderdelen (inhoud, diameter, e.d.) is aangesloten bij de LPG-rekenmethodiek [11] en het bijbehorende rekenbestand [17]. Aanpassingen in de rekenwijze of het rekenbestand ten opzichte van eerdere berekeningen zijn samengevat in bijlage A. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van Safeti-NL versie 8.5. Deze versie gebruikt de nieuwste DIPPR-database (uit 2018) voor stofgegevens, met een aangepaste onderste explosiegrens voor propaan.

In Figuur 2.1 is het LPG-tankstation schematisch weergegeven. Het vulpunt is verbonden met het ondergrondse opslagvat via een ondergrondse vloeistofleiding, die uitkomt onder het vloeistofniveau van het opslagvat. Het opslagvat is verbonden met de afleverzuil, via een ondergrondse afleverleiding. Het tankstation wordt bevoorradt door LPG-tankauto's. Hiervoor wordt een losslang gebruikt.

De scenario's zijn verdeeld in opslag- en verladingsscenario's, respectievelijk beschreven in paragraaf 2.1 en 2.2. Alle scenario's zijn op de zelfde locatie gemodelleerd. De opslagscenario's zijn onafhankelijk van de doorzet en de aanwezigheid van de verbeterde losslang en hittewerende coating. Deze parameters spelen alleen een rol bij de verladingsscenario's.

Voor het bepalen van de faalfrequenties is in dit hoofdstuk uitgegaan van een doorzet van 1.000 m³/jaar, wat overeenkomt met 70 verladingen per jaar van 0,5 uur per verlading [11]. Andere doorzetten kunnen eenvoudig worden berekend met vermenigvuldigingsfactoren.

Voor de afleverzuil zijn geen scenario's meegenomen (zie ook paragraaf 1.5).



Figuur 2.1 Schematische weergave van het LPG-tankstation.

2.1 Scenario's opslag

In deze paragraaf worden de opslagscenario's en bijbehorende faalfrequenties beschreven. Er zijn scenario's voor de opslagtank (O.1 – O.3), voor de vloeistofleiding (tussen vulpunt en opslagtank, scenario's O.4 en O.5), en voor de afleverleiding (tussen opslagtank en afleverzuil, scenario's O.6 en O.7). De faalfrequenties zijn gegeven in Tabel 2.1.

De opslagtank wordt ondergronds gemodelleerd. Hiermee wordt de kans op een BLEVE verlaagd conform de HRB v.4.3. De vloeistofleiding en afleverleiding worden ook ondergronds gemodelleerd. De uitstroomrichting voor de ondergrondse scenario's (O.2 t/m O.7) is verticaal, conform de HRB v.4.3 (module B, §3.3.2).

De inhoud van de opslagtank is 9.200 kg. De vloeistofleiding en de afleverleiding zijn respectievelijk 10 m en 75 m lang. Beide hebben een diameter van 1,25 inch (31,75 mm). De faalfrequentie voor "overige ondergrondse leidingen" uit de HRB v.4.3 wordt gebruikt. Voor ondergrondse leidingen is de gatgrootte bij het lekscenario standaard 20 mm (HRB v.4.3, module C, §3.8.2). Gezien de kleine diameter van de leiding komt dit meer overeen met een breuk dan met een lek. Daarom wordt voor beide leidingen voor het lekscenario een gatgrootte van 10% van de leidingdiameter gehanteerd (3,2 mm), conform de LPG-rekenmethodiek [11].

Tabel 2.1 Faalfrequenties voor de scenario's voor de opslag

Scenario	Basisfaal-frequentie (m ⁻¹ jaar ⁻¹)	Factor (m)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
O.1 opslagvat – instantaan falen			5×10^{-7}
O.2 opslagvat – 10 min			5×10^{-7}
O.3 opslagvat – 10 mm gat			1×10^{-5}
O.4 vloeistofleiding - breuk	5×10^{-7}	10	5×10^{-6}
O.5 vloeistofleiding – lek	$1,5 \times 10^{-6}$	10	$1,5 \times 10^{-5}$
O.6 afleverleiding - breuk	5×10^{-7}	75	$3,75 \times 10^{-5}$
O.7 afleverleiding – lek	$1,5 \times 10^{-6}$	75	$1,125 \times 10^{-4}$

2.2 Scenario's verlading

In deze paragraaf worden de verladingsscenario's en bijbehorende faalfrequenties beschreven. Er zijn scenario's voor het intrinsiek falen van de tankauto (T.1 en T.2), voor het falen van de losslang (L.1 t/m L.3) en voor BLEVE's (B.1 t/m B.7). BLEVE's kunnen optreden door brand tijdens verlading, door brand in de omgeving en door beschadiging.

De inhoud van de tankauto is 26.700 kg. Deze parameter is overgenomen uit het rekenbestand dat hoort bij de LPG-rekenmethodiek

[11] en is ook conform de HRB v.4.3 [12]. In de LPG-rekenmethodiek wordt voor een aantal scenario's rekening gehouden met de vulgraad van de tankauto. Voor deze scenario's komt "100% vulgraad" overeen met 26.700 kg.

2.2.1 *Intrinsiek falen tankauto*

Er zijn twee scenario's voor het intrinsiek falen van de tankauto: instantaan falen en lek uit de grootste aansluiting. De grootste aansluiting is gelijkgesteld aan 3 inch (76,2 mm) [11, 17]. Voor beide scenario's wordt gerekend met een *tank head* en *elevation* van 1 meter. De faalfrequenties zijn gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Scenario's voor het intrinsiek falen van de LPG-tankauto

Scenario	Basisfaalfrequentie (jaar ⁻¹)	Factor	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
T.1 tankauto - Instantaan falen (vulgraad 100%)	5×10^{-7}	70 × 0,5/8766	2×10^{-9}
T.2 tankauto – grootste aansluiting (vulgraad 100%)	5×10^{-7}	70 × 0,5/8766	2×10^{-9}

Opmerkingen:

1. De factor is de fractie van de tijd dat de tankauto aanwezig is (70 verladingen, 0,5 uur per verlading, 8766 uren in een jaar).
2. De BLEVE wordt gemodelleerd als warme BLEVE, met een faaldruk van 23,5 barg. Deze faaldruk is berekend op basis van de insteldruk van het veiligheidsventiel op de tankauto [18]. De insteldruk is 19,25 barg, wat leidt tot een faaldruk van $1,21 \times 20,25 \text{ bara} = 24,5 \text{ bara}$.

