



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2004/107

**Invloed systeemreacties LPG-tankinstallatie
op risico LPG-tankstation
(ligging PR-contour)**

Datum	maart 2004
Auteurs	Ing. J.M. Ham Ing. A.W.T. van Blanken
Projectnummer	35668
Trefwoorden	LPG Tankstation Veiligheidsafstanden Excess flow valves
Bestemd voor	Ministerie van VROM DGM Directie Externe Veiligheid T.a.v. Drs. C.T. Braams Postbus 30945, IPC 635 2500 GX Den Haag

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2004 TNO

Samenvatting

Er is een aanvullend onderzoek uitgevoerd op het rapport “Risico-analyse Generiek LPG-tankstations” (TNO-MEP, R2001/435a). In dit aanvullende onderzoek is in het bijzonder de invloed van systeemreacties die op de LPG-tankauto zijn geïnstalleerd in de risicoberekeningen betrokken. Bovendien zijn ook voor andere scenario's aanpassingen in de QRA voor de LPG-losactiviteiten (het vulpunt) aangebracht. De belangrijkste zijn: (i) een lagere frequentie van breuk van de losslang, (ii) mede beschouwen van kleinere lekkages van de losslang, (iii) verbetering in de berekening van explosie-effecten en (iv) aanpassing van de bij een BLEVE betrokken inhoud van de tankauto.

De belangrijkste conclusies van het onderzoek luiden:

- De geïnstalleerde systeemreacties (doorstroombegrenzers) zijn alleen effectief voor catastrofale LoC-situaties (guillotinebreuk) van leidingen en slangen. Bij kleinere lekkages hebben ze geen effect.
- Over de betrouwbaarheid van doorstroombegrenzers is, in kwantitatieve termen, weinig bekend. Ze kunnen zeer effectief zijn om een massale, langdurende uitstroming te voorkomen en zijn daarmee belangrijk ter preventie van escalatie van een incident. Voor beperking van de acute effecten van leidingbreuken is de risicoreductie echter geringer, uitgaande van een responsietijd van enkele seconden.
- Ten opzichte van R2001/435a zijn tevens enkele andere uitgangspunten veranderd. Op basis van statistiek vanuit de LPG-branche is de kans op breuk van de losslang een factor 2 lager gesteld. Anderzijds is, conform het Paarse Boek, het risico van lekkage van deze slang toegevoegd aan de QRA. Dit laatste scenario draagt vooral bij aan het risico in de directe omgeving van het vulpunt.
- Op basis van de genoemde uitgangspunten resulteert deze herziene risico-analyse in een iets hogere risiconiveau binnen de eerste 15 à 20 meter vanaf het vulpunt. De afstanden waar het plaatsgebonden risico 10^{-6} , respectievelijk 10^{-5} /jaar bedraagt, zijn echter nauwelijks veranderd.
- De berekende risico's rond het vulpunt zijn recht-evenredig met de jaarlijkse LPG-doorzet van een tankstation. De berekende afstanden voor $PR = 10^{-6}$ /jaar en $PR = 10^{-5}$ /jaar zijn in dit rapport gegeven voor drie doorzetten: 500, 1000 en 1500 m³/jaar, ofwel respectievelijk circa 35, 70 en 105 lossingen per jaar. De afstanden zijn gegeven in onderstaande tabel.
- Het verloop van het plaatsgebonden risico als functie van de afstand vertoont een discontinuïteit vanaf de afstand waar de BLEVE van de tankauto het dominante ongevalsscenario is. Bij een LPG-doorzet van 1200 m³/jaar of meer, wordt de ligging van de 10^{-6} /jaar PR-contour bepaald door dit BLEVE scenario. Dit resulteert in een sterke toename van de afstand tot $PR = 10^{-6}$ /jaar bij deze hogere LPG-doorzetten.

LPG-doorzet [m ³ /jaar]	Berekende afstanden [m]	
	PR = 10 ⁻⁵ /jaar	PR=10 ⁻⁶ /jaar
500	24	42
1000	26	46
1500	30	108

In twee bijlagen in dit rapport is verder uitgebreide (technische) informatie opgenomen over doorstroombegrenzers, ontleent aan literatuur en aan gesprekken met, en productbladen van, twee leveranciers van deze appendages.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	5
2. Korte systeembeschrijving	6
3. Scenario's en systeemreacties	7
3.1 Onderscheiden LoC-events	7
3.2 Effectberekeningen en basis-faalkansen	7
3.3 Effecten en betrouwbaarheid van systeemreacties; faalkansen van doorstroombegrenzers	8
3.4 Effect-, schade- en frequentieberekeningen	10
3.5 LoC-frequentie als functie van LPG-doorzet	12
3.6 Wijzigingen in BLEVE-berekeningen	13
4. Presentatie van Plaatsgebonden risico	15
5. Analyse van resultaten en toelichting bij verschillen	17
5.1 Verschillen in scenario's en uitgangspunten	17
5.2 Analyse van bijdragen aan het plaatsgebonden risico	18
6. Overige gewijzigde inzichten en risicobepalende factoren	20
7. Referenties	22
8. Verantwoording	23
Bijlage 1 Inventarisatie literatuur over Excess Flow Valves (doorstroombegrenzers)	
Bijlage 2 Technische informatie over doorstroombegrenzers, afkomstig van leveranciers / installateurs	

1. Inleiding

Het Ministerie van VROM is voornemens om op korte termijn het Besluit Milieu-kwaliteitseisen externe veiligheid inrichtingen Wet Milieubeheer van kracht te laten worden. Aan dit Besluit (AMvB) is een ministeriële regeling gekoppeld, waarin voor diverse soorten inrichtingen generieke afstandstabellen worden opgenomen die gebaseerd zijn op het risico voor (personen in) de omgeving.

Voor het onderdeel betreffende afstandstabellen voor LPG-tankstations is een aanvullend onderzoek uitgevoerd op een studie van TNO-MEP (ref. R2001/435a + bijlage) [1].

Aanleiding voor deze aanvullende studie zijn discussies over recente inzichten in de technische uitvoering van LPG-installaties en in het bijzonder rond de bevoorradings van de tankstations, alsmede modificaties in te hanteren faalfrequenties voor installatiecomponenten. Vanuit de autogasbranche waren vragen gesteld over het al dan niet op juiste wijze in rekening brengen van de geïnstalleerde automatische systeemreacties in het lossysteem: een tweetal doorstroombegrenzers die het lossen van autogas blokkeren wanneer door een ernstig lek in het lossysteem het lossings-debiet plotseling sterk toeneemt.

Dit onderzoek is in het bijzonder gericht op de invloed van de systeemreacties op de ligging van de afstanden vanaf het LPG-vulpunt tot de isorisico-contouren voor $PR = 10^{-5}$ en $PR = 10^{-6}$ per jaar. Deze afstanden, c.q. liggingen van de PR-contouren, zijn bepaald voor inrichtingen met doorzettranges van 500 m^3 , 1000 m^3 en 1500 m^3 per jaar.

In hoofdstuk 2 wordt eerst de uitvoering van de losinstallatie van de LPG tankauto beschreven.

Hoofdstuk 3 behandelt de geïdentificeerde ongevalsscenario's voor het lossen van LPG en de effectiviteit van de systeemreacties. Hierin worden ook de uitgangspunten voor, en resultaten van kans- en effectberekeningen gegeven.

Hoofdstuk 4 presenteert het berekende Plaatsgebonden Risico voor drie categorieën van LPG-doorzet van een tankstation en de afstanden voor $PR = 10^{-5}$ en 10^{-6} /jaar.

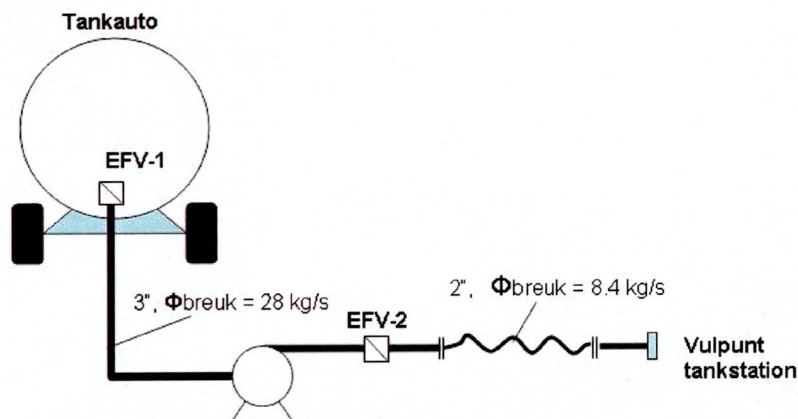
In hoofdstuk 5 wordt een analyse van de resultaten gegeven en wordt een toelichting gegeven op de verschillen in uitgangspunten en resultaten van dit onderzoek ten opzichte van [1].

Hoofdstuk 6 ten slotte bespreekt nog een aantal recente inzichten in de effect- en risicomodellering die van belang kunnen zijn voor de risicobeoordeling rond LPG-tankstations die niet in deze studie zijn uitgewerkt.

In een tweetal bijlagen bij dit rapport worden achtergronden over de werking en de betrouwbaarheid van doorstroombegrenzers toegelicht.

2. Korte systeembeschrijving

In figuur 1 is het lossysteem van een LPG-tankauto schematisch weergegeven. Het geheel van de losinstallatie maakt, tot aan het vulpunt toe, deel uit van de tankauto.



EFV-1 = Excess Flow Valve 1, $\Phi_{\max} = 13.1 \text{ kg/s}$

EFV-2 = Excess Flow Valve 2, $\Phi_{\max} = 7.4 \text{ kg/s}$

Figuur 1 Uitvoering van het lossysteem op een LPG-tankauto.

De uitvoering van het beschermingssysteem is als volgt:

- Binnen de tankauto is, vlak voor de 3" losleiding, een doorstroombegrenzer (excess flow valve, EFV-1) gemonteerd. Deze behoort automatisch te sluiten wanneer er een plotselinge toename van de stroomsnelheid optreedt, groter dan $400 \text{ US-gallons/min} = 1516 \text{ liter/min} \sim 13.1 \text{ kg/sec}$.
- De lospomp heeft een nominaal debiet (normale lossnelheid) van circa $500 \text{ liter/min} = 4.3 \text{ kg/s}$.
- Vanuit de lospomp wordt LPG via een losslang naar het vulpunt gevoerd, en van het vulpunt naar de (meestal ondergrondse) opslagtank. De inwendige diameter van de slang bedraagt 2 inch (ca. 50 mm). De slanglengte is circa 15 meter, waarvan bij normaal gebruik slechts circa 5 meter slang wordt uitgerold; de overige 10 meter blijft opgerold op een haspel op de tankauto.
- Stroomafwaarts van de lospomp, maar vóór de slang, bevindt zich een tweede doorstroombegrenzer, EFV-2. Deze dient te sluiten wanneer het debiet naar de slang groter wordt dan $225 \text{ US-gallons/min} = 853 \text{ liter/min} \sim 7.4 \text{ kg/s}$. Dit debiet zou kunnen worden overschreden bij breuk van de losslang. De EFV-2 voorkomt dan een langdurige uitstroming en uiteindelijk leegstromen van de tankauto.

3. Scenario's en systeemreacties

3.1 Onderscheiden LoC-events

In de kwantitatieve risico-analyse voor het bevoorraden van het LPG-tankstation zijn voor het lossen van de tankauto de volgende Loss of containment events (LoC's, scenario's) beschouwd:

- Breuk van de 3 inch losleiding en pomp: gatgrootte van 3 inch (76 mm)
- Lekkage van de lospomp: gatgrootte van 0.1D (7.6 mm)
- Breuk van de 2 inch losslang: gatgrootte van 2 inch (51 mm)
- Lekkage van de 2 inch losslang: gatgrootte van 0.1D (5 mm)

Verder zijn voor de tankauto nog de volgende LoC's geïdentificeerd:

- BLEVE van de tankauto, resulterend in een vuurbal met warmtestralingseffecten; de BLEVE is gemodelleerd bij drie verschillende vulgraden van de tankauto (vol, 2/3 gevuld en 1/3 gevuld).
- Instantaan falen van de tankauto, resulterend in een lokale wolkbrand of een driftende gaswolk.

Deze scenario's zijn (nagenoeg) identiek gebleven aan die in Ref. 2001/435a [1].

3.2 Effectberekeningen en basis-faalkansen

Voor de vier hierboven beschreven LoC-events voor lossen van de tankauto's zijn uitstroom-berekeningen uitgevoerd conform CPR-14^E [2], met behulp van TNO-software EFFECTS-V5. In alle gevallen zijn de berekeningen uitgevoerd voor een tweefasen uitstroming bij een dampdruk in de tankauto van circa 6.3 bar, overeenkomend met een omgevings- en opslagtemperatuur van 9 °C. De bronsterkte-resultaten en de basis-faalkans staan gegeven in onderstaande Tabel 1. De uitstroomdebieten gelden in de beginfase na het falen van het systeem (de eerste minuten).

Tabel 1 LoC-events voor lossen LPG-tankauto: scenario en uitstromingsdebiet.

LoC-event	Gatgrootte [mm]	Debiet [kg/s]	Basis-faalkans [1/lossing]
Breuk bodemleiding + pomp	76.0	28.0	5.74×10^{-9}
Lekkage pomp	7.6	1.06	2.85×10^{-8}
Breuk losslang	51.0	8.4	1.0×10^{-6}
Lekkage losslang	5.0	0.46	2.0×10^{-5}

De basis-faalkansen zijn uitgedrukt in een kans per lossing van de tankauto. In de literatuur, en ook in [1], worden de faalfrequenties gewoonlijk uitgedrukt per tijdseenheid, bijvoorbeeld per uur of per jaar. Voor verlaadactiviteiten wordt hierbij dan

een correctie toegepast voor de aanwezigheidsduur van de tankauto bij het tankstation. Deze duur bedraagt circa ½ uur per lossing.

De algemeen geldende faalfrequenties uit bijvoorbeeld het Paarse Boek [8] zijn nu omgerekend naar een faalkans per lossing, naar analogie van [7]. Uit de doorzet van een tankstation kan dan eenvoudig het jaarlijkse aantal lossingen worden berekend, dat daarna rechtstreeks naar de faalfrequentie [1/jaar] kan worden omgerekend. Voordeel van de uitdrukking van de kans per lossing is dat de risico's van de tankauto-activiteiten in een uniforme eenheid wordt uitgedrukt.

De gegeven faalkansen zijn op de volgende wijze bepaald:

- Breuk bodemleiding + pomp: Voor breuk van de bodemleiding (3 inch) is de frequentie van breuk van de grootste aansluiting van de tankauto genomen, volgens [8]: $5 \times 10^{-7}/\text{jaar} = 5 \times 10^{-7} \times (0.5/8760) = 2.85 \times 10^{-11}$ per lossing. Voor breuk van de lospomp geldt op analoge wijze volgens [8]: $1 \times 10^{-4}/\text{jaar} = 5.7 \times 10^{-9}$ per lossing. Samen resulteert dit in 5.74×10^{-9} per lossing.
- Lekkage van de pomp: Gebaseerd op [8]: $5 \times 10^{-4}/\text{jaar} = 5 \times 10^{-4} \times (0.5/8760) = 2.85 \times 10^{-8}$ per lossing.
- Breuk van de losslang: Op basis van een inventarisatie door RIVM [9], wordt hiervoor een frequentie gehanteerd van 1×10^{-6} per lossing. Dit is ongeveer een factor 2 lager dan de waarde in [1].
- Lekkage van de losslang: Hiervoor wordt de aanbevolen waarde uit het Paarse Boek gehanteerd: $4 \times 10^{-5}/\text{uur} = 4 \times 10^{-5} \times 0.5 = 2 \times 10^{-5}$ per lossing.

breukening
opnieuw doen
met frequentie
2x zo groot!

3.3 Effecten en betrouwbaarheid van systeemreacties; faalkansen van doorstroombegrenzers

In onderstaande Tabel 2 is de verwachte werking van de EFV-systeemreactie op ieder van de LoC-events beschreven en toegelicht.

Tabel 2 Effect van werking van doorstroombegrenzers op LoC-events.

	Debiet	EFV-1	EFV-2	Conclusie / toelichting
Ontwerp EFV [kg/s] →		13.1	7.4	
LoC-event ↓	[kg/s]			
Breuk bodemleiding + pomp	28.0	+	-	Debiet > 2x EFV-1; EFV-1 sluit. EFV-2 beschermt niet tegen deze LoC
Lek pomp	1.06	-	-	Debiet << EFV-1; EFV-1 sluit niet. EFV-2 beschermt niet tegen deze LoC
Breuk losslang	8.4	-	+/-	Debiet < EFV-1, dus EFV-1 sluit niet. Debiet iets groter dan EFV-2; betrouwbaarheid van EFV-2 kritisch op kans op sluiten.
Lek losslang	0.46	-	-	Debiet << EFV-1; debiet << EFV-2. Geen van beide sluiten.

Uit de gegevens in Tabel 4 wordt geconcludeerd:

- Ieder van de EFV's kan alleen effectief zijn als bescherming tegen breuk van leidingen; ze beschermen niet tegen het relatief lage uitstroomdebiet bij lekages.
- De twee EFV's in serie bieden geen tweevoudige bescherming tegen breuk van de losslang; het sluitdebiet van EFV-1 is daarvoor te hoog. In [7] is hieraan wel een dubbele beveiliging toegekend.
- De marge tussen de (berekende) uitstroming bij breuk van de losslang en het (ontwerp) sluitdebiet van EFV-2 is gering: (8.4 kg/s versus 7.4 kg/s). Hiermee dient in de betrouwbaarheidsschatting rekening te worden gehouden.

Voor de kans op falen van een doorstroombegrenzer zijn in de literatuur weinig gegevens bekend. Een inventarisatie in Lees [3] levert vooral kwalitatieve informatie op betreffende aanbevolen toepassingen en ervaringen met EFV's. De over dit onderwerp gevonden informatie is vervat in bijlage 1. In bijlage 2 is informatie opgenomen die is verkregen uit gesprekken met, en productbladen van, twee leveranciers van doorstroombegrenzers.

Vrij algemeen wordt een betrouwbaarheidscijfer uit de LPG-Integraalstudie [4] genoemd, welke ook wordt geadviseerd door Aminal [5]. De gegeven faalkans bedraagt $P = 0.06$ /aanspraak, met een betrouwbaarheidsgebied van $0.006 < P < 0.12$. De herkomst en onderbouwing ten aanzien van het toepassingsgebied van deze getallen konden echter niet worden achterhaald.

Door AEGPL [6] worden getallen gegeven voor het falen van shut-off valves, afhankelijk van de mate van automatisering ervan. Gelet op de beschrijvingen, lijken de beschouwde systemen niet betrekking te hebben op het type (mechanische) EFV dat in de onderhavige systemen wordt gebruikt. De door TNO-SSC gebruikte faalkans van $P = 0.5$ /aanspraak [7] lijkt voor deze EFV's sterk overschat, zeker voor het exemplaar dat in de bodemleiding van de tankauto is geïnstalleerd.