2.2.2 *Falen losslang*

De standaardscenario's voor het falen van een losslang zijn breuk en lek. Er wordt uitgegaan van een slang met diameter 2 inch (50,8 mm). Voor alle scenario's wordt gerekend met een *tank head* en *elevation* van 1 meter.

In de LPG-rekenmethodiek is een doorstroombegrenzer meegenomen. Deze treedt alleen in werking bij breuk. Dit resulteert daarom in drie scenario's: "lek", "breuk, doorstroombegrenzer sluit niet", "breuk, doorstroombegrenzer sluit". De faalfrequenties van de drie scenario's zijn gegeven in Tabel 2.3.

Net als in de LPG-rekenmethodiek wordt hier uitgegaan van een doorstroombegrenzer met faalkans 0,12 en reactietijd 5 seconden. Het scenario "L.1: breuk, doorstroombegrenzer sluit" wordt gemodelleerd met een *pressure vessel* met inhoud 42,4 kg (= 5 s × 8,48 kg/s, 5 s is de reactietijd en 8,48 kg/s is de uitstroom voor het scenario "L.2: breuk, doorstroombegrenzer sluit niet" uit de rapportage van Safeti-NL).

Tabel 2.3: Scenario's voor het falen van de losslang

Scenario	Basisfaal-frequentie (uur ⁻¹)	Factor (uur/jaar)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
Met verbeterde losslang			
L.1 breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit	4×10^{-6}	$70 \times 0,5 \times 0,88 \times 0,1$	$1,23 \times 10^{-5}$
L.2 breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit niet	4×10^{-6}	$70 \times 0,5 \times 0,12 \times 0,1$	$1,68 \times 10^{-6}$
L.3 lek losslang	4×10^{-5}	$70 \times 0,5$	$1,40 \times 10^{-3}$
Zonder verbeterde losslang			
L.1 breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit	4×10^{-6}	$70 \times 0,5 \times 0,88$	$1,23 \times 10^{-4}$
L.2 breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit niet	4×10^{-6}	$70 \times 0,5 \times 0,12$	$1,68 \times 10^{-5}$
L.3 lek losslang	4×10^{-5}	$70 \times 0,5$	$1,40 \times 10^{-3}$

Opmerkingen:

De factor bestaat uit:

- Het aantal verladingen per jaar (factor 70)
- De tijdsduur van één verlading (factor 0,5 uur)
- De kans dat de doorstroombegrenzer wel of niet sluit (factor 0,88 en 0,12). Deze factor is alleen bij breukscenario's meegenomen, in overeenstemming met HRB v.4.3, module C, §4.2.3. De faalkans geldt wanneer instelwaarde < uitstroomdebiet \leq 1,2 \times instelwaarde.
- De correctiefactor voor de verbeterde losslang (factor 0,1, alleen bij breukscenario's).

2.2.3 Falen pomp

In de LPG-rekenmethodiek [11] en het bijbehorende rekenbestand [17] zijn scenario's meegenomen voor het falen van de pomp tijdens verlading. Deze scenario's zijn in de huidige berekening niet meegenomen. Dit is gedaan om aan te sluiten bij de HRB v.4.3 [12] (module C, §3.15), waar staat dat het falen van de pomp is opgenomen in de faalfrequentie voor de verlading bij verlading van een opslagreservoir naar een transporteenheid en omgekeerd.

De invloed van de pompscenario's op het plaatsgebonden risico is verder beschreven in paragraaf 1.1 van bijlage B, en laat een zeer beperkt effect zien van het weglaten van de pompscenario's.

2.2.4 BLEVE-scenario's

Een BLEVE van de aanwezige tankauto kan ontstaan door brand als gevolg van lekkage tijdens verlading (warme BLEVE), brand in de omgeving (warme BLEVE) of beschadiging (koude BLEVE). Voor de warme BLEVE's geldt dat de faalfrequentie kan worden verlaagd indien de LPG-tankauto is voorzien van een hittewerende coating.

Voor de BLEVE als gevolg van lekkage tijdens verlading wordt uitgegaan van een tankauto met vulgraad 100% (scenario B.1). Voor de BLEVE door brand in de omgeving wordt rekening gehouden met drie verschillende vulgraden van de tankauto (100%, 67% en 33%, scenario's B.2 t/m B.4). Hetzelfde geldt voor BLEVE door externe beschadiging (scenario's B.5 t/m B.7).

De BLEVE-scenario's worden in Safeti-NL gemodelleerd als *Standalone Fireball*. Voor alle BLEVE-scenario's wordt een *vapour mass fraction* van 1 gebruikt, net als in de LPG-rekenmethodiek [11]. Deze conservatieve rekenkeuze is gedaan om variaties in *vapour mass fraction* als gevolg van variaties in temperatuur of inhoud niet te onderschatten. De overige invoerparameters zijn gegeven in Tabel 2.4. Verdere toelichting over de faalfrequenties is gegeven in paragraaf 2.2.4.1 tot 2.2.4.3. De faalfrequenties zijn bepaald conform de LPG-rekenmethodiek [11].

Tabel 2.4 Invoerparameters voor BLEVE-scenario's, voor een tankauto met of zonder hittewerende coating.

Scenario	Massa (kg)	Barstdruk (barg)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)	
			Met coating	Zonder coating
B.1: BLEVE tijdens verlading (vulgraad 100%)	26.700	23,5	$1,02 \times 10^{-9}$	$2,03 \times 10^{-8}$
B.2: BLEVE door brand (vulgraad 100%)	26.700	23,5	$4,39 \times 10^{-9}$	$8,78 \times 10^{-8}$
B.3: BLEVE door brand (vulgraad 67%)	17.889	23,5	$1,06 \times 10^{-8}$	$2,13 \times 10^{-7}$
B.4: BLEVE door brand (vulgraad 33%)	8.811	23,5	$1,69 \times 10^{-8}$	$3,37 \times 10^{-7}$
B.5: BLEVE door beschadiging (vulgraad 100%)	26.700		$5,31 \times 10^{-8}$	$5,31 \times 10^{-8}$
B.6: BLEVE door beschadiging (vulgraad 67%)	17.899		$5,31 \times 10^{-8}$	$5,31 \times 10^{-8}$
B.7: BLEVE door beschadiging (vulgraad 33%)	8.811		$5,31 \times 10^{-8}$	$5,31 \times 10^{-8}$

Opmerkingen:

1. Faaldruk: B.1 t/m B.4 worden gemodelleerd als warme BLEVE's met een faaldruk van 23,5 barg.
2. De hittewerende coating heeft alleen invloed op de faalfrequentie voor de warme BLEVE's (scenario's B.1 t/m B.4).

2.2.4.1 Faalfrequentie BLEVE door brand tijdens verlading
De faalfrequentie voor BLEVE door brand tijdens verlading is afhankelijk van het aantal uur per jaar dat verlading plaatsvindt, zie Tabel 2.5.

Tabel 2.5 BLEVE-scenario van de LPG-tankauto ten gevolge van een brand tijdens verlading.

Scenario	Basisfaal-frequentie (uur ⁻¹)	Factor (uur/jaar)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
Met hittewerende coating			
B.1: BLEVE tankauto (vulgraad 100%)	$5,8 \times 10^{-10}$	$70 \times 0,5 \times 0,05$	$1,02 \times 10^{-9}$
Zonder hittewerende coating			
B.1: BLEVE tankauto (vulgraad 100%)	$5,8 \times 10^{-10}$	$70 \times 0,5$	$2,03 \times 10^{-8}$

Opmerkingen:

De factor bestaat uit:

- a. Het aantal verladingen per jaar (factor 70)
- b. De tijdsduur van 1 verlading (factor 0,5 uur)
- c. De correctiefactor voor de hittewerende coating (factor 0,05)

2.2.4.2 Faalfrequentie BLEVE door brand in de omgeving

In deze paragraaf is beschreven hoe de faalfrequentie voor BLEVE door brand in de omgeving is bepaald. De BLEVE-frequentie hangt af van de frequentie van brand in de omgeving, de tijd dat de tankauto aanwezig is, de vulgraad van de tankauto en het wel of niet aanwezig zijn van de hittewerende coating.

De frequentie van een brand in de omgeving van een tankauto is afhankelijk van een aantal toetsingsafstanden (Tabel 2.6) en wordt afgeleid uit Tabel 2.7.

In Tabel 2.8 zijn de BLEVE-frequenties gegeven voor de situatie dat het LPG-tankstation voldoet aan geen van de interne toetsingsafstanden in Tabel 2.6. Dit is hetzelfde (conservatieve) uitgangspunt² als is gebruikt in de LPG-rekenmethodiek [11].

² Eisen over de interne afstanden op een LPG-tankstation zijn vastgesteld in PGS 16 (versie 2021, tabel 5). Deze afstanden zijn niet 1-op-1 vergelijkbaar met de afstanden in Tabel 2.6. Ook is in PGS 16 opgenomen dat van de interne afstanden mag worden afgeweken indien hiervoor vóór 1 juli 1984 een milieuvergunning is verleend. Daarom is in dit onderzoek gekozen voor het conservatieve scenario.

Tabel 2.6 Toetsingsafstanden vanaf het vulpunt ten opzichte van een aantal objecten.

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

Tabel 2.7 Frequentie van een brand nabij een LPG-tankauto (per uur aanwezigheid van de tankauto)

Ligt het vulpunt binnen de toetsingsafstand uit Tabel 2.6?				Brandfrequentie (per uur aanwezigheid van de tankauto)
LPG afleverzuil	Benzine afleverzuil	Opstelplaats tankauto	Gebouw	
Ja	Ja	Ja	Ja	4×10^{-8}
Nee	Ja	Ja	Ja	
Ja	Nee	Ja	Ja	
Ja	Ja	Nee	Ja	
Ja	Nee	Nee	Ja	
Nee	Ja	Nee	Ja	
Nee	Nee	Ja	Ja	
Ja	Ja	Ja	Nee	
Ja	Nee	Ja	Nee	
Nee	Nee	Nee	Ja	
Ja	Ja	Nee	Nee	$1,6 \times 10^{-8}$
Nee	Ja	Ja	Nee	
Ja	Nee	Nee	Nee	$1,2 \times 10^{-8}$
Nee	Nee	Ja	Nee	
Nee	Ja	Nee	Nee	8×10^{-9}
Nee	Nee	Nee	Nee	4×10^{-9}

Tabel 2.8 BLEVE-scenario van de LPG-tankauto ten gevolge van een brand in de omgeving.