Uit de productinformatie van doorstroombegrenzers blijkt dat de betrouwbaarheid van functioneren van deze EFV's sterk afhankelijk is van de condities waaronder ze worden geïnstalleerd of gebruikt. Oorzaken van falen (dit is: niet sluiten bij een groot lek of leidingbreuk) zijn:

- Mechanische beschadiging, veroudering of vervuiling; deze oorzaken dienen door periodieke controle en onderhoud te worden uitgesloten.
- Verhoogde weerstand in het leidingstelsel waarin de EFV is aangebracht, bijvoorbeeld door bochten, lange leidingen, vernauwingen of een pomp stroomafwaarts van de EFV; door dergelijke restricties neemt het debiet bij leidingbreuk onvoldoende toe om de EFV te laten sluiten.
- Lagere (damp)druk in het systeem als gevolg van lage temperatuur; in die situatie kan de druk bij vrije uitstroming lager zijn dan het sluitdebiet van de EFV. Deze conditie is kritischer naarmate de marge tussen het uitstroomdebiet en het sluitdebiet van de doorstroombegrenzer kleiner is. Bij de autogas-verlading is

deze marge voor de losslang gering: EFV sluit bij 7.4 kg/s, terwijl het 2-fasen uitstroomdebiet 8.4 kg/s bedraagt, bij een temperatuur van 9 °C. Berekend is dat bij een temperatuur van circa 0 °C de LPG-dampdruk zo laag is dat de vrije uitstroming gelijk is aan het sluitdebiet van EFV-2 en de doorstroombegrenzer dus niet zal functioneren. Deze berekening is uitgevoerd voor propaan; voor het autogasmengsel van propaan en butaan kan deze temperatuur nog iets hoger liggen. Dit betekent dat de betrouwbaarheid van de EFV als bescherming tegen slangbreuk relatief gering kan zijn, vooral in winterperioden.

Dit laatste punt onderbouwt het navolgende voorstel om de faalkans van EFV-2 aan de bovenzijde van het betrouwbaarheidsinterval te kiezen.

Vanwege het ontbreken van voldoende specifieke informatie worden de volgende faalkansen voorgesteld voor gebruik in deze studie:

- Voor EFV-1 in de bodemleiding: $P = 0.06$, zijnde het generieke faalcijfer volgens [4] en [5].
- Voor EFV-2 in de losslang: $P = 0.12$, zijnde de bovengrens van de betrouwbaarheidsrange volgens [5]. Hiermee wordt een penalty ingebouwd voor de geringe marge tussen het sluitdebiet van EFV-2 (7.4 kg/s) en het maximale uitstroomdebiet in geval van slangbreuk (8.4 kg/s).

Door de autogasbranche wordt hierbij wel de opmerking geplaatst dat hun tankauto-chauffeurs de ervaring hebben dat de EFV-2 regelmatig onbedoeld sluit zodra de pomp wordt ingeschakeld of wanneer men probeert met een wat hoger debiet te lossen dan met de nominale 500 liter/min (4.3 kg/s). Enerzijds duidt het vroegtijdig sluiten op een aanzienlijke afwijking van het 'set-point' van 7.4 kg/s (factor 1.7). Anderzijds kan het een aanwijzing zijn dat de EFV eerder te vroeg sluit dan te laat. Vanwege het ontbreken van statistisch of experimenteel onderbouwde betrouwbaarheidsgegevens, wordt voorgesteld om voorlopig van de bovenbeschreven (wellicht enigszins conservatieve) getallen uit te gaan. Van de zijde van de autogas-branche of van de leveranciers van de EFV's kan mogelijk experimentele onderbouwing voor andere betrouwbaarheids- of ervaringsgetallen worden verkregen.

3.4 Effect-, schade- en frequentieberekeningen

Voor de beschreven LoC-events zijn effectberekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3. Bij die scenario's waarbij dispersie en dus weerscondities aan de orde zijn (flash-fire en explosie), zijn de afstanden vermeld die optreden bij de meest ongunstige weerscondities.

De onder de kolom 'Kans' genoemde waarden hebben betrekking op de ontstekingskansen. Deze bedragen voor transportmiddelen binnen een inrichting, volgens [8]:

- Voor continue uitstroming uit een tankauto: $P_{\text{direct}} = 0.1$ (en dus $P_{\text{vertraagd}} = 0.9$);

- Voor instantane uitstroming uit een tankauto: $P_{\text{direct}} = 0.4$ (en dus $P_{\text{vertraagd}} = 0.6$).

Verondersteld is dat de losleiding en de lospomp in dezen deel uitmaken van het transportmiddel.

Voor de ontstekingskansen van de losslang dienen volgens [11] de getallen te worden gebruikt behorende bij een stationaire installatie, dus afhankelijk van type stof (reactiviteit) en uitstroomdebiet. Voor de onderhavige situatie voor ‘continue’ uitstroming van LPG geldt dan:

- Voor uitstroomdebiet < 10 kg/s: $P_{\text{direct}} = 0.2$ (en dus $P_{\text{vertraagd}} = 0.8$);
- Voor uitstroomdebiet $10 - 100$ kg/s: $P_{\text{direct}} = 0.5$ (en dus $P_{\text{vertraagd}} = 0.5$).

Voor de tankauto en de bodemleiding wijken deze ontwikkelingskansen af van de verdeling die is gebruikt in [1], waarin de kans op directe ontsteking was gebaseerd op stationaire installaties in plaats van op vervoersmiddelen binnen een inrichting.

Aangenomen wordt dat een doorstroombegrenzer –mits hij niet faalt– sluit binnen 5 seconden. Voor de berekeningen is verder verondersteld dat de vrijkomende hoeveelheid LPG in die situatie gelijk is aan het 2-fasen uitstroomdebiet gedurende 5 seconden, vermeerderd met de leidinginhoud. De hoeveelheden bedragen dan circa 145 kg bij breuk van de bodemleiding of pomp, resp. 65 kg bij breuk van de losslang.

Toelichting bij resultaten in Tabel 3:

- In de kolom ‘Lengte vlamgebied’ is gegeven:
 - voor een fakkel de lengte van de fakkel;
 - voor flash fire de maximale afstand tot LEL;
 - voor VCE de straal van de overdrukkring, vanuit het midden van het flash-fire gebied.
- De effecten van de scenario’s waarbij EFV-1 of EFV-2 sluit zijn als volgt gemoedeleerd:
 - Bij directe ontsteking ontstaat een fakkel gedurende 5 seconden (sluittijd van de EFV’s), waarvan de lengte is berekend als een ‘continue’ uitstroming;
 - Bij vertraagde ontsteking wordt de dispersie berekend als afkomstig van een instantane bron, met de totale hoeveelheid die vrijkomt in 5 seconden + de inhoud van het lekkende systeemdeel.
 - Bij correct functioneren van de EFV’s (= sluit) resulteert een korte uitstromingsduur (5 sec) en dus ook een korte duur van blootstelling aan een fakkel. Hierdoor leidt de berekende blootstelling aan warmtestraling rond de fakkels niet tot effectafstanden (letaliteit) die groter zijn dan de fakkel-lengte zelf. Voorbeeld: Bij het scenario ‘breuk bodemleiding’ is de fakkel-lengte 57 meter. Voor de warmtestraling wordt berekend, uitgaande van een puntstraler op de halve fakkel-lengte:
 - 35 kW/m^2 (100% sterfte): $R_{100} = 21.5$ m. De effectafstand bedraagt dan $\frac{1}{2} \times 57 + 21.5 = 50$ m. Dit is kleiner dan de lengte van 57 m.

- 27.8 kW/m^2 (1% sterfte bij $t = 5 \text{ sec}$): $R_{01} = 24 \text{ m}$. De effectafstand bedraagt dan $\frac{1}{2} \times 57 + 24 = 52.5 \text{ m}$. Dit is kleiner dan de lengte van 57 m.

In de risicoberekeningen zijn de warmtestralingseffecten rondom de fakkel wel meegenomen.

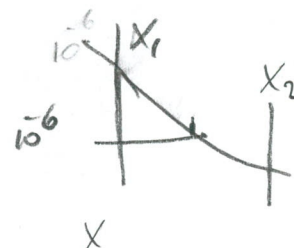
Tabel 3 Effect-afstanden voor onderscheiden LoC-events.