Scenario	Brand-frequentie (uur ⁻¹)	Factor (uur/jaar)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
Met hittewerende coating			
B.2: BLEVE tankauto (vulgraad 100%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,19 \times 70 \times 0,5 \times 0,05$	$4,39 \times 10^{-9}$
B.3: BLEVE tankauto (vulgraad 67%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,46 \times 70 \times 0,5 \times 0,05$	$1,06 \times 10^{-8}$
B.4: BLEVE tankauto (vulgraad 33%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,73 \times 70 \times 0,5 \times 0,05$	$1,69 \times 10^{-8}$
Zonder hittewerende coating			
B.2: BLEVE tankauto (vulgraad 100%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,19 \times 70 \times 0,5$	$8,78 \times 10^{-8}$
B.3: BLEVE tankauto (vulgraad 67%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,46 \times 70 \times 0,5$	$2,13 \times 10^{-7}$
B.4: BLEVE tankauto (vulgraad 33%)	4×10^{-8}	$0,33 \times 0,73 \times 70 \times 0,5$	$3,37 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

De factor bestaat uit:

- Het feit dat de vulgraad een derde van de tijd gelijk is aan 100%, een derde van de tijd 67% en een derde van de tijd 33% (factor 0,33).
- Een correctie voor de BLEVE-frequentie omdat deze afneemt bij toenemende vloeistoffractie (factoren 0,19, 0,46 en 0,73). Deze factoren zijn afkomstig uit het TNO-rapport "Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations" [19].
- Het aantal verladingen per jaar (factor 70).
- De tijdsduur van 1 verlading (factor 0,5 uur).
- De correctiefactor voor de hittewerende coating (factor 0,05)

2.2.4.3 Faalfrequentie BLEVE door beschadiging

Een BLEVE kan plaatsvinden ten gevolge van externe beschadiging. De kans op externe beschadiging is afhankelijk van de opstelplaats van de tankauto (zie Tabel 2.9). In Tabel 2.10 zijn de BLEVE-frequenties gegeven voor de situatie dat het LPG-tankstation een opstelplaats heeft die voldoet aan de optie "overige situaties" in Tabel 2.9. Dit is hetzelfde (conservatieve) uitgangspunt³ als is gebruikt in de LPG-rekenmethodiek [11]. De faalfrequenties in Tabel 2.10 gelden zowel voor tankauto's met als zonder hittewerende coating, omdat de hittewerende coating geen invloed heeft op het scenario "BLEVE door externe beschadiging".

³ Eisen over de opstelplaats van de tankauto zijn vastgesteld in PGS 16 (versie 2021, punt M93). Een geïsoleerde opstelplaats heeft de voorkeur, maar indien dit niet mogelijk is mag een andere opstelplaats worden gebruikt. Daarom is in dit onderzoek gekozen voor het conservatieve scenario.

Tabel 2.9 Basisfrequentie van een BLEVE van een LPG-tankauto ten gevolge van externe beschadiging.

Opstelplaats tankauto	Basisfrequentie BLEVE (uur ⁻¹)
Geïsoleerde opstelplaats waarbij een aanrijding van opzij tegen de leidingkast niet aanneemelijk wordt geacht (ook niet met lage snelheid)	5×10^{-11}
Opstelplaats op een (wegrij)strook met een toegestane snelheid van maximaal 70 km/uur	$9,6 \times 10^{-10}$
Overige situaties	$4,6 \times 10^{-9}$

Tabel 2.10 BLEVE-scenario van de LPG-tankauto ten gevolge van externe beschadiging.

Scenario	Basisfrequentie (uur ⁻¹)	Factor (uur/jaar)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
B.5: BLEVE tankauto (vulgraad 100%)	$4,6 \times 10^{-9}$	$0,33 \times 70 \times 0,5$	$5,31 \times 10^{-8}$
B.6: BLEVE tankauto (vulgraad 67%)	$4,6 \times 10^{-9}$	$0,33 \times 70 \times 0,5$	$5,31 \times 10^{-8}$
B.7: BLEVE tankauto (vulgraad 33%)	$4,6 \times 10^{-9}$	$0,33 \times 70 \times 0,5$	$5,31 \times 10^{-8}$

Opmerking:

De factor bestaat uit:

- Het feit dat de vulgraad een derde van de tijd gelijk is aan 100%, een derde van de tijd 67% en een derde van de tijd 33% (factor 0,33).
- Het aantal verladingen per jaar (factor 70).
- De tijdsduur van 1 verlading (factor 0,5 uur).

2.3 Nalevering en terugstroming

Volgens de HRB v.4.3, module B, §3.2, moet rekening worden gehouden met nalevering van systeemonderdelen die verbonden zijn met het falende onderdeel, indien de nageleverde hoeveelheid significant is. Met significant wordt in dit geval bedoeld meer dan 10% van de hoeveelheid die vrijkomt uit het falende onderdeel. Voor de scenario's beschreven in paragraaf 2.1 en 2.2 is nalevering uit upstream installatieonderdelen niet relevant.

Bij een breuk of lek van de losslang tijdens verlading wordt in paragraaf 2.2.2 alleen de uitstroom uit de tankauto beschouwd. Mogelijk zou hierbij ook terugstroming vanuit de opslagtank kunnen optreden. In de LPG-rekenmethodiek [11] is dit scenario niet meegenomen, omdat bij de ontwikkeling van de methode niet gebruikelijk was om terugstroming te beschouwen. Omdat zo veel mogelijk is aangesloten bij de bestaande methode zijn in dit briefrapport geen berekeningen met terugstroming meegenomen. Dit is een aandachtspunt bij een actualisatie van de rekenmethode.

2.4 Terreingrens

De LPG-rekenmethodiek [11] en het bijbehorende voorbeeldbestand [17] zijn opgesteld om te gebruiken met Safeti-NL versie 6.53. In de

huidige versie (8.5) is het nodig om een *boundary* (terreingrens) te definiëren. In de berekening van de aandachtsgebieden wordt aangenomen dat een ontvlambare wolk altijd ontsteekt zodra deze buiten de *boundary* komt (zie HRB v.4.3, module B, paragraaf 2.2). Het is daarom mogelijk dat de *boundary* invloed heeft op de grootte van de aandachtsgebieden.

Om dit verder te onderzoeken is de berekening ook uitgevoerd met verschillende *boundaries*. Deze berekeningen zijn gepresenteerd in de bijlage (paragraaf 1.2 van bijlage B). De *boundary* heeft in dit geval alleen invloed op de grootte van het explosieaandachtsgebied (het aandachtsgebied wordt groter naarmate de *boundary* groter wordt). Vanaf $30 \times 30 \text{ m}^2$ neemt de grootte van het aandachtsgebied niet meer toe.

2.5 De invloed van de hittewerende coating en verbeterde losslang

Vier situaties zijn beschouwd:

- I. Wel hittewerende coating, wel verbeterde losslang
- II. Wel hittewerende coating, geen verbeterde losslang
- III. Geen hittewerende coating, wel verbeterde losslang
- IV. Geen hittewerende coating, geen verbeterde losslang

Indien geen gebruik wordt gemaakt van de verbeterde losslang (situaties II en IV), neemt de faalfrequentie voor de scenario's L.1 en L.2 toe met een factor 10, zoals beschreven in paragraaf 2.2.2.

Indien geen gebruik wordt gemaakt van de hittewerende coating (situaties III en IV), neemt de faalfrequentie voor de scenario's B.1 t/m B.4 met een factor 20 toe, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4 (zie paragraaf 2.2.4.1 en 2.2.4.2 voor details).

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd voor de situaties met en zonder hittewerende coating en verbeterde losslang. De hittewerende coating is beschreven in de circulaire [8] en de verbeterde losslang is gedefinieerd in het Convenant LPG-autogas [7] (zie paragraaf 1.2 voor meer informatie).

Alle afstanden zijn bepaald door de contouren op te meten in Safeti-NL. Dit is gedaan in noordoostelijke richting (45°), waar de afstanden het grootst zijn. Afstanden kleiner dan 50 m zijn afgerond op 1 m. Daarboven zijn afstanden afgerond op 5 m.

3.1 Plaatsgebonden risico

Voor de vier verschillende situaties is de afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van 1×10^{-6} per jaar (PR 1×10^{-6} /jaar) bepaald voor verschillende doorzetten. De resultaten zijn gegeven in Tabel 3.1.

Door het weglaten van de risicoreducerende maatregelen wordt de afstand tot de PR 10^{-6} /jaar groter voor alle doorzetten. Bij lage doorzet neemt de afstand vooral toe indien de verbeterde losslang niet is meegenomen in de berekening. Bij hoge doorzet heeft het niet meenemen van de hittewerende coating de grootste invloed op de afstand.

Tabel 3.1 Afstanden tot PR 1×10^{-6} /jaar voor de vier verschillende situaties. Alle afstanden in meters.

Hittewerende coating?	Ja	Ja	Nee	Nee
Verbeterde losslang?	Ja	Nee	Ja	Nee
Verladingsscenario's: afstand vanaf het vulpunt				
Doorzet (m³/jaar)	I	II	III	IV
250	13	35	13	36
500	14	38	17	40
600	15	39	26	41
700	16	40	31	42
800	20	40	34	43
900	24	41	37	44
1.000	27	41	38	46
1.500	34	43	80	80
2.000	36	44	105	105
Opslagscenario's: afstand vanaf de opslagtank				
Alle doorzetten	17			

De afstand tot de PR 1×10^{-6} /jaar van de opslag is onafhankelijk van de doorzet of situatie, en is gelijk aan 17 m. Deze afstand komt goed overeen met de eerder berekende risicoafstanden voor ondergrondse of ingeterpte reservoirs, namelijk 17-20 m (afhankelijk van de grootte van de reservoirs en het aantal reservoirs). Toen is aanbevolen om een

minimale afstand van 25 m rondom het reservoir aan te houden voor toegang bij incidentbestrijding [17]. In de Revi is 25 m opgenomen.

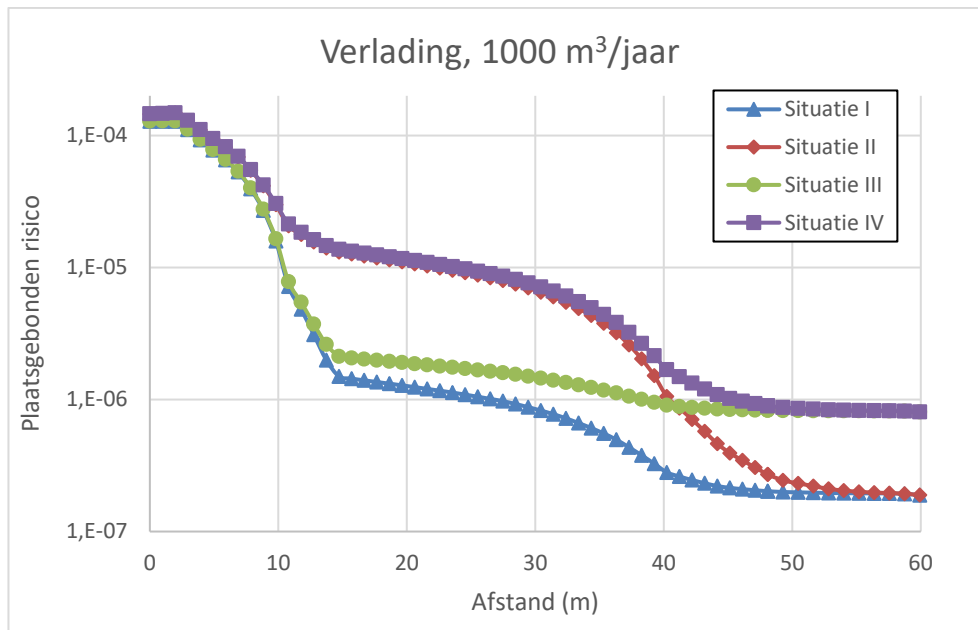
Voor de verlading is de afstand tot de PR 1×10^{-6} /jaar afhankelijk van zowel de doorzet als de situatie (aanwezigheid van risicoreducerende maatregelen). De afstanden in de Revi zijn afhankelijk van de doorzet: 25 m voor $<500 \text{ m}^3/\text{jaar}$, 35 m voor $500\text{-}1.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en 40 m voor $\geq 1.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$. In deze Revi-afstanden zijn de effecten van de hittewerende coating en verbeterde losslang verdisconteerd (zoals in situatie I in Tabel 3.1). De berekeningen die ten grondslag lagen voor de afstanden in de Revi zijn uitgevoerd in 2006 [6]. Berekeningen zonder risicoreducerende maatregelen zijn toen ook uitgevoerd, en zijn qua uitkomsten vergelijkbaar met de huidige resultaten.