LoC-event	Systeem-reactie	Frequentie	Vervolg / effect	Kans	Lengte vlamgebied ¹⁾	Afstand voor %-age letaliteit			
		[$\times 10^{-9}$ /lossing]			[m]	99%	50%	10%	1%
Breuk bodem-leiding	EFV-1 sluit	$5.74 \times 0.94 = 5.4$	Fakkel	0.1	57.0	57	57	57	57
			Flash fire, LEL	0.9	20x33	20			
			VCE, 0.1 bar	0.9x0.4	33				43
			VCE, 0.3 bar	0.9x0.4	15	25			
	EFV-1 faalt	$5.74 \times 0.06 = 0.344$	Fakkel	0.1	57.0	57	57	63	69
			Flash fire, LEL	0.9	112x47	112			
			VCE, 0.1 bar	0.9x0.4	76				132
			VCE, 0.3 bar	0.9x0.4	35	91			
Lekkage pomp	EFV-1 faalt	28.5	Fakkel	0.1	19.2	15	17	19	21
			Flash fire, LEL	0.9	15x8	15			
			VCE, 0.1 bar	0.9x0.4	16				24
			VCE, 0.3 bar	0.9x0.4	7	15			
Breuk los-slang	EFV-2 sluit	$1000 \times 0.88 = 880$ <i>10⁶/m 15</i>	Fakkel	0.2	38.3	38	38	38	38
			Flash fire, LEL	0.8	14x23	14			
			VCE, 0.1 bar	0.8x0.4	25				37
			VCE, 0.3 bar	0.8x0.4	11	18			
	EFV-2 faalt	$1000 \times 0.12 = 120$ <i>22⁴/m 27</i>	Fakkel	0.2	38.3	38	39	42	46
			Flash fire, LEL	0.8	43x11	43			
			VCE, 0.1 bar	0.8x0.4	32				54
			VCE, 0.3 bar	0.8x0.4	15	37			
Lekkage losslang	EFV-2 faalt	20 000	Fakkel	0.2	14.5	14	15	16	18
			Flash fire, LEL	0.8	-				
			VCE, 0.1 bar	0.8x0.4	-				
			VCE, 0.3 bar	0.8x0.4	-				

3.5 LoC-frequentie als functie van LPG-doorzet

De gegeven frequenties voor de LoC-events omvatten de frequentie van de initiële gebeurtenis (breuk of lek) en de faalkans van de systeemreactie (EFV's), en zijn gegeven per lossing. Voor berekening van de ongevalsfrequentie per jaar dienen deze getallen te worden vermenigvuldigd met het aantal lossingen dat per jaar plaatsvindt. Het aantal lossingen bedraagt voor:

- Doorzet = $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$: 35 lossingen
- Doorzet = $1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$: 70 lossingen
- Doorzet = $1500 \text{ m}^3/\text{jaar}$: 105 lossingen



De ongevalsfrequenties voor de onderscheiden doorzetcategorieën zijn gegeven in onderstaande Tabel 4:

Tabel 4 LoC-frequenties voor drie doorzet-categorieën.

LoC-event	Systeem-reactie	Frequentie	LoC-frequentie per doorzet		
			500 m ³ /jaar	1000 m ³ /jaar	1500 m ³ /jaar
		[x10 ⁻⁹ /lossing]	[10 ⁻⁶ /jaar]		
Breuk bodemleiding	EFV-1 sluit	5.4	0.189	0.377	0.566
	EFV-1 faalt	0.344	0.012	0.024	0.036
Lekkage pomp	EFV-1 faalt	28.5	0.999	1.998	2.997
Breuk losslang	EFV-2 sluit	880	30.8	61.6	92.4
	EFV-2 faalt	120	4.2	8.4	12.6
Lekkage losslang	EFV-2 faalt	20 000	700.0	1400.0	2100.0

3.6 Wijzigingen in BLEVE-berekeningen

In de uitgangspunten voor het scenario BLEVE van de tankauto zijn ten opzichte van [1] enkele beperkte wijzigingen aangebracht. De aanleiding hiervoor ligt in de vaststelling van enkele fysische parameters die betrekking hebben op specificaties van de tankauto die naar aanleiding van transportrisico-studies in de afgelopen jaren zijn gedefinieerd. De aanpassingen betreffen:

- De (maximale) inhoud van de tankauto. Deze bedraagt 26.700 kg (was 28.000 kg). Het verschil is veroorzaakt door een correctie op de referentietemperatuur voor de maximaal toelaatbare vulgraad (95% bij 50 °C, volgens paragraaf 7.1.2 in [12]).
- De referentie-barstdruk van de tank. Hiervoor is in recente berekeningen 25 bar aangehouden, gebaseerd op $1.21 \cdot P_{PSV}$ (de insteldruk van het veiligheidsventiel –PSV- op de tankauto). Deze bedraagt volgens [10] $P_{PSV} = 19.25$ barg. In [1] was uitgegaan van een insteldruk van 25 bar en een barstdruk van 30 bar.

De berekende effectafstanden voor BLEVE's zijn gegeven in onderstaande Tabel 5. De waarden vervangen de afstanden zoals gegeven in tabel 3.2 (pag. 43) in [1], onder Tankauto – BLEVE (3x).

Tabel 5 Herziene schade-afstanden voor BLEVE van de tankauto.

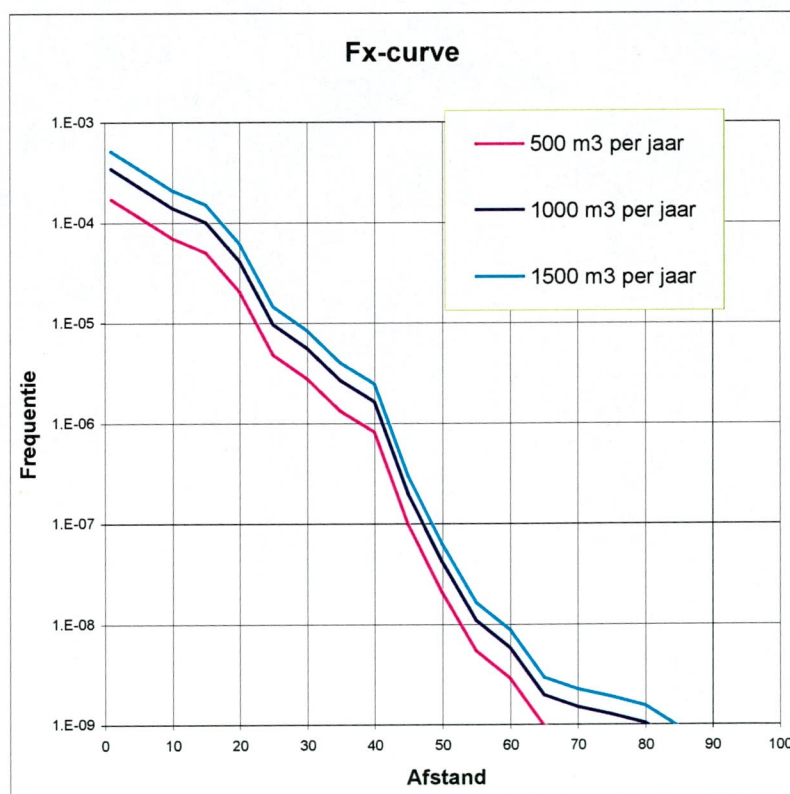
LoC-event	Vervolgeffect	Afstand voor %-age letaliteit			
		99%	50%	10%	1%
BLEVE, 100% gevuld	Vuurbal (R = 89 m)	150	185	250	307
BLEVE, 67% gevuld	Vuurbal (R = 78 m)	128	147	202	251
BLEVE, 33% gevuld	Vuurbal (R = 62 m)	96	118	139	177

De correctie op de straal van de vuurbal bedraagt steeds ongeveer 1 meter. De letselafstanden voor warmtestralingschade zijn over het geheel 3% – 5% kleiner geworden. Deze laatste correctie is vrij marginaal ten opzichte van het verschil dat ontstaat door introductie van het onderscheid in ‘warme’ en ‘koude’ BLEVE’s (zie hoofdstuk 6).

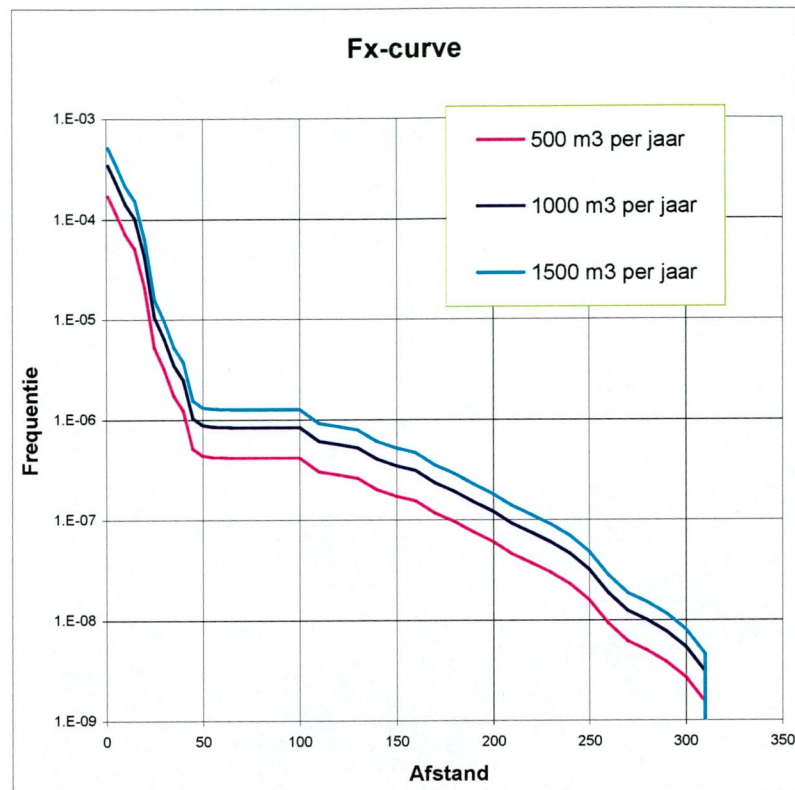
4. Presentatie van Plaatsgebonden risico

Op basis van de LoC's, de effectafstanden en de frequenties zijn curven voor het Plaatsgebonden Risico berekend met behulp van TNO's softwarepakket RISKCURVES. De resultaten zijn gegeven in:

- Figuur 2 voor de risico's die betrekking hebben op het beschreven onderdeel van de bodemleiding, lospomp en losslang, inclusief de systeemreacties van EFV-1 en EFV-2.
- Figuur 3 voor alle risico's rond de tankauto en het vulpunt samen. De toegevoegde scenario's betreffen vooral het falen van de tankauto zelf, in het bijzonder de BLEVE ervan. Deze scenario's en hun frequenties zijn in essentie gelijk gebleven aan die in Ref. TNO-MEP 2001/435a [1]. Wel is de herziening van de effectafstanden, zoals beschreven in 3.6 in deze curven verwerkt.



Figuur 2 *fX-curven voor LoC-situaties lossing (excl. instantaan falen en BLEVE tankauto).*



Figuur 3 *fX-curven voor LoC-situaties lossing (incl. instantaan falen en BLEVE tankauto).*

Uit de berekeningen resulteren de volgende afstanden voor de ligging van $PR = 10^{-5}$ /jaar en $PR = 10^{-6}$ /jaar, voor de drie doorzetcategorieën:

Tabel 6 *Veiligheidsafstanden voor $PR = 10^{-5}$ en $PR = 10^{-6}$, voor drie doorzet-categorieën.*

LPG-doorzet [m³ /jaar]	Berekende afstanden [m]	
	$PR = 10^{-5}$ /jaar	$PR = 10^{-6}$ /jaar
500	24	42
1000	26	46
1500	30	108

5. Analyse van resultaten en toelichting bij verschillen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillen in uitgangspunten en resultaten van deze aanvullende studie ten opzichte van de “QRA-Generiek” uit 2001 [1]. Hierbij wordt mede gebruik gemaakt van een analyse op de risicoberekeningen uit TNO's software RISKCURVES en de relatieve bijdragen die zijn berekend voor ieder van de scenario's.

5.1 Verschillen in scenario's en uitgangspunten

De belangrijkste verschillen in uitgangspunten en scenario's ten opzichte [1] zijn:

- a. Lagere frequentie van het scenario 'breuk van de losslang' tijdens het lossen van de LPG-tankauto, op basis van [9], en aanpassing van de uitstroomberekeningen;
- b. Toevoeging van de scenario's 'lekkage van de losslang' en 'breuk van de lossomp', conform het Paarse Boek [CPR-18^E, 8];
- c. Uitbreiding met de effect- en risicogebieden voor explosies met 100% letaliteit binnen het gebied met een overdruk van 0.3 bar, conform het Paarse Boek [CPR-18^E, 8];
- d. Rekening houden met geïnstalleerde systeemreacties bij breuk- of lekscenario's;
- e. Aanpassing van de referentie-inhoud van een met LPG-gevulde tankauto.

De verschillen voortvloeiend uit de punten d. en e. zijn in hoofdstuk 3 uitgebreid beschreven. Op de andere drie punten wordt hieronder nader ingegaan.

Ad a. Frequentie “breuk van de losslang”

Deze frequentie is ten opzichte van [1], en ten opzichte van de aanbevolen waarde in [8], gehalveerd. De onderbouwing hiervoor is gegeven in [9]. Daarnaast zijn de effectberekeningen –in het bijzonder die van het uitstroomdebiet– gewijzigd. In [1] was uitgegaan van een debiet maximaal gelijk aan 1.5x het nominale pompdebiet. Dit zou ertoe leiden dat de doorstroombegrenzer vóór de slang (EFV-2) geen functie zou hebben. Het uitstroomdebiet is daarom nu berekend op basis van een tweefasen-uitstroming uit een leiding (de losslang) van 2 inch diameter. Dit is overigens kleiner dan de oorspronkelijk aangehouden 3 inch, welke geldt vanaf de tankauto tot direct na de pomp. De verhoging van het debiet waarmee is gerekend is niet groot: van 6.5 kg/s in [1] naar 8.4 kg/s in deze studie.

Ad b. Toevoeging 'lekkage van de losslang'

In vroegere studies, inclusief LPG-Integraal [4], is ervan uitgegaan dat een LPG-uitstroming van minder dan 1 kg/s geen relevante bijdrage aan het externe risico zal veroorzaken. Een lek ter grootte van 10% van de leidingdiameter resulteert

voor de losslang in een uitstroming van circa 0.5 kg/s. Om deze reden is deze LoC eerder verwaarloosd.

In deze studie is lekkage wel meegenomen, conform [8]. Het belangrijkste effect van deze ontsnapping is, bij directe ontsteking, een fakkelbrand. De lengte van de fakkel bedraagt circa 15 meter. Voor een eventuele vertraagde ontsteking worden geen effecten (flash fire en/of explosie) berekend.

Vanwege de relatief hoge frequentie van lekkage (2×10^{-5} /lossing, dus bij 35 lossingen 0.7×10^{-3} / jaar) levert dit scenario in de directe nabijheid van het vulpunt de hoogste bijdrage aan het externe risico.

De faalfrequentie zelf is zodanig hoog dat het cijfer kan worden getoetst aan de casuïstiek van incidenten. Uitgaande van een totale jaarlijkse LPG-verkoop van gemiddeld 1.4×10^6 m³/jaar in de periode 1990 – 2000 [1], en een lossingsomvang van gemiddeld (500/35 =) 14 m³/ lossing, bedraagt het aantal lossingen 100.000 per jaar. Met de aangenomen lekfrequentie van de losslang van 2×10^{-5} /lossing, zou dit resulteren in twee lekkage-incidenten per jaar op tankstations in Nederland. Dit aantal wordt door de autogas-branche waarschijnlijk (veel) te hoog geacht.

Er is aanleiding om, in het verlengde van de inventarisatie van RIVM [9], ook de generieke waarde van lekkage van losslangen aan de ervaringen van de gebruikers te toetsen.

Ad c. Effecten van explosies

In de vorige studie [1] was, conform [4], voor de berekening van schade door overdruk uitgegaan van 1% sterfte binnen het gebied waar een overdruk van 0.1 bar of hoger optreedt. Het gebied met een overdruk hoger dan 0.3 bar (grens voor 100% sterfte) valt vrijwel altijd binnen de contouren van de wolkbrand (flash fire) waar 100% sterfte door direct vlamcontact wordt verondersteld; de explosieschade levert dan dus geen extra bijdrage aan het overlijdensrisico.

In deze studie is nu de aanbevolen modellering volgens het Paarse Boek [8] gevolgd. Hierin wordt het gebied tussen 0.3 bar en 0.1 bar overdruk uitsluitend relevant voor het groepsrisico verondersteld. Voor het plaatsgebonden risico (PR) blijkt het 0.3 bar gebied toch van belang te zijn. Afhankelijk van de weerscondities is het schadegebied in een aantal gevallen toch groter dan –vooral de breedte van de afmetingen van de wolkbrand. Het gebied tot 0.1 bar overdruk laat overigens, ook bij een gemiddeld sterftepercentage van 2.5% dat voor het groepsrisico wordt aanbevolen, nauwelijks toename zien van het PR.

5.2 Analyse van bijdragen aan het plaatsgebonden risico

In Tabel 7 zijn voor een aantal afstanden de bijdragen van de onderscheiden scenario's tot het berekende plaatsgebonden risico gegeven, voor een tankstation met een LPG-doorzet van 500 m³/jaar. In Tabel 8 wordt de verdeling van procentuele bijdragen gegeven.

Tabel 7 Bijdragen aan Plaatsgebonden Risico per LoC-situatie, als functie van de afstand vanaf het vulpunt (geldt voor LPG-doorzet = 500 m³/jaar).

LoC-situatie	Bijdrage aan plaatsgebonden risico op afstand ... meter, in [10 ⁻⁹ /jaar]											
	10	20	30	40	50	75	100	125	150	200	250	300
Breuk bodemleiding of pomp; EFV-1 sluit	123	71.4	26.5	8.7	2.4	--	--	--	--	--	--	--
Breuk bodemleiding of pomp; EFV-1 faalt	8.3	4.7	3.1	2.5	1.8	0.8	0.2	0.1	--	--	--	--
Lekkage pomp	384	32.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Breuk losslang; EFV-2 sluit	16780	7520	2190	585	--	--	--	--	--	--	--	--
Breuk losslang; EFV-2 faalt	1870	1027	544	218	16.6	--	--	--	--	--	--	--
Lekkage losslang	51300	12100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
BLEVE Tankauto	419	419	419	419	419	419	419	273	173	60.6	16.1	2.7
Instantaan falen tankauto	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.3	0.3	0.3	<0.1	--	--
TOTAAL	70900	21200	3185	1234	440	420	420	273	173	61	16.1	2.7

Tabel 8 Relatieve bijdragen aan Plaatsgebonden Risico per LoC-situatie, als functie van de afstand vanaf het vulpunt (geldt voor LPG-doorzet = 500 m³/jaar).

LoC-situatie	Bijdrage aan plaatsgebonden risico op afstand ... meter, in [%]											
	10	20	30	40	50	75	100	125	150	200	250	300
Breuk bodemleiding of pomp; EFV-1 sluit	0.17	0.34	0.83	0.71	0.55	--	--	--	--	--	--	--
Breuk bodemleiding of pomp; EFV-1 faalt	0.01	0.02	0.10	0.20	0.41	0.19	0.05	0.02	--	--	--	--
Lekkage pomp	0.54	0.15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Breuk losslang; EFV-2 sluit	23.7	35.5	68.8	47.4	--	--	--	--	--	--	--	--
Breuk losslang; EFV-2 faalt	2.6	4.8	17.1	17.7	3.8	0.15	--	--	--	--	--	--
Lekkage losslang	72.4	57.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
BLEVE Tankauto	0.59	2.0	13.2	34.0	95.1	99.5	~99.9	~99.9	~99.8	~99.9	100	100
Instantaan falen tankauto	<0.01	<0.01	0.03	0.06	0.18	0.17	0.07	0.11	0.17	0.06	--	--

Uit deze tabellen blijkt:

- Op afstanden vanaf 50 meter wordt het plaatsgebonden risico nagenoeg volledig (> 95%), en vanaf 100 meter volledig, bepaald door het BLEVE-scenario van de tankauto.
- Op afstanden kleiner dan 20 meter wordt het plaatsgebonden risico voor meer dan 97.5% bepaald door falen van de losslang. Hierbinnen veroorzaakt de lekkage van de slang 60 – 70% van het PR. Vanaf 20 meter afstand speelt deze lekkage geen rol meer.
- Op afstanden tot circa 45 meter zijn de ‘slangscenario’s’ dominant.
- Scenario’s samenhangend met de bodemleiding en lospomp dragen slechts in zeer geringe mate bij: op alle afstanden minder dan 1%.