3.1.1 *Risk transects*

Om inzicht te geven in hoe het plaatsgebonden risico varieert met de afstand tot het LPG-tankstation zijn in Figuur 3.1 de *risk transects* voor de vier situaties weergegeven. Hierbij is gekeken naar een jaarlijkse doorzet van 1.000 m^3 .

Uit de *risk transects* kan de volgende informatie worden gehaald:

- Het plaatsgebonden risico is voor alle afstanden het kleinst voor situatie I;
- Tussen 15 en 35 m neemt het plaatsgebonden risico met een orde van grootte toe wanneer geen verbeterde losslang wordt gebruikt (situaties II en IV vergeleken met situatie I);
- Vanaf 50 m is het plaatsgebonden risico ongeveer gelijk voor situaties I en II en voor situaties III en IV. Bij grotere afstanden is het plaatsgebonden risico dus nauwelijks afhankelijk van de aanwezigheid van een verbeterde losslang. Het verschil in plaatsgebonden risico tussen situaties I en II enerzijds en III en IV anderzijds is een factor 4-5. Dit verschil wordt veroorzaakt door het wel of niet meenemen van de hittewerende coating.



Figuur 3.1 Risico langs het risk transect voor de verladingsscenario's voor situatie I t/m IV.

3.2 Aandachtsgebieden

Met het nieuwe rekenbestand is de grootte van de brand- en explosieaandachtsgebieden bepaald. Safeti-NL neemt hiervoor alle scenario's mee uit hoofdstuk 2. De grootte van aandachtsgebieden is onafhankelijk van de doorzet van het tankstation of het wel of niet meenemen van de hittewerende coating en verbeterde losslang, omdat deze parameters alleen invloed hebben op de kans op het optreden van het scenario, en niet op het effect van het scenario.

De grootte van het explosieaandachtsgebied is wel afhankelijk van de terreingrens (*boundary*, zie paragraaf 2.4). Voor de resultaten in Tabel 3.2 is gerekend met een *boundary* van $30 \times 30 \text{ m}^2$.

Voor de brandaandachtsgebieden zijn alleen plasbranden en fakkelbranden die langer duren dan 20 s worden meegenomen in de berekening. Dit zijn alle scenario's, met uitzondering van de fakkelbrand van scenario L.1 (breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit).

Tabel 3.2 geeft alle berekende aandachtsgebieden. De verladingsscenario's zijn bepalend voor de aandachtsgebieden. Het brandaandachtsgebied is 180 m, het explosieaandachtsgebied is 290 m.

Tabel 3.2 Grenzen van de aandachtsgebieden in meters vanaf de activiteit. De dikgedrukte afstanden komen overeen met de grootte van het aandachtsgebied.

Aandachtsgebied	Opslag	Verlading	Opslag + verlading ⁴
Brand			
Jet fire (10 kW/m ²)	42	155	155
Pool fire (10 kW/m ²)	125	180	180
Explosie			
Fireball (35 kW/m ²)	125	235	235
Overpressure (0,1 bar)	200	290	290

3.2.1

Vergelijking met aandachtsgebieden Bkl

De uitkomsten van de berekeningen voor het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied zijn groter dan de afstanden die daarvoor zijn opgenomen in het Bkl. De afstanden zoals ze in het Bkl staan zijn gelijk gesteld aan de afstanden uit de circulaire en niet afgeleid volgens de methode uit de stappenplannen voor het berekenen van de aandachtsgebieden [16]. De afstanden in het Bkl zijn daardoor niet te vergelijken met de huidige resultaten.

⁴ Hierbij is aangenomen dat opslag en verlading op dezelfde locatie plaatsvindt (of opslag binnen het effectgebied van verlading gebeurt).

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn berekeningen gedaan voor LPG-tankstations, waarbij het effect van de aanwezigheid van risicoreducerende maatregelen (verbeterde losslang en hittewerende coating) is onderzocht. Vier verschillende situaties zijn beschouwd, namelijk wel/geen verbeterde losslang en wel/geen hittewerende coating.

Plaatsgebonden risico

Voor de verschillende situaties is de afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van 1×10^{-6} per jaar (PR 1×10^{-6} /jaar) bepaald voor verschillende doorzetten.

In vergelijking met de afstand in de Revi is de berekende afstand tot de PR 1×10^{-6} /jaar vanaf ondergrondse of ingeterpte reservoirs vergelijkbaar.

Vanaf het vulpunt zien we dat bij aanwezigheid van de risicoreducerende maatregelen de afstanden tot de PR 1×10^{-6} /jaar kleiner dan of vergelijkbaar zijn met de afstanden die nu de Revi en het Bal staan. Het niet meerekenen van de risicoreducerende maatregelen betekent dat de afstand tot de PR 1×10^{-6} /jaar groter wordt voor alle doorzetten.