6. Overige gewijzigde inzichten en risicobepalende factoren

Bij aanvang van deze aanvullende studie werd, op basis van de eerdere TNO-studie (ref. R2001/435a [1]), verwacht dat de losslang-scenario's vooral de risico's op korte afstand (tot circa 50 meter) zullen bepalen en dat deze scenario's op die afstanden verantwoordelijk zijn voor de 10^{-5} en/of 10^{-6} contouren. Op grotere afstand is het scenario van de tankauto-BLEVE bepalend, waarbij dit scenario bepalend is voor de ligging van de 10^{-6} -contour van stations met een hoge doorzet.

Deze verwachtingen zijn door de resultaten in dit rapport bevestigd. Er is echter aanleiding om ook voor BLEVE's de uitgangspunten van modellering tegen het licht te houden. Dit in verband met vernieuwde inzichten in:

- Onderscheid in zogenaamde 'warme' en 'koude' BLEVE's. In R2001/435a is alleen de warme BLEVE gemodelleerd, wat in het algemeen tot conservatieve risico-uitkomsten leidt.
- Het fenomeen van een dynamisch BLEVE-gedrag (in de tijd groeien, opstijgen en weer krimpen van de vuurbal), wat tot (gemiddeld!) lagere warmtestralingsdoses in de omgeving leidt. In R2001/435a zijn BLEVE's gemodelleerd volgens CPR-14^E [2], waarbij een stationaire vuurbal van constante grootte op constante stijghoogte wordt verondersteld.

Verwacht mag worden dat deze nieuwe inzichten op afzienbare termijn zullen worden geëvalueerd en mogelijk in de 'nationale modellering' zullen worden opgenomen. Aangezien niet vaststaat of, en zo ja op welke termijn, deze nieuwe modellering ook voor LPG-tankstations geaccepteerd zal worden en welke kansverdeling daarvoor dan zal gelden, en gelet op het urgente karakter van dit aanvullende onderzoek, zijn deze aanpassingen niet in deze studie verwerkt.

Een ander aspect dat van invloed is op de risico's van een tankstation tijdens de LPG-bevoorrading, is de opstelplaats van de tankauto en het risico van aanrijding door overig (weg)verkeer. Deze parameter kan van groot belang zijn voor het werkelijke risico van de inrichting. Het is echter niet mogelijk geweest om deze in een generieke benadering en een beperkte set van afstandstabellen te laten meewegen. Mogelijkheden om met deze omstandigheden wel rekening te houden zijn: het uitvoeren van specifieke QRA's voor situaties die afwijken van het generieke tankstation, of een stelsel voor toekenning van toeslagen (credits & penalties) op de veiligheidsafstand of op de doorzettoeslag voor deze factoren. Vanwege de korte beschikbare termijn voor deze studie is ook dit aspect vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Onderkenning van het fenomeen 'koude BLEVE' is ook van belang voor de scenario's voor de ondergrondse LPG-opslagtank. Wanneer deze door een externe oorzaak (bijvoorbeeld graafwerk of een vallend zwaar voorwerp) instantaan faalt, is vrijzetting van de inhoud in de vorm van een BLEVE (koud!) denkbaar. Zo'n sce-

nario is in R2001/435a niet betrokken, mede als gevolg van het destijds nog niet onderkennen van het begrip 'koude BLEVE'. Aangezien dit onderdeel van het tankstation een eigen stelsel van veiligheidsafstanden kent, is dit onderwerp niet in dit -op het vulpunt gerichte- onderzoek meegenomen.

7. Referenties

- [1] Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations (+ bijlagen)
Ing. J.M. Ham, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie
Ref. TNO-MEP R2001/435a, oktober 2001
- [2] Methods for the calculation of physical effects (CPR-14^E, Gele Boek)
Committee for the Prevention of Disasters, third edition 1997.
- [3] Loss Prevention in the Process Industry
Lees, 2nd Edition
- [4] LPG-Integraal studie, TNO, 1984
- [5] Handboek Kanscijfers ten behoeve van het opstellen van een
Veiligheidsrapport
Aminal Dienst Gevaarlijke Stoffen en Risicobeheer, Antwerpen 1994
- [6] AEGPL, Risk based methodology
- [7] Kwantitatieve risico-analyse LPG-tankstation
A.J. Haitsma, Safety Solutions Consultants BV, maart 2002
- [8] Guidelines for Quantitative Risk Assessment (CPR-18^E, Paarse Boek)
Committee for the Prevention of Disasters, first edition 1999.
- [9] Beoordeling onderbouwing faaldata VVG voor scenario 'breuk losslang' bij
een LPG-tankstation
G.M.H. Laheij, RIVM Centrum voor Externe Veiligheid, November 2003
- [10] BK-Gas, E. Prins, mondeling informatie 01/03/2004
- [11] "Questions & Answers" betreffende het Paarse Boek, RIVM-CEV
- [12] CPR 8-2, LPG-Tankwagens
Commissie Preventie van Rampen, eerste druk 1985

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Ministerie van VROM
DGM, Directie Externe Veiligheid
T.a.v. de heer Drs. C.T. Braams
Postbus 30.945, Interne Postcode 635
2500 GX Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ing. J.M. Ham
Mw. Ing. A.W.T. van Blanken

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

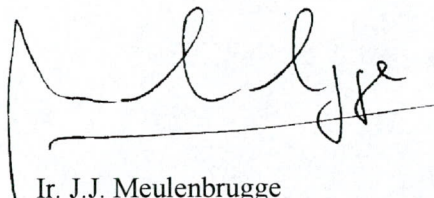
Maart 2004

Ondertekening:



Ing. J.M. Ham
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. J.J. Meulenbrugge
afdelingshoofd

Bijlage 1 Inventarisatie literatuur over Excess Flow Valves (doorstroombegrenzers)

Er is slechts beperkte literatuur gevonden over de betrouwbaarheid van doorstroombegrenzers ('**excess flow valves**'). In Lees [3] is vooral kwalitatieve informatie over de toepassing van dergelijke EFV's gevonden. Deze informatie wordt als achtergrond bij dit rapport zinvol geacht. Relevante passages zijn hier geciteerd. De gegeven nummercode is ontleend aan de subject index in [3], en verwijst naar hoofdstuk/pagina in de boeken.

9/99-100: HSE chlorine methodology

In HSE risk analysis methodology voor chloor, wordt een faalkans van een EFVC in een laad/losslang aangehouden van $P = 0.01$ (1.5 faalsituaties op 150 transfers per jaar). De herkomst van de cijfers wordt niet gegeven.

12/29-30: In hoofdstuk 'Pressure system design', paragraaf 'pipework and valves' wordt over EFV's gezegd:

*Another type of valve with a protective function is the **excess flow valve** (EFV).*

*Such a valve is used to shut off flow in a situation where the flow has suddenly risen far in excess of its normal value. The rise in flow which triggers the operation of an **excess flow valve** is generally 50% or more above the normal value.*

***Excess flow valves** are used at loading facilities to give flow shut-off in the event of rupture of a filling line hose. The **excess flow valve** on a filling line may be installed internally in the storage vessel.*

*Where the liquid is held as a superheated liquid under pressure and will flash when released to atmosphere, the flow will become two-phase. The sizing of **excess flow valves** thus involves a two-phase flow calculation. A calculation method for two-phase flow in this application has been described by R.A. Freeman and Shaw (1988). The method is presented as an alternative to testing of **excess flow valves**, which is a code recommendation for liquefied petroleum gas (LPG), but which the authors consider to be potentially hazardous.*

15/333: In hoofdstuk 'Emission and dispersion', paragraaf 'Leaks and spillages' worden karakteristieke lekgrootten genoemd. Hierbij wordt gesteld:

*Small leaks such as those from pump and valve glands or pipe joints are quite probable. ... Medium leaks are defined as those large enough to go beyond the plant boundaries. The leak should be isolated if possible. Isolation by the use of hand valves near the leak may be hazardous and the use of remotely operated isolation valves is preferable if the latter are available. It may be noted that **excess flow valves** do not operate at lower leakage rates.*

18/75: In hoofdstuk 'Toxic release', paragraaf 'Chlorine Hazard assessment, Transport Units' wordt gesteld:

*All containers for chlorine transport are pressure vessels made in steel and equipped with safety devices such as pressure relief valves and **excess flow valves**, and are regularly inspected and pressure tested. Details of chlorine containers are given in the publications of the Chlorine Institute.*

18/80: In hetzelfde hoofdstuk wordt ook het transport van chloor per pijpleiding besproken. Hierin wordt ondermeer t.b.v. berekening van een uitstrooiscenario gesteld:

*... The fracture was assumed to occur between two **excess flow valves** 2 miles apart, 1.5 miles from one valve and 0.5 mile from the other, allowing emission of chlorine from both ends. It was further assumed that the **excess flow valves** would take 30 seconds to close.*