Aandachtsgebieden

De uitkomsten van de berekeningen voor het brandaandachtsgebied en het explosieaandachtsgebied zijn beide meer dan 100 meter groter dan de afstanden die daarvoor zijn opgenomen in het Bkl. De afstanden zoals ze in het Bkl staan zijn gelijk gesteld aan de afstanden uit de circulaire en niet afgeleid volgens de methode uit de stappenplannen voor het berekenen van de aandachtsgebieden [16]. De afstanden in het Bkl zijn daardoor niet met de huidige resultaten te vergelijken.

Aanbevelingen

We bevelen aan om de meest actuele berekeningen als basis te laten dienen voor de voorgeschreven afstanden in het Bkl.

Literatuur

1. *Besluit externe veiligheid inrichtingen (geldend vanaf 01-01-2016)*: Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0016767/2016-01-01/0>. (Geraadpleegd 27-09-2021).
2. *Regeling externe veiligheid inrichtingen (geldend vanaf 01-04-2020)*: Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0017168/2020-04-01>. (Geraadpleegd 27-09-2021).
3. *Minister De Jonge wil verantwoorde invoering Omgevingswet*. Beschikbaar via <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/02/01/minister-de-jonge-wil-verantwoorde-invoering-omgevingswet> (Geraadpleegd 17-02-2022).
4. *Besluit activiteiten leefomgeving*. Beschikbaar via <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2021-299.html>; <https://iplo.nl/publish/pages/191119/besluit-activiteiten-leefomgeving-stb-versie-geconsolideerd.pdf>. (Geraadpleegd 28-09-2021).
5. *Besluit kwaliteit leefomgeving*. Beschikbaar via <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2021-299.html>; <https://iplo.nl/publish/pages/191119/bkl-stb-versie-geconsolideerd.pdf>. (Geraadpleegd 28-09-2021).
6. RIVM, *Onderbouwing van effectiviteit van hittewerende coating - Invloed coating op ligging van plaatsgebonden risicocontour*, brief, kenmerk 452/06 CEV Mah/sij-1329, 20 dec 2006.
7. VVG en Ministerie van VROM, *Convenant LPG-autogas*. 22 juni 2005.
8. Ministerie IenM. *Circulaire effectafstanden externe veiligheid LPG-tankstations voor besluiten metgevolgen voor de effecten van een ongeval*: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2016-31453.html>.
9. *HvJ EU 20 juni 2021, C-120/19, ECLI:EU:C:2021:398*. 2021.
10. DNV GL, *Software for the Assessment of flammable, explosive and toxic impact. (SAFETI-NL) versie 8.5*. 2021.
11. RIVM, *Rekenmethodiek voor LPG tankstations, versie 1.2*, 5 november 2014.
12. RIVM, *Handleiding Risicoberekeningen Bevi Versie 4.3*, 2021.
13. RIVM, *Consequenties van LPG studies voor PR en GR*, brief, kenmerk 210/06 CEV Mah/mva-1009, 26 juni 2006.
14. TNO, *Onderzoek naar de risico's van het losproces van LPG/Autogas-tankauto's en mogelijke verbeteringen hierin*, rapport B&O-A R 2005/293, maart 2006.
15. TNO-notitie 2006M&L/819/36563/MOL/gkw, 26 juni 2006.
16. RIVM. *Stappenplan bepalen aandachtsgebieden*. Beschikbaar via <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/stappenplan-bepalen-aandachtsgebieden>. (Geraadpleegd 28 september 2021).
17. RIVM Centrum Externe Veiligheid, *Toelichting PSU-file: Voorbeeld risicoberekeningen LPG-tankstations, versie 1.1*, 24 april 2012.
18. Ham, J.M. en A.W.T. van Blanken, *Invloed systeemreacties LPG-tankinstallatie op risico LPG-tankstation (ligging PR-contour)*, TNO rapport R 2004/107, 2004.

19. Ham, J.M., *Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations (Hoofdrapport)*, TNO-rapport R 2001/435a, oktober 2001.

Bijlage A Overzicht van wijzigingen in het rekenbestand

Hier volgt een kort overzicht van de wijzigingen die gedaan zijn in het rekenbestand. Het oorspronkelijke rekenbestand is gemaakt in Safeti-NL versie 6.53 [17].

- De temperatuur van alle insluitsystemen is aangepast naar 9,8°C, wat overeenkomt met de etmaalgemiddelde dagtemperatuur en de standaardtemperatuur van de bodem (HRB v.4.3, module B, §3.3.11). In het oorspronkelijke rekenbestand was gerekend met 9 en 8,85°C.
- De scenario's van de pomp tijdens verlading zijn weggelaten (zie paragraaf 2.2.3).
- Voor scenario L.1 (breuk losslang, doorstroombegrenzer sluit) in paragraaf 2.2.2 is gerekend met een *pressure vessel* met inhoud 42,4 kg, in plaats van de 65 kg in het oude rekenbestand. Het is onbekend waarom in het oude bestand is gerekend met 65 kg.
- Voor scenario's O.1 t/m O.7 (zie paragraaf 2.1) is de *elevation* aangepast. Voor O.1 is dit aangepast van 1 m naar 0 m. Voor de overige scenario's is het aangepast van 1 m naar 0,01 m. Dit is conform HRB v4.3, module B, §3.3.1.2. De tank head van scenario's O.1 t/m O.3 is aangepast van 0 m naar 1 m.
- Er is een terreingrens (*boundary*) ingevoerd van 30×30 m² (zie paragraaf 2.4). De grootte van de *boundary* heeft geen invloed op de PR 10⁻⁶/jaar maar wel op de grootte van het explosieaandachtsgebied.
- In het oude rekenbestand is het weer gemodelleerd als uniform (evenveel wind uit iedere richting). Dit werd gedaan om cirkelvormige contouren te kunnen berekenen. Voor dit onderzoek is gerekend met het gemiddelde weer voor Nederland wat standaard is opgenomen in Safeti-NL.