23/40: In hoofdstuk 'Transport' wordt in de paragraaf over 'Chlorine pipelines' gesteld:

*... The provision of a means for the control of line breaks is particularly important with a chlorine pipeline. Automatic shut-off valves may be installed for gas and liquid lines, while **excess flow valves** may be used as an alternative on liquid lines. A combination of both devices may be preferable for the liquid case.*

22/68-69: In hoofdstuk 'Storage' wordt onder de paragraaf 'Shut-off arrangements' het volgende gesteld:

*There are measures which can be taken to avoid overfilling and a number of devices which can be used to effect rapid shut-off if a leak occurs due to overfilling, failure of a filling connection or otherwise. These include (1) ..., (8) ..., (9) **excess flow valves**, (10) ..., .. (12) ... (opsomming).*

*Means are available for cutting off flow from a damaged or disconnected connection, e.g. non-return valves, **excess flow valves**, and remotely operated isolation valves. Whatever the other arrangements, means should be provided for stopping all pumps immediately if an incident occurs. This should be manual control in an attended terminal and an automatic one in an unattended one.*

23/83: In hoofdstuk 'Transport' wordt in de paragraaf over 'Road transport Hazard Assessment' het volgende gesteld over chloor-tankauto's van ICI-UK:

*The tankers have their liquid and vapour valves protected in a recessed valve chest at the front of the vehicle. They have **excess flow valves**, and the two latest vehicles also have remotely operated shut-off valves.*

22/29: In het hoofdstuk 'Storage' worden eisen vanuit de LPGA LPG Storage Code genoemd, waaronder:

... Another requirement of the Code is that any connection on the vessel greater than 3 mm diameter for liquid or 8 mm diameter for vapour, except that for a relief valve, should be protected with an emergency shut-off valve (ESV). The types of

*ESV mentioned are **excess flow valves**, remotely operated isolation valves and back-check valves. The detailed applications of the three types are given in the Code.*

Appendix 1 / A65: In deze appendix wordt een groot ammoniak incident in Potchefstroom, Zuid Afrika (1973), beschreven. De beschrijving vermeldt onder andere:

*The failures occurred in tank No. 3 while it and tank No. 4 were being filled simultaneously from a tank car. Actuation of an **excess flow valve** on the line between the two tanks prevented the release of the contents of the tank No. 4 also. The tank car did not have an **excess flow valve** and did suffer escape of material (estimate: 8 tons).*

Appendix 1 / B64: Deze appendix beschrijft een incident met een propaan tankauto
*A tractor semi trailer transporting 7000 gal (26 m³) of propane was modified by inserting a tee-piece between the **excess flow valve** and the manual shut-off valve on the 3 inch discharge line. The joint was connected to the tractor fuel tank by a 3/4 inch hose to allow the vehicle to be filled en route. There was another manual shutoff valve on the 3/4 inch line. The hose broke in transit. The leakage flow rate was too small to activate the **excess flow valve**. The driver stopped the vehicle, shut off the engine and told the trainee driver to shut off the smaller hand valve. When the latter touched the valve, the propane vapours ignited and he was engulfed in flames. The gas continued burning for another 1.5 hours. The trainee driver died in the fire, which also caused other injuries and damage.*

Bijlage 2 Technische informatie over doorstroombegrenzers, afkomstig van leveranciers / installateurs

Informatie over de werking van doorstroombegrenzers en hun toepassingen in LPG-tankauto's is verkregen uit gesprekken met twee vertegenwoordigers van leveranciers van deze appendages en uit de door hen beschikbaar gestelde product-documentatie. De leveranciers zijn:

- Jover Products v.o.f. te Amersfoort, vertegenwoordiger van Fisher [A];
- Stork Industry Services te Velsen-Noord, vertegenwoordiger van Rego Products [B].

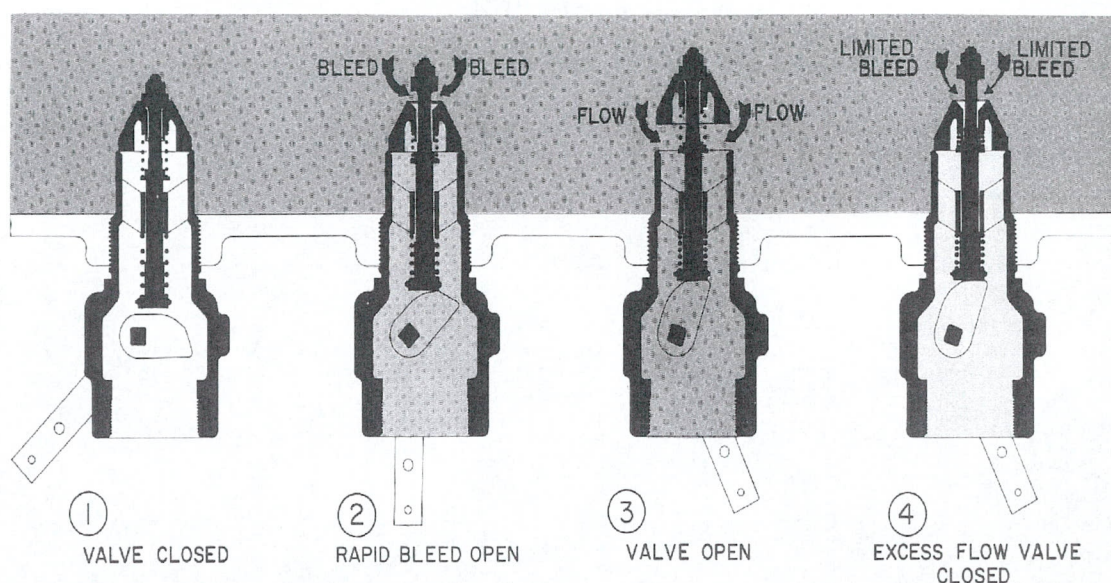
Deze bijlage is samengesteld uit de mondeling gegeven informatie en uit de productbladen van beide leveranciers. De teksten uit de productbladen is hieronder in de oorspronkelijke engelse taal weergegeven, en cursief gedrukt.

Voor toepassing in tankauto's wordt onderscheid gemaakt in twee typen doorstroombegrenzers (excess flow valves), te weten:

- “Internal Valve” (ingebouwde/inwendige klep): Dit is de (bodem)afsluiter die in de tankauto is gemonteerd, direct vóór de aanzuig van de pomp. Deze afsluiter is bedienbaar in open-dicht-stand, en heeft bovendien een doorstroombegrenzende functie: indien de flow een bepaalde middels een veer ingestelde waarde overschrijdt, sluit automatisch de toevoer vanuit de tank naar de pomp. De Internal Valve vertegenwoordigt hiermee de functie van tankafsluiter in combinatie met die van de doorstroombegrenzer EFV-1 in figuur 1 van dit rapport.
- “Excess Flow Valve”: Dit is een in de leiding opgenomen veerbelaste appendage. Een klepje wordt tijdens normale stroming van vloeistof door een veer in open stand gehouden. Indien de stroomsnelheid een ingestelde waarde overschrijdt, en de druk op het klepje de veerdruk overschrijdt, wordt het klepje in de stroomrichting tegen een zitting gedrukt waardoor de vrije doorstroming wordt gestopt. De Excess Flow Valve vertegenwoordigt hiermee de functie van EFV-2 in figuur 1 van dit rapport.

Internal Valves

De werking van de Internal Valve is de meest complexe van de twee typen, en is hieronder kort beschreven, volgens [A]. Zie ook figuur A.1.



Figuur A.1 Werking van een Internal Valve (zie toelichting hieronder).

- *Illustration 1: Moving the internal valve's operating lever (bediendingshandle) to the fully open position does not open the main poppet (conische bovenzijde) immediately. Instead a pilot equalizing valve is opened to allow tank pressure to bleed downstream. The shutoff portion of the valve is held closed by both tank pressure and the closing spring.*
- *Illustration 2: Positioning the operating lever about mid-point in its 70° travel places a smaller section of the valve's stem in the pilot bleed opening. Pressure can equalize much faster in this position, called "rapid equalization", than if the lever was fully opened.*
- *Illustration 3: After a few seconds, a click can be heard indicating that pressure has equalized on both sides of the main poppet and that the poppet has opened.*
- *Illustration 4: The operating lever can now be moved to the full open position. If during product transfer, flow exceeds the rating of the excess flow spring, the main poppet closes.*

Ervaring met deze en andere typen doorstroombegrenzers is dat ze bij snel toemen van de flow of bij drukverschil aan weerszijden van de klep, onbedoeld sluiten. Het te snel openen van een afsluiter of het opvoeren van de verpompcapaciteit leidt gemakkelijk tot dichtslaan van de klep, wat hinderlijk is voor de operator. Vaak wordt de werking als EFV daarom als belemmerend ervaren. Mede om die reden wordt gewoonlijk een EFV-capaciteit (sluitdebit) gekozen van circa 1.5 x het nominale pompdebit. Hiermee wordt doorgaans voorkomen dat bij de gering-

ste afwijkingen van basisinstellingen het transport onmogelijk wordt, of dat ongeoorloofde trucs worden bedacht om het (vroegtijdig) sluiten van de klep te verhinderen.

De ingebouwde marge en de erkenning van leveranciers dat 'een doorstroombegrenzer geen precisie-apparaat is' maakt dat de EFV geen bescherming zal bieden tegen kleine lekkages tijdens LPG-transport door het lossysteem. Bijvoorbeeld: Een pakking- of flenslekkage of een scheurtje in de losslang, met een uitstroming van 10 – 20% van het normale losdebiet (dus circa 1 kg/s), zal gewoonlijk niet leiden tot sluiten van de EFV. De doorstroombegrenzende functie is dus alleen effectief bij massieve uitstroming, bijvoorbeeld ten gevolge van een guillotinebreuk van een slang.

De bediening van de klepfunctie (bedieningshandle, 'lever') kan handmatig zijn uitgevoerd, of middels luchtbediening. Op autogas-tankauto's in Nederland wordt algemeen de luchtbediening toegepast. De perslucht is daarbij afkomstig van de pneumatiek van het remsysteem van de auto. Wanneer de luchtdruk wegvalt, sluit de klep onmiddellijk.

Een extra veiligheid is ingebouwd in het zogenaamde ringsysteem. De bedieningslucht voor de bodemklep wordt via een kunststofleiding rondom de tank naar de klep gevoerd. In geval van een omgevingsbrand zal de leiding smelten en de luchtdruk wegvallen. De klep sluit dan dus. Het luchtsysteem kan ook handmatig van druk worden ontlast door indrukken van één van de vier noodknoppen die op de vier hoeken van de tankoplegger zijn aangebracht.

In tegenstelling tot de EFV's, functioneren deze veiligheidsvoorzieningen niet instantaan: Voor het smelten van de ringleiding is een langer durende brand nodig, bijvoorbeeld van een plasbrand onder de tankauto of een brand van een nabij gelegen gebouw, en ook de ingreep door de chauffeur zal enige tijd vergen.

Kwantitatieve informatie over de sluittijd van de EFV is niet gevonden. Men spreekt van 'instantaan' en van 'binnen hooguit enkele seconden'. De reactietijd van 5 seconden die in de risicoberekeningen is gehanteerd, wordt door de leveranciers als een goede aanname beschouwd.

Voor vaststelling van de betrouwbaarheid van de EFV-functie kon geen kwantitatieve onderbouwing worden verkregen. De effectiviteit van de werking als functie van de plaats en omvang van de uitstroming, zoals beschreven in paragraaf 3.3 en Tabel 2 van dit rapport, wordt ondersteund.

Betreffende het mogelijk falen van de doorstroombegrenzingsfunctie wordt uit de productdocumentatie ondermeer geciteerd:

Warning: Failure to inspect and maintain internal valves and their remote actuating control systems may result in the valve failing to close in an emergency, leaving no way to control the discharge of product. Inspection and maintenance must be performed frequently enough to assure that the valves are operating properly [A].

In [A] worden ook een aantal Trouble Shooting adviezen gegeven, voor de volgende situaties:

- *Internal valve will not open;*
- *Premature valve closure;*
- *Internal valve will not close;*
- *Low flow capacity.*

Voor de betrouwbaarheid van de EFV-functie is vooral het derde punt (“Internal Valve will not close”) van belang. Door [A] wordt hierover gezegd:

Most frequently due to a faulty or sticking actuator, but the stub shaft or stem could be bent. If the valve leaks even though it seems to close, the seats could be damaged or foreign material could be trapped on the seats. Before disassembling the valve, check the actuator mechanism to see that it works freely by disconnecting it from the valve lever and cycling it several times. Also, operate the valve lever manually. If it sticks in the open position, the packing and bushings should be replaced which should free the operating mechanism if the valve does not have internal damage.

In [A] wordt ten aanzien van Explosion Hazard het volgende benadrukt:

Restrictions incorporated in the discharge system of a bobtail truck or transport or of a stationary tank (due to pumps, pipe and hose length and dimensions, branching, elbows, reductions in pipe diameter, or a number of other in-line valves or fittings), low operating pressure as a result of ambient temperature, or a partially closed valve downstream of the integral excess flow valve, can restrict the rate of flow through the internal valve below the level necessary to actuate the integral excess flow valve. Therefore, DO NOT USE the excess flow function of the internal valve for the purpose of providing protection against the discharge of hazardous materials in the event of a rupture of hose or piping at a point in the discharge system downstream from the first valve, pump, or fitting downstream of the internal valve.

The internal valve is designed with an internal bleed feature for equalization of pressure. After the integral excess flow valve closes, the leakage through the bleed must be controlled or a hazard can be created. For this reason the operator must be familiar with the closure controls for the internal valves and must close the internal valve immediately after the integral excess flow valve closes.

Failure to follow this warning could result in serious personal injury or property damage from a fire or explosion.

Verderop in [A], WARNING:

DO NOT USE the excess flow function incorporated in the “C”-series internal valves or the “F”-series excess flow valves to satisfy the passive shutdown equipment requirement in 49CFR-173.315(n)(2). DO NOT include the excess flow function incorporated into “C”-series internal valves or “F”-series excess flow valves in a DCE certification under 49CFR-173.315(n)(2). The cargo tank manufacturer

must install some other equipment that satisfies the requirement for passive shut-down capability under 49CFR-173.315(n)(2).

Failure to follow this warning could result in serious personal injury or property damage from a fire or explosion in the event of an unintentional release of product during an unloading operation.

En onder “CAUTION” in [A]:

Do not use these internal valves if they leak, fail to work properly or have missing parts. Prompt repairs should be made by a properly trained serviceman. Continued use without repair can create a hazardous or injurious situation.

A simple preventative maintenance program ... is recommended for these steps to be conducted once a month. Also refer to the Department of Transportation (DOT) CFR 49 Sections 180.416 and 180 Appendix A & B which specify monthly maintenance and inspection tests for cargo tank service internal valves and their actuation controls.

Enkele citaten uit productbladen voor Internal Valves van [B]:

General Warning: All [B] products are mechanical devices that will eventually become inoperative due to wear, contaminants, corrosion and aging of component made of materials such as metal and rubber.

The environment and conditions of use will determine the safe service life of these products. Periodic testing at least once a year when tank pressures are low and maintenance, as required, are essential.

Because [B] products have a long and proven record of quality and service, LP-gas dealers may forget the hazards that can occur because an excess flow valve is used beyond its safe service life. Life of an excess flow valve is determined by the environment in which it ‘lives’. The LP-Gas dealer knows better than anyone what this environment is.

To provide excess flow protection, the flow rating of the pump, piping, valves, fittings, and hose on the inlet and outlet sides of the valve must be greater than the flow rating of the valve. Any restrictions that reduce the flow to less than the excess flow valve rating will result in the excess flow valve not operating when required.

In het toepassingsgebied (installatie-afmetingen 3 inch) voor LPG tankauto's, leveren de genoemde firma's internal valves met verschillende capaciteiten (sluit flows):

- Fisher Internal Valve, C404-24: 150, 200, 250, 400 en 500 USGallons/min. Dit is respectievelijk (afgerond): 570, 750, 950, 1500 en 1900 liter/min.
- Rego Internal Valve. A3217-sries: 160, 210, 260 en 410 USGallons/min. Dit is respectievelijk (afgerond): 600, 800, 980 en 1550 liter/min.

Excess Flow Valves

Over Excess Flow Valves zegt [A]:

WARNING: A break or leak downstream of an excess flow valve that does not allow a flow equal to the valve flow rating will not actuate the valve and could cause a hazardous situation. For this reason, system operators should be familiar with the shutoff valves in the system so that necessary precautions can be taken in an emergency.

Care must be taken to be sure that the valve's closing rate is less than the capacity of the LP-GAS or NH₃ system in which the valve is installed. Brass valves are not suitable for NH₃ application.

See the WARNING (hierboven) if these excess flow valves are to be used on DOT Cargo tanks

Over de werking van een excess flow valve (in-line type) stelt [B]:

An excess flow valve is not designed to close and thus may not provide protection, if any of the following conditions are present:

- 1. The piping system restrictions (due to pipe length, branches, reduction in pipe size, or number of other valves) decrease the flow rate to less than the valve's closing flow. (Valve should be selected by closing flow rating – not just by pipe size).*
- 2. The break or damage to the downstream line is not large enough to allow enough flow to close the valve.*
- 3. A shut-off valve in the line is only partially open and will not allow enough flow to close the excess flow valve.*
- 4. LP-Gas pressure upstream of the excess flow valve, particularly due to low temperature, is not high enough to produce a closing flow rate.*
- 5. Foreign matter (such as welding slag) is lodged in the valve and prevents its closing.*
- 6. A build-up of process material (sludge), which may be found in LP-Gas, may occur over a period of time and cause the valve to stick open.*
- 7. The piping break or damage occurs upstream of an in-line excess flow valve, so the escaping product is not passing through the valve.*
- 8. The flow through the valve is in the wrong direction. (Excess flow valves only respond to flow in one direction).*
- 9. The excess flow valve has been damaged, or is otherwise not in operating condition.*

Because of these limitations of excess flow valves, they should not be relied upon as the only means of controlling the escape of product in the event of pipe damage. When possible, shut-off protection by quick closing valves, with shut-off controls accessible in spite of likely line damage, should be provided in addition to, or instead of excess flow valves.

In [B] worden ook adviezen voor het testen van excess flow valves gegeven. Hieraan wordt toegevoegd:

Any test of any excess flow valve will not prove that the valve will close in an emergency situation, due to reasons cited before. This test will only check the valve's condition, and the flow sizing for those test conditions.

For additional information on excess flow valves and other means of shut-off protection, contact [B] and refer to NFPA 58.

In het toepassingsgebied (installatie-afmetingen 3 inch) voor LPG tankauto's, leveren de genoemde firma's excess flow valves met verschillende capaciteiten (sluit flows):

- Fisher Excess Flow Valve, F198/199: 165 en 260 USGallons/min. Dit is respectievelijk (afgerond): 625 en 985 liter/min.
- Rego Excess Flow Valve, A1519: 225 USGallons/min = 850 liter/min.