Bijlage B Overige berekeningen

1.1 Meenemen van de pomp tijdens verlading

In de berekeningen die in hoofdstuk 2 en 3 zijn beschreven, zijn geen scenario's meegenomen voor het falen van de pomp tijdens verlading. In de oude LPG-rekenmethodiek [11] waren deze scenario's wel meegenomen. Hieronder is beschreven wat de invloed is van de pompsenario's op de risicoafstanden.

1.1.1 Beschrijving scenario's

De standaardscenario's voor het falen van een pomp zijn breuk en lek. De pomp wordt gemodelleerd als centrifugaalpomp met pakking, met een toevoerleiding met diameter 3 inch (76,2 mm), conform de LPG-rekenmethodiek [11]. Voor alle scenario's wordt gerekend met een *tank head* en *elevation* van 1 meter.

In de LPG-rekenmethodiek is een doorstroombegrenzer meegenomen. Deze treedt alleen in werking bij breuk. Dit resulteert daarom in drie scenario's: "lek", "breuk, doorstroombegrenzer werkt niet", "breuk, doorstroombegrenzer werkt wel". De faalfrequenties van de drie scenario's zijn gegeven in Tabel B.1.

Er wordt uitgegaan van een doorstroombegrenzer met faalkans 0,06 en reactietijd 5 seconden. Het scenario "breuk, doorstroombegrenzer sluit" wordt gemodelleerd met een *pressure vessel* met inhoud 104 kg (= 5 s × 20,73 kg/s, 5 s is de reactietijd en 20,73 kg/s is de uitstroom voor het scenario "P.2: breuk, doorstroombegrenzer sluit niet" uit de rapportage van Safeti-NL).

Tabel B.1 Scenario's voor het falen van de pomp

Scenario	Basisfaal-frequentie (jaar ⁻¹)	Factor (uur/jaar)	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
P.1 breuk pomp, doorstroombegrenzer sluit	1×10^{-4}	$70 \times 0,5 \times 0,94 / 8766$	$3,75 \times 10^{-7}$
P.2 breuk pomp, doorstroombegrenzer sluit niet	1×10^{-4}	$70 \times 0,5 \times 0,06 / 8766$	$2,40 \times 10^{-8}$
P.3 lek pomp	$4,4 \times 10^{-3}$	$70 \times 0,5 / 8766$	$1,76 \times 10^{-5}$

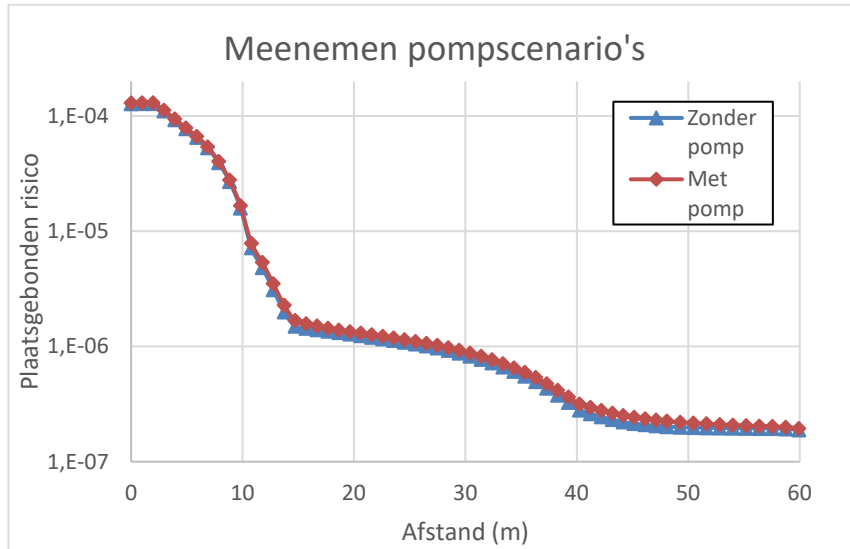
Opmerkingen:

De factor bestaat uit:

- De fractie van het jaar dat de tankauto bezig is met verladen (70 verladingen per jaar, 0,5 uur per verlading, 8766 uur per jaar).
- De kans dat de doorstroombegrenzer wel en niet sluit (factor 0,94 en 0,06). Deze factor is alleen bij breukscenario's meegenomen, in overeenstemming met HRB v.4.3, module C, §4.2.3. De faalkans geldt wanneer uitstroomdebiet > 1,2 × instelwaarde.

1.1.2 Resultaten

De *risk transects* zijn gegeven in Figuur B.1. Het meenemen van de pompsценario's heeft een kleine invloed op het plaatsgebonden risico.



Figuur B.1 Risk transects voor de verladingsсценario's van situatie I (met verbeterde losslang en hittewerende coating), met en zonder pompsценario's. De doorzet is 1.000 m³/jaar.

1.2 Verschillende terreingrenzen (boundaries)

Zoals beschreven in paragraaf 2.4 kan de terreingrens (*boundary*) invloed hebben op de grootte van het explosieaandachtsgebied, omdat bij de berekening hiervan wordt aangenomen dat een ontvlambare wolk ontsteekt op de *boundary*.

Voor het bepalen van de aandachtsgebieden in paragraaf 3.2 is gerekend met een *boundary* van 30×30 m². Dezelfde berekening (1.000 m³/jaar doorzet, aanwezigheid van zowel hittewerende coating als verbeterde losslang) is ook uitgevoerd met *boundaries* van 10×10 m², 20×20 m² en 40×40 m².

De resultaten van deze berekeningen zijn gegeven in Tabel B.2.

Tabel B.2 Explosieaandachtsgebied (opslag + verlading) voor verschillende boundaries. Alle afstanden in meters. De dikgedrukte afstand komt overeen met de grootte van het aandachtsgebied.

Aandachtsgebied	10×10 m ²	20×20 m ²	30×30 m ²	40×40 m ²
Overpressure (0,1 bar)	210	265	290	290

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag