

rivm

Rapport 620001001/2008

P.A.M. Uijt de Haag et al.

Op weg naar een protocol voor het waarderen van maatregelen in een kwantitatieve risicoanalyse

RIVM Rapport 620001001/2008

Op weg naar een protocol voor het waarderen van maatregelen in een kwantitatieve risicoanalyse

P.A.M. Uijt de Haag
S. Mahesh
P.A.M. Heezen
A.G. Wolting
J.E.A. Reinders, TNO
J.M. Ham, TNO
L. Vijgen, DCMR

Contact:
P.A.M. Uijt de Haag
Centrum Externe Veiligheid
paul.ujt.de.haag@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van RIVM, in het kader van project 620001, 'QRA - Instrument for Safety Policy'.

© RIVM 2008

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'.

Rapport in het kort

Op weg naar een protocol voor het waarderen van maatregelen in een kwantitatieve risicoanalyse

De risico's van de opslag en het vervoer van gevaarlijke stoffen voor de externe veiligheid worden in Nederland bepaald aan de hand van kwantitatieve risicoanalyses. De huidige rekenmethodiek voor deze risicoanalyse voorziet niet in een protocol om verschillende veiligheidsmaatregelen te kunnen waarderen. In dit rapport is een protocol ontwikkeld waarmee veiligheidsmaatregelen op een eenduidige, transparante en robuuste wijze kunnen worden gewaardeerd en vervolgens vertaald kunnen worden naar de kwantitatieve risicoanalyse.

Het protocol is verder uitgewerkt aan de hand van een voorbeeldsysteem, namelijk de opslag van lpg onder druk in bollen. Daarbij is nagegaan in hoeverre de vereiste informatie momenteel beschikbaar en bruikbaar is voor toepassing van het protocol. De volgende relevante elementen zijn beschouwd: stand der techniek van technische voorzieningen, waardering van organisatorische voorzieningen (veiligheidsbeheerssysteem) en mogelijke faalorzaken.

Uit het onderzoek komt, voor zover betrokken op het voorbeeldsysteem, het volgende naar voren.

Er is een duidelijk inzicht in de stand der techniek en die is de afgelopen decennia niet wezenlijk veranderd. De onderzochte opslagen in Nederland zijn conform de richtlijn Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 18 voorzien van technische veiligheidsvoorzieningen.

De invloed van organisatorische voorzieningen kunnen vooralsnog niet op een eenduidige en transparante wijze worden beoordeeld. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.

Er kan vooralsnog geen betrouwbare inschatting worden gemaakt van de relatieve bijdragen van de verschillende faalorzaken. Daarom is het momenteel niet mogelijk de invloed van een maatregel op een betrouwbare wijze te vertalen naar een reductie in de faalkans.

Het Centrum Externe Veiligheid heeft dit onderzoek uitgevoerd in samenwerking met DCMR Milieudienst Rijnmond en de Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek TNO.

Er zijn verschillende aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek met als doel de toepasbaarheid van het protocol te verhogen.

Trefwoorden:

externe veiligheid, veiligheidsmaatregel, lpg, protocol, stand der techniek, veiligheidsbeheerssysteem, faalorzaken

Abstract

On way to an protocol for the estimating of measures in a quantitative risk assessment

The risks of the storage and the transport of hazardous goods for external safety in the Netherlands is set with a quantitative risk assessment. The present calculating method for this risk assessment not provides a protocol for the estimating of safety measures. In this report a protocol is proposed by which you can estimate the impact on the present quantitative risk assessment.

The protocol is further worked out by an example system, namely the storage of lpg under pressure in spheres. With it is worked out to what extent the requisite information at this moment is available and usable for utilization of the protocol. The next relevant components are considered: best technical means of technical facilities, rating of organizing facilities and potential failure causes.

From the research, as far as the example system is, the results are.

There is a clear perception of the best technical means, and in the last decades these best technical means have not really changed. The investigated storage of lpg in the Netherlands is provided of technical safety facilities according to the guideline of the Publication Series on Hazardous Substances 18.

The impact of organizing facilities cannot be assessed on a univocal and transparent way just yet. For this purpose additional research is necessary.

At this moment it is not possible to make a fail-safe assessment of the comparative contribution from the different failure causes. So it is therefore not yet possible to convert the impact of a measure at a univocal way to reduction in the failure frequency.

The Centre External Safety in cooperation with DCMR Environmental Department Rijnmond and Netherlands Organisation for Applied Scientific Research TNO has done research to improve this measure.

In the conclusion there were different recommendations done for advanced research with the purpose a protocol that can pass through with a sufficient reliability.

Key words:

external safety, safety measure, lpg, protocol, best technical means, safety management system, failure causes

Inhoud

Samenvatting		9
1	Inleiding	11
2	Voorstel voor een beoordelingsmethode	13
2.1	Beoordelingskader	13
2.2	De beoordelingsmethode	13
3	Voorbeeldsysteem lpg	17
3.1	Systeembeschrijving van lpg-drukopslag in boltanks	17
3.2	Stand der techniek – normen	18
3.3	Uitwerking eisen technische veiligheidsvoorzieningen.	20
3.4	Technische voorzieningen in de praktijk	23
3.5	Wijzigingen in de stand der techniek	24
3.6	Conclusies	24
4	Veiligheidsbeheerssystemen	27
4.1	Werkwijze	27
4.2	Algemene organisatorische voorzieningen uit richtlijnen	27
4.3	Specifieke organisatorische voorzieningen uit richtlijnen	29
4.4	Specifieke organisatorische voorzieningen in de praktijk	29
4.5	Overzicht beoordelingsmethodieken VBS-systemen	29
4.6	Methoden voor doorwerking VBS beoordeling in QRA	31
4.7	De literatuur over het VBS	32
4.8	Conclusies	32
5	Faalorzaken	35
5.1	Werkwijze	35
5.2	Algemene faalorzaken	35
5.3	Analyse van incidentbeschrijvingen	39
5.3.1	Gebruikte incidentbeschrijvingen	39
5.3.2	Incident indelingsstructuur	39
5.3.3	Resultaten	39
5.4	Conclusies	43

6	Toepassing methodiek	45
7	Conclusies en aanbevelingen	47
	Lijst van afkortingen	49
	Literatuur	51
	Bijlage 1 Overzicht technische voorzieningen	55
	Bijlage 2 Verslag van het overleg bij het Forum op 15 maart 2007 in Ede	66
	Bijlage 3 Verslag bezoek aan MERCON te Gorinchem op 7 maart 2007	67
	Bijlage 4 Voorbeeld van onderhoudswerkzaamheden aan lpg-boltank	68
	Bijlage 5 Gebruikte incidentbeschrijvingen	72
	Bijlage 6 Indelingsstructuur voor analyse van lpg-incidenten	73
	Bijlage 7 Toelichting bij incident indelingsstructuur	74
	Bijlage 8 Resultaten incidenten analyse	77

Samenvatting

De huidige rekenmethodiek voor de kwantitatieve risicoanalyse voor de externe veiligheid voorziet niet in een protocol om verschillende veiligheidsmaatregelen te kunnen waarderen. Het doel van dit onderzoek is om in die leemte in de rekenmethodiek te voorzien. Dat is gebeurd door in dit rapport een protocol te ontwikkelen waarmee veiligheidsmaatregelen op een eenduidige, transparante en robuuste wijze kunnen worden gewaardeerd en vervolgens vertaald kunnen worden naar de kwantitatieve risicoanalyse.

Aan de hand van een voorbeeldsysteem, namelijk de opslag van lpg onder druk in bollen, is dit protocol verder uitgewerkt. Hierbij is aan de hand van een bureau- en literatuurstudie nagegaan in hoeverre de vereiste informatie momenteel beschikbaar en bruikbaar is voor toepassing van het protocol. De volgende elementen zijn hierbij van belang en beschouwd: stand der techniek van technische voorzieningen, waardering van organisatorische voorzieningen (uit het veiligheidsbeheerssysteem) en mogelijke faaloorzaken.

Voor deze elementen leidt het onderzoek tot de volgende resultaten, voor zover betrokken op het voorbeeldsysteem:

1. Er is een duidelijk inzicht in de stand der techniek. In Nederland en Engeland worden min of meer vergelijkbare technische eisen gesteld aan het ontwerp, de constructie, het gebruik en de inspectie van de lpg-opslagtanks. De onderzochte lpg-opslagen in Nederland zijn conform de richtlijn Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 18 voorzien van technische veiligheidsvoorzieningen. De stand der techniek is de afgelopen decennia niet wezenlijk veranderd.
2. Het is momenteel nog niet mogelijk om de invloed van organisatorische voorzieningen, zoals een veiligheidsbeheerssysteem, in een bedrijf op een eenduidige en transparante wijze te beoordelen. Weliswaar bestaan er vele methodieken om een indruk te krijgen van de kwaliteit van dergelijke voorzieningen of maatregelen, maar een eenduidige (kwantitatieve) vertaling ervan naar de invloed op de resultaten van een kwantitatieve risicoanalyse voor de externe veiligheid en de ruimtelijke ordening is vooralsnog niet mogelijk. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.
3. Op basis van de ongevalbeschrijvingen kan er geen betrouwbare inschatting worden gegeven van de relatieve bijdragen van verschillende faaloorzaken. Daarom is het vooralsnog niet mogelijk de invloed van een maatregel op een betrouwbare wijze te vertalen naar een reductie in de faalkans.

De algemeen conclusie is dat in dit rapport een eenduidig en transparant protocol is gepresenteerd waarmee veiligheidsmaatregelen kunnen worden gewaardeerd. Het protocol zou op een aantal punten verfijnd kunnen worden om het in brede zin te kunnen toepassen. Er worden enkele aanbevelingen gedaan om dat in een vervolgonderzoek na te gaan.

Het Centrum Externe Veiligheid heeft dit onderzoek uitgevoerd, in samenwerking met DCMR Milieudienst Rijnmond en de Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek TNO.

Het in dit rapport gepresenteerde protocol is bedoeld voor discussie, vooral voor personen die kwantitatieve risicoanalyses voor de externe veiligheid en ruimtelijke ordening opstellen of beoordelen, bevoegd gezag en beleidsmakers.

1 Inleiding

De aanleiding voor dit onderzoek is dat de huidige rekenmethodiek voor de kwantitatieve risicoanalyse voor de externe veiligheid niet voorziet in een protocol om verschillende veiligheidsmaatregelen te kunnen waarderen. In de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [HRB 07] is het volgende opgenomen over het waarderen van maatregelen:

‘De standaard faalfrequenties gelden voor een inrichting die voldoet aan de stand der techniek. Het is mogelijk dat op een inrichting technische maatregelen zijn genomen die de kans op een ongeval reduceren, zoals speciale warmtewerende coatings en hitteschilden bij de opslag van lpg om de kans op een BLEVE te reduceren en het gebruik van speciale slangen bij de verlading. Wanneer de opsteller van de QRA gebruik wil maken van andere faalfrequenties, dient hij van tevoren een voorstel te doen voor de specifieke faalfrequenties in zijn situatie. Dit voorstel dient vergezeld te gaan van een onderbouwing in de vorm van bijvoorbeeld casuïstiek of een foutenboomanalyse’.

Deze beschrijving in de voornoemde Handleiding is vrij algemeen van aard en op een aantal specifieke aspecten nog niet ingevuld:

- Het uitgangspunt is dat de standaard faalfrequenties gelden voor de huidige stand der techniek. De meeste faalfrequenties zijn gebaseerd op onderzoek van enkele tientallen jaren geleden. Dit betekent dat er maatregelen kunnen zijn die nu wel behoren tot de stand der techniek, maar enkele tientallen jaren geleden nog niet, en die dus wel de kans op een ongeval reduceren ten opzichte van de standaard faalfrequenties.
- In de praktijk blijkt dat het niet goed mogelijk is een acceptabele onderbouwing te geven van de invloed van maatregelen op de faalfrequenties omdat voldoende casuïstiek ontbreekt.
- Er is geen vastgesteld protocol om te bepalen wanneer een wijziging van de faalfrequenties voldoende onderbouwd is.

Het doel van dit onderzoek is om in die leemte in de Handleiding te voorzien. Dat doen wij door in dit rapport een protocol te ontwikkelen waarmee veiligheidsmaatregelen op een eenduidige, transparante en robuuste wijze kunnen worden gewaardeerd en vervolgens vertaald kunnen worden naar de kwantitatieve risicoanalyse.

In dit rapport wordt een eerste verkenning gedaan in de richting van een dergelijk protocol en kan mogelijk in dit tekort worden voorzien. De verkenning wordt gedaan aan de hand van een voorbeeldinstallatie, namelijk de opslag van lpg onder druk. Hoofdstuk 2 beschrijft aan de hand van een voorbeeld welke stappen *nodig* zijn in een protocol en welke kennis hiervoor nodig is. In de volgende hoofdstukken wordt ingegaan op de kennis die *beschikbaar* is voor de verschillende stappen. Uit de vergelijking tussen de benodigde kennis en beschikbare kennis volgt ten slotte in hoeverre de verschillende stappen van een protocol voor het beoordelen van veiligheidsmaatregelen ingevuld kunnen worden. Het rapport sluit af met aanbevelingen voor een vervolgonderzoek.

Het Centrum Externe Veiligheid heeft dit onderzoek uitgevoerd in samenwerking met DCMR en TNO. Dit rapport is bedoeld voor discussie, vooral voor personen die kwantitatieve risicoanalyses voor de externe veiligheid en ruimtelijke ordening opstellen of beoordelen, bevoegd gezag en beleidsmakers.

2 Voorstel voor een beoordelingsmethode

Een volledig protocol voor het waarderen van veiligheidsmaatregelen beschrijft zowel het beoordelingskader als de -methode. Het beoordelingskader is veelomvattend en is geen onderwerp van dit onderzoek. In paragraaf 2.1 is wel een aantal aspecten van het kader aangegeven om de methode in een breder perspectief te plaatsen. In paragraaf 2.2 is een algemene beoordelingsmethode beschreven en aan de hand van een voorbeeld uitgewerkt.

2.1 Beoordelingskader

Het beoordelingskader voor het waarderen van veiligheidsmaatregelen gaat over de administratieve procedures en de verantwoordelijkheden van de verschillende betrokken partijen. Het betreft onder andere:

- Wie moet een aanvraag voor de beoordeling van een maatregel indienen?
- Welke informatie moet een aanvrager aanleveren en wat gebeurt er wanneer onvoldoende informatie wordt aangeleverd?
- Wie voert de beoordeling van een aanvraag uit?
- Is er een mogelijkheid voor beroep wanneer een aanvrager het niet eens is met de beoordeling?
- Welke termijnen gelden er voor een beoordeling?

Daarnaast zijn er meer fundamentele vragen zoals:

- Kan er een algemeen geldende beoordelingsmethode worden opgesteld waarmee zowel technische als organisatorische maatregelen en zowel maatregelen bij inrichtingen als maatregelen bij transport op gelijke wijze beoordeeld kunnen worden?
- Met welke betrouwbaarheid moet de werking van een maatregel zijn vastgesteld?
- Is er een ondergrens aan de mogelijkheid om maatregelen te waarderen in de faalfrequentie? Is het doorvoeren van een verandering in de faalfrequentie van bijvoorbeeld 10% te rechtvaardigen gezien alle onzekerheden?

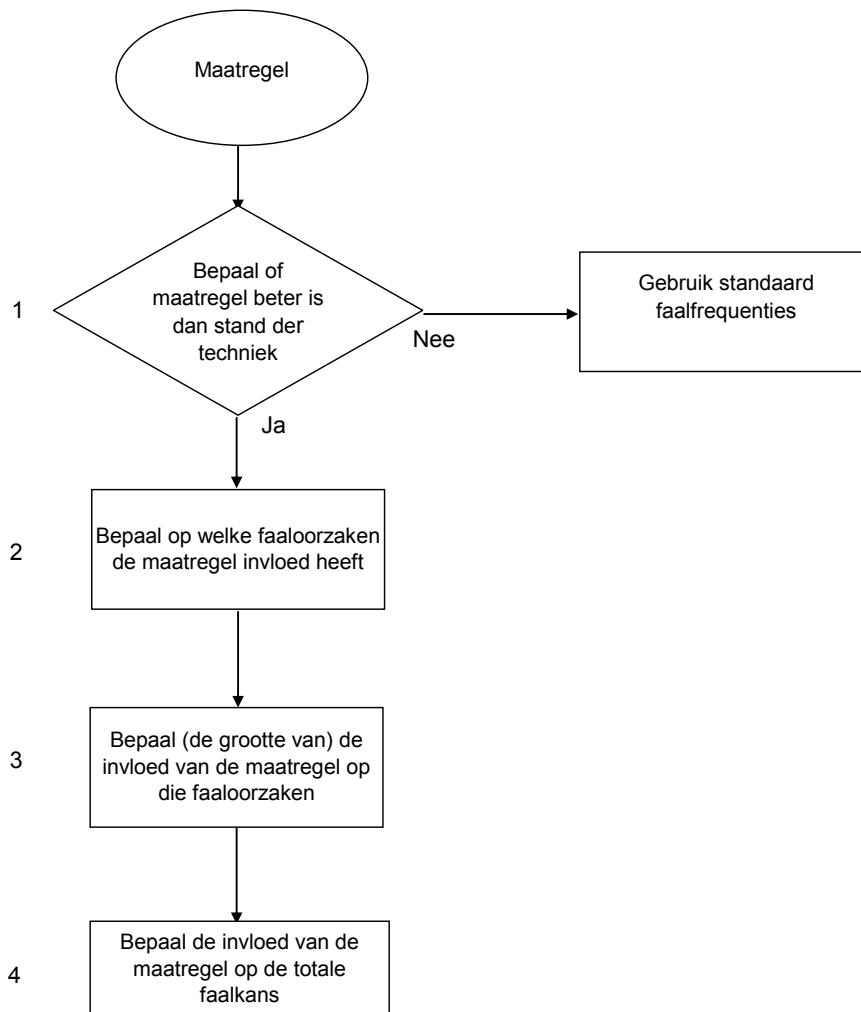
Hoe moet worden omgegaan met generieke faalfrequenties als men locatie- of processpecifieke kenmerken wil waarderen?

2.2 De beoordelingsmethode

De beoordeling van een maatregel gebeurt binnen de bestaande kwantitatieve risicoanalyse (QRA) rekenmethodiek, waarin standaard faalfrequenties voor onderdelen van een installatie zijn gedefinieerd. Dit betekent dat gekeken wordt naar een relatieve verandering in de faalfrequentie ten gevolge van een maatregel. Voor de kwantitatieve waardering van een maatregel moet daarom eerst een referentiesituatie zijn vastgesteld. Voor de beoordelingsmethode gaan we uit van het basisprincipe dat alleen maatregelen die verder gaan dan de *huidige stand der techniek* kunnen leiden tot een lagere faalfrequentie. Dit betekent dat wordt aangenomen dat de nu geldende faalfrequenties overeenkomen met de *huidige stand der techniek*. In de praktijk blijkt dat de faalfrequenties vaak gebaseerd zijn op

data van tientallen jaren geleden. Een actualisatie van de faalfrequenties naar de huidige stand der techniek vormt geen onderdeel van de beoordelingsmethode¹.

Een beoordelingsmethode voor het waarderen van maatregelen is opgebouwd uit een aantal verschillende stappen en is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Beoordelingsmethode voor het waarderen van maatregelen.

Aan de hand van een concreet voorbeeld worden de verschillende stappen in de beoordelingsmethode toegelicht, namelijk de plaatsing van een hittewerend schild onder een opslagbol met lpg onder druk voor het verkleinen van de kans op een Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE). In de beoordeling van deze maatregel moeten dan de volgende stappen worden doorlopen.

¹ Een actualisatie van de faalfrequenties wordt uitgevoerd aan de hand van de beschreven beoordelingsmethode. In een studie wordt dan eerst onderzocht welke maatregelen in de huidige stand der techniek additioneel zijn ten opzichte van de stand der techniek ten tijde van de casuïstiek waarop de faalfrequenties zijn gebaseerd. Vervolgens moet de invloed van deze maatregelen op de faalfrequenties worden vastgesteld.

- Stap 1 Bepaal of een maatregel beter is dan de huidige stand der techniek*
Bepaal of een hittewerend schild een extra maatregel is of behoort tot de huidige stand der techniek voor de opslag van lpg. Indien een hittewerend schild behoort tot de huidige stand der techniek, moeten de standaard faalfrequenties gehanteerd worden. Indien een hittewerend schild een aanvullende maatregel is, kan verder worden gegaan met stap 2.
Benodigde kennis: wat is de huidige stand der techniek voor de opslag van lpg onder druk?
- Stap 2 Bepaal op welke faaloorzaken de maatregel invloed heeft*
Bepaal op welke faaloorzaken een hittewerend schild invloed heeft. Een hittewerend schild zal bijvoorbeeld geen invloed hebben op falen ten gevolge van overvullen, maar wel op het falen ten gevolge van een plasbrand onder een opslagbol.
Benodigde kennis: welke faaloorzaken kunnen er onderscheiden worden.
- Stap 3 Bepaal de grootte van de invloed van de maatregel op die faaloorzaken*
Bepaal voor de faaloorzaken uit stap 2 de grootte van de invloed van een hittewerend schild. Hierbij is informatie nodig over de werking van het hittewerende schild, bijvoorbeeld het gedeelte van de opslag dat wordt afgeschermd in relatie tot de hoogte van de vlammen en de reductiefactor. Vervolgens wordt voor die faaloorzaken de kwantitatieve reductie ten gevolge van het aanbrengen van een hittewerend schild bepaald. Bijvoorbeeld: de kans op een BLEVE ten gevolge van een plasbrand wordt met een factor x verminderd door het toepassen van een hittewerend schild.
Benodigde kennis: de specifieke werking van een maatregel op die faaloorzaken.
- Stap 4 Bepaal de invloed van de maatregel op de totale faalkans*
Bepaal de invloed van een hittewerend schild op de totale faalkans door het gewogen optellen van de reductiefactoren.
Benodigde kennis: de relatieve bijdrage van een faaloorzaak in de totale faalkans.

In de volgende hoofdstukken wordt de methodiek uitgewerkt en, voor zover mogelijk, toegepast op een voorbeeldsysteem, te weten een opslag van lpg onder druk. Aan de hand hiervan wordt onderzocht welke informatie nodig is (en in welke mate deze beschikbaar is) om deze beoordelingsmethode te kunnen toepassen. Aandacht zal worden besteed aan technische voorzieningen / maatregelen, organisatorische maatregelen (lees: veiligheidsbeheer), faaloorzaken en faalkansen.

3 Voorbeeldsysteem lpg

3.1 Systeembeschrijving van lpg-drukopslag in boltanks

Systeembegrenzing van opslagvoorziening

Een representatief opslagsysteem bestaat doorgaans uit een opslagtank plus appendages met meet- en regelapparatuur, het leidingsysteem en de pompen. In dit onderzoek beperken wij ons tot het gedeelte van het opslagsysteem dat behoort tot de stationaire opslagsituatie, dat wil zeggen de opslagtank zelf en de leidingen aan de tank tot aan de eerste gesloten (snel)afsluiters. De leidingen met toebehoren worden voor zover ze niet relevant zijn voor de stationaire situatie niet nader beschouwd. Tot de stationaire situatie worden ook de aansluitingen voor het drainen en bemonsteren gerekend. In Figuur 2 is het hier beschouwde opslagsysteem met een toelichting gegeven.

Beschrijving van het opslagsysteem

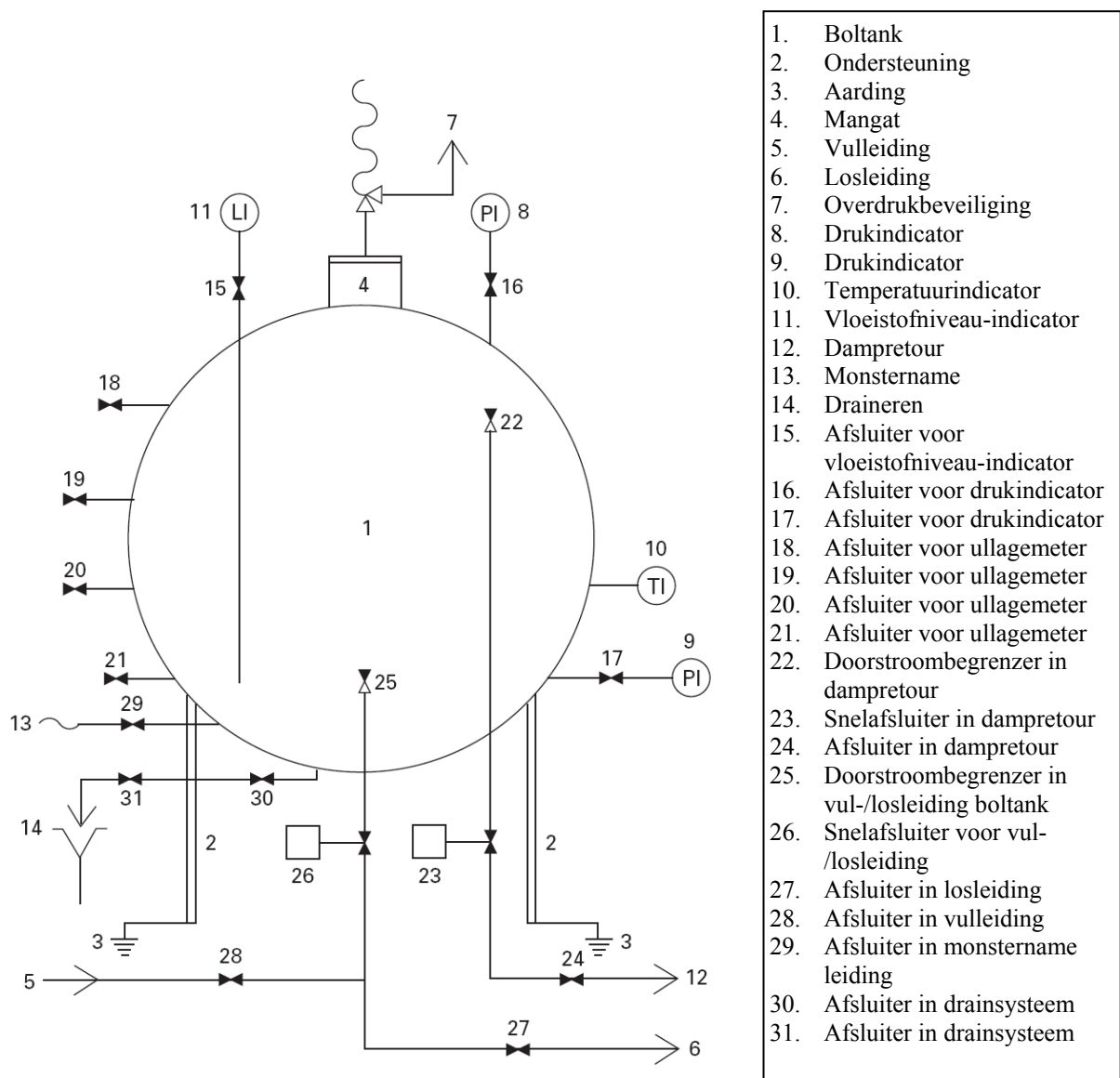
Bij de beschrijving van het opslagsysteem is gebruikgemaakt van lpg Integraal [LPGI 83A en 83B]. Lpg wordt opgeslagen in een bolvormige stalen opslagtank (1). Deze boltank is op metalen poten (2) in een opvangbak geplaatst, waardoor bij het eventueel vrijkomen van het vloeibare lpg het verspreidingsoppervlak van deze vloeistof begrensd is. De boltank is via de poten geaard (3) om statische oplading en gevaren van blikseminslag te voorkomen. Bovenop de boltank bevindt zich een mangat (4). Naast deze voorzieningen is er een aansluiting onderaan de boltank waarop de vulleiding (5) en de losleiding (6) zijn aangesloten. De boltank is voorzien van overdrukbeveiligingen (7). Daarnaast is de boltank voorzien van meetapparatuur voor druk (8 en 9), temperatuur (10) en het vloeistofniveau (11).

Er is een aparte aansluiting voor een dampretourleiding (12) en ook zijn er aan de boltank aansluitingen voor het nemen van monsters (13), het drainen (14) en voor het bepalen van de dampruimte boven het vloeistofniveau (18 tot en met 21). De dampretourleiding en vul-/losleiding zijn voorzien van doorstroombegrenzers (22 respectievelijk 25). Tot slot zijn in de leidingen afsluiters geplaatst (15, 16, 17, 23, 24 en 26 tot en met 31).

Procesmetingen

Belangrijke procesmetingen voor de opslag zijn de drukmeting en de temperatuursmeting. De druk wordt ter plaatse én in de bedieningsruimte weergegeven. Bij een te hoog opgelopen druk worden de veiligheidskleppen aangesproken. De veiligheidsventielen kunnen zodanig zijn gekoppeld dat het afblazen via een fakkelsysteem kan gebeuren². De temperatuur van de vloeistof wordt gemeten met behulp van thermokoppels. De waarde kan bij de opslag en in de bedieningsruimte worden afgelezen. Bij overschrijding van een ingestelde waarde treedt een alarm in werking. Ook is de tank voorzien van een niveau-indicator, een maximaal-niveau-alarm en op vier vaste punten gemonteerde ullage-meetpunten.

² Is gebruikelijk op raffinaderijen.



Figuur 2 De onderzochte stationaire situatie voor de bolopslag [LPGI 83A en 83B].

3.2 Stand der techniek – normen

In deze paragraaf worden de normen beschreven voor de technische voorzieningen die op lpg-opslag tanks aanwezig moeten zijn. Hierbij is gebruikgemaakt van de Nederlandse richtlijn PGS 18 (voorheen CPR 8-3) ‘distributie depots voor lpg’ uit de Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen [PGS-18 91] en de Britse ‘Code of Practice no.1’ voor ‘Bulk LPG Storage at fixed installations’ [CoP 99, CoP 04 en CoP 06] uitgegeven door de LP Gas Association in consultatie met de Britse Health and Safety Executive (HSE). Het gaat hierbij vooral om ontwerp, constructie, gebruik en inspectie van bovengrondse opslag tanks. De noodzakelijk geachte voorzieningen worden beknopt beschreven en vergeleken in Tabel 1. Tabel 4 van Bijlage 1 bevat de uitgebreide beschrijving. In paragraaf 3.3 worden de Nederlandse eisen voor technische veiligheidsvoorzieningen verder uitgewerkt. Voor meer details over bijvoorbeeld kwaliteitseisen wordt verwezen naar de standaarden. Voor dit onderzoek zijn ook experts en een bouwer van lpg-bollen in Nederland benaderd (zie Bijlage 2 en 3).

Tabel 1 Overzicht van Nederlandse en Engelse normen voor lpg-tanks.

<i>Technische voorzieningen</i>	<i>Nederland</i>	<i>Engeland</i>
Reservoir:		
<i>Materiaalkeuze</i>	X	-
Aansluitingen:		
<i>Materiaalkeuze</i>	-	X
Mangat	X	X
Veiligheidsklep	X	X
Handbediende afsluiters	X	X
Zo dicht mogelijk bij handafsluiters: fire-, fail-safe en op afstand bediende afsluiters	X	X
Doorstroombegrenzer of terugslagklep	X	X
Vloeistofniveaumeter	X	X
Signalering bij hoog vloeistofniveau	X	X
Automatische fail-safe toevoerafsluiting bij bereiken maximaal vulniveau	X	-
Manometer	X	X
Thermometer	X	X
Aftapaansluiting en Vulaansluiting	X	X
Spui-inrichting	X	X
Leidingsysteem:		
<i>Materiaalkeuze</i>	X	X
Vulleiding: terugslagklep is gemonteerd	X	X
Dampretourleiding: doorstroombegrenzer	X	-
Afblaasvoorziening: in open lucht	X	-
Speciale veiligheidsvoorzieningen / brandbestrijding		
Elektrisch:		
Zonering (ATEX)	X	X
Kathodische bescherming	X	-
Aarding (reservoir/gebouwen)	X	-
Brandbestrijding:		
Voorziening o.b.v. scenario's	X	X
Kleine blusmiddelen	X	X
Sprinklers op tanks zonder brandbeschermende bekleding	X	-

Gas- en branddetectoren	X	-
Noodknopsysteem	X	-
Situering:		
Omheining	X	X
Waarschuwborden	X	X
Minimaal 2 ingangen	X	X
Installatie van 2 kanten benaderbaar	X	-
Afvoer van drainagewater	X	X
Afvoer van bluswater	X	X
Eisen aan ondersteuning	X	X
Bedrijfsvoering:		
Beheerder (leeftijd en opleiding)	X	X
Laden en lossen:		
Schriftelijke procedures etc.	X	X
Inspectie		
Eerste keuring, herkeuring, onderhoudsinspecties / controle	X	X

X: voorgeschreven; (-) : niet voorgeschreven

3.3 Uitwerking eisen technische veiligheidsvoorzieningen.

In deze paragraaf zijn de technische veiligheidsvoorzieningen verder uitgewerkt voor lpg-opslagen in Nederland waarbij gebruik is gemaakt van in Nederland gebruikte richtlijnen [PGS-18 91].

A. Overdrukbeveiligingen

- Het reservoir moet voorzien zijn van een doelmatige manometer, die direct met de dampruimte in verbinding staat en boven het vloeistofniveau is aangebracht. Tussen het reservoir en de manometer moet een afsluiter zijn geplaatst. De nauwkeurigheidsklasse van de manometer dient minimaal 2,5 te bedragen (maximale afwijking van 2,5% van de volle schaal eindwaarde).
- Het reservoir moet zijn voorzien van één of meer veerbelaste veiligheidskleppen die verzegeld en gestempeld zijn door een Aangewezen Keuringsinstantie (AKI). De veiligheidskleppen moeten:
 - geschikt zijn voor lpg;
 - direct op de dampruimte zijn aangesloten;
 - ingesteld zijn op een druk die gelijk is aan de dampspanning van het opgeslagen product bij de beoordelingstemperatuur van het reservoir;
 - ingesteld zijn op een druk die nooit hoger is dan de beoordelingsdruk van het reservoir;
 - rechtstreeks gemonteerd zijn op de daarvoor bestemde aansluitflenzen;
 - zonder afsluiters, terugslagkleppen en doorstroombegrenzers zijn aangebracht;
 - voorzien zijn van verticale afvoerpijpen die minimaal twee meter boven het reservoir uitsteken (in de afvoerpijp mag zich geen regenwater kunnen ophopen);

- blijven functioneren als de afvoerpijp tot bezwijken wordt belast;
 - (indien er meerdere zijn) bij voorkeur door middel van een verzamelleiding zijn aangesloten op de bestemde aansluitflenzen.
- Wanneer boven het vereiste aantal veiligheidskleppen extra veiligheidskleppen worden geïnstalleerd, dan mogen de veiligheidskleppen van afsluiters zijn voorzien, mits zij zodanig zijn gekoppeld dat steeds het vereiste aantal veiligheidskleppen onbelemmerd in werking is.
 - Indien een reservoir is voorzien van een thermometer moet deze zodanig zijn aangebracht, dat de temperatuur van de vloeistof wordt gemeten zonder dat enig onderdeel van de meter zelf contact maakt met de vloeistof.

B. Overvulbeveiligingen

Het reservoir moet voorzien zijn van:

- Een vaste binnenpijp met een doorlaat van ten hoogste 2 mm². De pijp moet bestaan uit een binnen- en buitenliggend gedeelte (doorgestoken pijp). Het binnengedeelte moet reiken tot aan het maximaal toelaatbare vloeistofniveau bij vulling, dat is aangegeven op de stempelplaat. Het buitenliggende deel moet zijn afgesloten door een afsluiter (nummer 15 in Figuur 2).
- Een vloeistofstandaanwijzer van doelmatige constructie, welke geschikt is voor de beoordelingsdruk van het reservoir.
- Een voor de met de bediening belaste persoon waarneembare signalering, die in werking treedt bij het bereiken van een dusdanig hoog vloeistofniveau in het vat, dat, mede gelet op de vulsnelheid, voldoende tijd beschikbaar is om in te grijpen in de vulhandeling voordat het maximaal toelaatbare vullingsniveau wordt bereikt. Deze signalering mag gecombineerd zijn met de vloeistofstandaanwijzer. Zodra het maximaal toelaatbare vullingsniveau wordt bereikt, moet de toevoer van vloeistof naar het reservoir automatisch worden gestopt door een fail-safe onafhankelijk werkend beveiligingssysteem. Hierbij moeten voorzieningen zijn getroffen om het ontstaan van drukstoten tegen te gaan.

C. Uitstroombeveiligingen

- Op de aansluitflenzen van het reservoir moeten (met uitzondering van de aansluitflenzen voor de veiligheidskleppen en de niveaumeting) handbedienbare afsluiters zijn geplaatst. Aan de reservoirzijde moeten dit afsluiters zijn van het type flensafsluiter. Op zo kort mogelijke afstand van deze handbediende afsluiters moeten (met uitzondering van de spui-inrichting), op afstand bedienbare afsluiters zijn gemonteerd, die zijn voorzien van een aanduiding van het open of dicht staan ervan. Bij wegvallen van de bekrachtiging moeten deze afsluiter zichzelf binnen 15 seconden sluiten (fail-safe). Het systeem moet zodanig zijn uitgevoerd dat de afsluiters automatisch worden gesloten als de stuurleiding van het bekrachtigingssysteem smelt (door brand).
- Elke aansluiting van het reservoir met een doorlaat van groter dan 2 mm² moet, met uitzondering van de aansluitingen voor niveaumeting, zijn voorzien van een doorstroombegrenzer, dan wel, waar mogelijk, een terugslagklep. Deze begrenzer of klep moeten binnen het reservoir zijn aangebracht. De aansluitingen waarop de veiligheidskleppen zijn gemonteerd mogen niet voorzien zijn van een doorstroombegrenzer of terugslagklep.
- Een spui-inrichting moet direct aan het reservoir / de zuigput / de afvoerleiding zijn voorzien van een handbedienbare afsluiter met een diameter van minimaal DN50. Deze afsluiter moet altijd gesloten zijn (behalve tijdens spuiwerkzaamheden onder direct toezicht van een daartoe geïnstrueerde persoon). Na deze afsluiter moet direct een spuivat met een inhoud van 10-25 liter zijn aangebracht. Na het spuivat moet een zelfsluitende (veerbelaste) kogelafsluiter met een

diameter van ten hoogste DN25 zijn gemonteerd. Deze afsluiter mag ook zijn uitgevoerd als een zogeheten ‘tight shut off’ klep met een dodemansknopbediening.

- De afstand tussen de eerste afsluiter en de tweede afsluiter (of dodemansknop) moet zodanig zijn dat de twee afsluiters niet gelijktijdig kunnen worden bediend. Deze tweede afsluiter mag uitsluitend worden geopend wanneer de eerste afsluiter gesloten is.
- De spuileiding moet zijn verwarmd, op afschot liggen en op minimaal 5 meter van de horizontale projectie van het reservoir uitmonden in een open deel van het rioolsysteem. De uitmonding van de spuileiding moet zichtbaar zijn vanaf de zelfsluitende afsluiter of dodemansknop.
- Eisen aan de op afstand bedienbare afsluiter:
 - indien de op afstand bedienbare afsluiter ook met de hand bediend kan worden, dan mag dit slechts mogelijk zijn met speciaal gereedschap, dat uitsluitend ter beschikking mag staan van het daartoe geïnstrueerd personeel;
 - brandveilige uitvoering;
 - moet op minimaal twee verschillende plaatsen op afstand bediend kunnen worden;
 - bij afsluiten moeten de lpg-pomp en/of compressor automatisch worden gestopt;
 - in gesloten stand moeten de lpg-pomp en/of compressor niet kunnen worden gestart.

D. Beveiligingen tegen corrosie, beschadigingen (onder andere door aanrijdingen)

- Het toebehoren³ van het reservoir moet aan de buitenzijde doelmatig tegen corrosie en beschadigingen zijn beschermd.
- Het reservoir moet zijn voorzien van een warmtestraling reflecterende corrosiewerende verf.
- Brandbeschermende bekleding of een watersproei-installatie is vereist indien de afstand tot omringende objecten kleiner is dan de afstanden vermeld in Tabel 8.1 van [PGS-18 91]. Ook dient een watersproei-installatie aanwezig te zijn indien twee of meer reservoirs naast elkaar liggen.
- Brandbeschermende bekleding moet zodanig zijn uitgevoerd dat:
 - het vrijkomen van de inhoud (anders dan door de veiligheidsklep) gedurende minimaal 60 minuten wordt voorkomen als het reservoir wordt blootgesteld aan brandomstandigheden;
 - het materiaal in verhitte toestand blijft hechten aan de reservoirwand;
 - het niet door blus- of koelwater wordt weggespoeld;
 - het lpg-bestendig is;
- Een watersproei-installatie moet zodanig zijn uitgevoerd dat:
 - deze gelijkmatig over het oppervlak van het reservoir ten minste 8 liter water per minuut per m² reservoiroppervlak kan sproeien;
 - deze voortdurend is aangesloten op een watervoorziening, zodat de installatie ieder moment in bedrijf kan worden gesteld;
 - het niet-vorstvrije gedeelte van de watersproei-installatie droog wordt gehouden;
 - voldaan wordt aan de uitvoeringseisen uit Bijlage V van [PGS-18 91].

³ Hiermee worden onder meer bedoeld de veiligheidskleppen, de afsluiters, de doorstroombegrenzers, de terugslagkleppen, de manometers, de vloeistofstandaanwijzer en de spui-inrichting.

E. Beveiligingen tegen blikseminslag/statische elektriciteit

Bovengrondse reservoirs dienen geaard te zijn overeenkomstig de richtlijnen gegeven in NEN 1014, in verband met mogelijke blikseminslag.

3.4 Technische voorzieningen in de praktijk

In dit onderdeel van het rapport wordt aan de hand van een bureaustudie nagegaan in hoeverre de technische voorzieningen die in paragraaf 3.3 zijn aangegeven daadwerkelijk zijn geïmplementeerd bij de bedrijven met een lpg-opslag in Nederland die onder het Besluit Risico Zware Ongevallen (BRZO) vallen. Een inventarisatie geeft aan dat er circa veertien BRZO-bedrijven zijn met een grootschalige lpg-opslag en waarvan het RIVM het veiligheidsrapport bezit. Bij de bureaustudie is gebruikgemaakt van die veiligheidsrapporten. Er is geen lijst opgenomen van de rapporten [VR 07] omdat het RIVM gehouden is aan het vertrouwelijk behandelen van de gegevens. Bij elf van de geïnventariseerde bedrijven vindt de opslag van lpg plaats in boltanks, bij twee bedrijven gebeurt de opslag in ingeterpte cilindrische druktanks en bij één bedrijf gebeurt dat in verticaal opgestelde cilindrische druktanks. Deze laatste drie bedrijven worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten omdat het onderzoek zich in het bijzonder richt op de opslag van lpg in boltanks.

We merken op dat we ons uitsluitend baseren op wat de veiligheidsrapporten vermelden. Daardoor kan het beeld van de daadwerkelijk aanwezige veiligheidsvoorzieningen bij deze bedrijven mogelijk onvolledig zijn. Wij gaan ervan uit dat de vermelde voorzieningen ook daadwerkelijk zijn geïmplementeerd. Het oordeel van het bevoegde gezag is hierbij niet betrokken, omdat het veelal geen uitspraak bevat over de veiligheid van de lpg-opslagen. Tabel 2 geeft een beknopt overzicht van het resultaat van de bureaustudie. Een gedetailleerd overzicht staat in Tabel 5 van Bijlage 1.

Tabel 2. Technische voorzieningen bij grootschalige lpg-opslagen in Nederland. Deze technische voorzieningen worden vergeleken met de technische standaarden uit de richtlijn PGS-18 [PGS-18 91].

<i>Technische voorzieningen volgens richtlijn PGS-18</i>		<i>Technische voorzieningen bij BRZO-bedrijven</i>
A	OVERDRUKBEVEILIGING	
1	Manometer	X
1.a	Hogedrukalarm	X
2	Veerbelaste veiligheidskleppen	X
2.a	Pijpen op veiligheidskleppen moeten afgeschermd zijn tegen vochtophoging	X
2.b	Bij meerdere kleppen mogen afsluiters aanwezig zijn, die moeten zodanig gekoppeld zijn dat het vereiste aantal kleppen onbeperkt werkt	X
3	Temperatuurmeter	X
3.a	Temperatuuralarm	X
B	OVERVULBEVEILIGING	
4	Vaste binnenpijp voor niveaumeting	X
4.a	Standwijzer	X
5	Waarneembaar hoogniveau signalering	X
5.a	De met bediening belaste persoon moet het kunnen waarnemen	X
5.b	Er dient voldoende tijd te zijn om de toevoer tijdig te stoppen	X

6	Monstername	X
C	UITSTROOMBEVEILIGING	
7	Afsluiters, terugslagkleppen e.d.	X
7.a	In de vulleiding	X
7.b	In de losleiding	X
7.c	In de dampretourleiding	X
8	Aansluitflenzen (uitzondering voor veiligheidskleppen en niveaumeting)	X
8.a	Moeten zijn voorzien van handbediende afsluiters	X
8.b	Op een dergelijke kort mogelijke afstand gevolgd door op afstandbedienbare afsluiters (uitgezonderd de spui-inrichting)	X
8.b1	Bij wegvallen van de bekrachtiging van de afsluiters moet de afsluiter binnen 15 seconden sluiten (fail safe)	X
8.b2	Bij smelten van de stuurleiding van het bekrachtigingssysteem moeten de afsluiters automatische sluiten	X
8.c	Aansluitingen moeten voorzien zijn van doorstroombegrenzers danwel terugslagkleppen	X
9	Spui-inrichting	X
9.a	Spuileiding moet verwarmd zijn	X
10	Gasdetectie	X
D	BEVEILIGING TEGEN INVLOED VAN BUITENAF (IMPACT, BRAND, BLIKSEM)	
11	Bescherming	X
11.a	De reservoirs zijn voorzien van warmtestraling reflecterende corrosiewerende verf	X
11.b	Watersproei-installatie	X
12	Opvangbak	X
13	De reservoirs zijn geaard	X

3.5 Wijzigingen in de stand der techniek

Om inzicht te krijgen in de verandering van de stand der techniek over de laatste 25 jaar hebben we contact opgenomen met zowel een constructeur van lpg-bollen (Mercon, zie Bijlage 3) als met een gebruiker (Dow Benelux). Hieruit kwam naar voren dat de ontwerpisen van lpg-bollen in de laatste decennia niet wezenlijk zijn veranderd. Wel zijn er verbeteringen opgetreden in de productietechnieken en de onderhouds- en detectiemethodes, zoals betere lastechnieken en non-destructief onderzoek, waardoor een hogere kwaliteit bereikt kan worden.

3.6 Conclusies

In dit hoofdstuk is eerst de stand der techniek beschreven voor technische voorzieningen die op lpg-opslag tanks aanwezig moeten zijn in Nederland en Engeland. Daarvoor maakten we gebruik van Nederlandse en Britse richtlijnen, waarbij we vooral aandacht hadden voor het ontwerp, de constructie,

het gebruik en de inspectie van de bovengrondse opslagtanks. Beide landen blijken hieraan min of meer vergelijkbare technische eisen te stellen.

Vervolgens zijn de technische veiligheidsvoorzieningen uitgewerkt voor lpg-opslagen in Nederland aan de hand van de hier gebruikte richtlijn (PGS-18). Daaruit blijkt dat vooral technische veiligheidsvoorzieningen worden voorgeschreven om overdruk, overvullen, uitstromen, corrosie, externe beschadiging, brand, blikseminslag en opwekking van statische elektriciteit te voorkomen.

Tot slot gingen we in een bureaustudie na of deze technische veiligheidsvoorzieningen daadwerkelijk zijn geïmplementeerd bij BRZO-bedrijven met een lpg-opslag. We baseerden ons uitsluitend op informatie uit de veiligheidsrapporten van deze bedrijven. Daardoor kan het beeld van de daadwerkelijk aanwezige voorzieningen mogelijk onvolledig zijn. We gaan ervan uit dat de genoemde voorzieningen ook daadwerkelijk zijn geïmplementeerd. Uit dit globale bureauonderzoek kan worden geconcludeerd dat de onderzochte lpg-opslagen in Nederland voorzien zijn van technische veiligheidsvoorzieningen conform de Nederlandse richtlijn.

4 Veiligheidsbeheerssystemen

In dit hoofdstuk gaan we in op de algemene onderzoeksvraag, namelijk: op welke wijze kunnen verschillende organisatorische voorzieningen in een bedrijf op een eenduidige, transparante en robuuste wijze worden beoordeeld en op welke wijze kan deze beoordeling vertaald worden naar de risicoanalyse en de ruimtelijke ordening? Met organisatorische voorzieningen bedoelen we in dit rapport vooral het veiligheidsbeheerssysteem (= VBS).

4.1 Werkwijze

We beginnen in de paragrafen 4.2 en 4.3 met een opsomming van de algemene en specifieke organisatorische voorzieningen uit enkele richtlijnen. Vervolgens worden de drie fasen uit het projectplan [SOR 05] beschreven, namelijk:

- De inventarisatie van organisatorische voorzieningen: beschrijf een representatief VBS. Van een aantal BRZO-bedrijven waar opslag van lpg plaatsvindt, zijn de VBS-beschrijvingen in de veiligheidsrapporten (VR) beoordeeld. Het resultaat van deze beoordeling is opgenomen in paragraaf 4.4.
- Methoden om organisatorische voorzieningen te beoordelen. Uit een analyse van de beschikbare literatuur en uit contacten met deskundigen is een globaal overzicht verkregen van de mogelijke beoordelingsmethodieken voor een VBS. Dit overzicht vindt u in paragraaf 4.5.
- In paragraaf 4.6 wordt kort ingegaan op de methode voor doorwerking van de VBS beoordeling in een QRA.

Tot slot bevat paragraaf 4.7 een aantal relevante punten uit de literatuur en paragraaf 4.8 de conclusies.

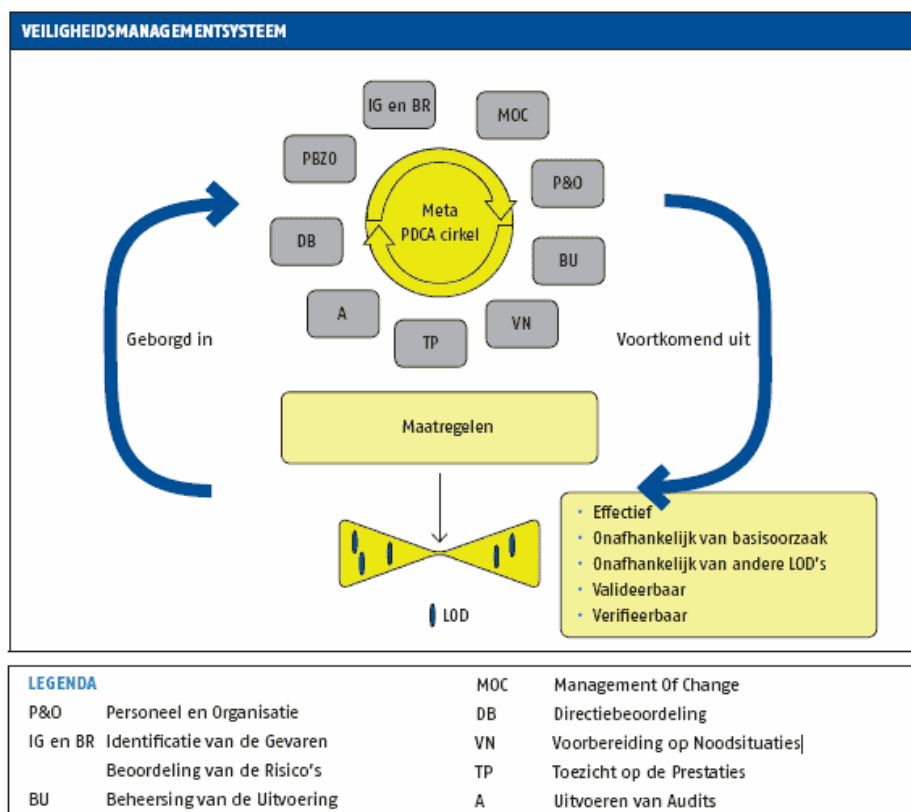
4.2 Algemene organisatorische voorzieningen uit richtlijnen

Het veiligheidsmanagementsysteem (VMS)⁴ van een BRZO-bedrijf moet voldoen aan de algemene organisatorische voorzieningen uit Bijlage 2 van [BRZO 99]. Het gaat dan om:

- Die onderdelen van het algemene beheerssysteem die het mogelijk maken het beleid ter voorkoming van zware ongevallen te bepalen en uit te voeren, zoals de organisatorische structuur, de verantwoordelijkheden, de gebruiken, de procedures, de procédés en de hulpmiddelen.
- De taken en verantwoordelijkheden van het personeel dat op alle organisatorische niveaus bij het beheersen van de risico's van zware ongevallen is betrokken.
- Het onderkennen van de behoeften aan opleiding van dat personeel, de organisatie van die opleiding en de deelname daaraan door het personeel, de aannemers en de onderaannemers.
- De identificatie van de gevaren en de beoordeling van de risico's van zware ongevallen: de vaststelling en de toepassing van procedures voor de systematische identificatie van de ongewenste gebeurtenissen die tot zware ongevallen kunnen leiden die zich bij normale en abnormale procesomstandigheden kunnen voordoen en de beoordeling van de kans op en de omvang van die ongevallen.
- Het toezicht op de uitvoering: de vaststelling en de toepassing van procedures en instructies voor de beheersing van de veiligheid van de bedrijfsvoering, met inbegrip van het onderhoud van de installaties en de tijdelijke onderbrekingen.

⁴ Een VMS is een combinatie van het VBS en het PBZO-document (bron: www.brzo99.nl).

- De handelwijze bij wijzigingen: de vaststelling en de toepassing van procedures voor de planning van wijzigingen voor de inrichting of onderdelen daarvan dan wel voor het ontwerpen van een nieuw procedé.
- De planning voor noodsituaties: de vaststelling en de toepassing van procedures voor de systematische identificatie van noodsituaties, en voor het uitwerken, beoefenen en toetsen van de noodplannen.
- Het toezicht op de prestaties: de vaststelling en de toepassing van procedures voor de permanente beoordeling van de inachtneming van de doelstellingen van het beleid ter voorkoming van zware ongevallen en van het veiligheidsbeheersysteem, en voor de invoering van regelingen voor onderzoek en correctie bij het niet in acht nemen daarvan. Tot deze procedures behoren het systeem voor de melding van zware ongevallen en bijna-ongevallen, vooral die waarbij de beschermende maatregelen hebben gefaald, het onderzoek daarnaar en de nazorg, een en ander op grond van de ervaringen uit het verleden.
- Audits en beoordeling: de vaststelling en de toepassing van procedures voor de systematische periodieke evaluatie van het beleid ter voorkoming van zware ongevallen en van de doeltreffendheid en de deugdelijkheid van het veiligheidsbeheersysteem; de door de directie met documenten gestaafde analyse van de resultaten van het gevoerde beleid, het veiligheidsbeheersysteem en de actualisering daarvan.



Figuur 3 Het veiligheidsmanagementsysteem gebaseerd op PDCA [PGS-6 06].

Het VMS zal in het algemeen deel uitmaken van een algemener managementsysteem. De Nederlandse Technische Afspraak [NTA 06] beschrijft hoe aan de wettelijke eisen voor het VMS kan worden voldaan. De NTA beoogt dit te bereiken met een op de Demingcyclus (PDCA = Plan-Do-Check-Act)

gebaseerd managementsysteem (Figuur 3). De figuur geeft weer hoe de kwaliteit en effectiviteit van werkprocessen van het beheerssysteem worden bewaakt, beoordeeld en waar nodig aangepast. Het gesloten zijn van de cyclus wordt bijvoorbeeld met een audit nagegaan. Analoog aan deze NTA werkt onder ander NEN momenteel aan een NTA specifiek voor buisleidingen. Op termijn kan certificering van een VMS tot de mogelijkheden gaan behoren.

4.3 Specifieke organisatorische voorzieningen uit richtlijnen

Een overzicht van de relevante wetgeving en normen voor de bedrijfsvoering van lpg is opgenomen in een rapport van de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen [AGS 06], dat ook vooral het BRZO als specifieke eis noemt voor grote lpg-opslagen.

4.4 Specifieke organisatorische voorzieningen in de praktijk

Van enkele BRZO-bedrijven die lpg opslaan, zijn de VBS-beschrijvingen in het veiligheidsrapport (VR) beoordeeld op de aanwezigheid van specifieke voorzieningen voor de opslag van lpg. Dit is gedaan voor dezelfde BRZO-bedrijven waarvoor in paragraaf 3.4 de technische voorzieningen zijn beschouwd. Uit de beoordeling blijkt dat een bedrijf het VBS hooguit summier specifiek voor lpg-opslag heeft ingericht. We zijn niet nagegaan of de technische documentatiepakketten van de veiligheidsrapporten aanvullende informatie bevatten. Voor het identificeren van gevaren (vierde bullet) worden veelal standaard procedures toegepast, zoals hazard and operability (HAZOP). Enkele bedrijven houden mogelijke faalmechanismen bij in een bestand.

In dit onderzoek is – voor zover bij RIVM bekend – ook het ‘oordeel’ betrokken van het bevoegde gezag naar aanleiding van de VBS-inspectie van een bedrijf. In de meeste gevallen is het bevoegde gezag redelijk tevreden met het resultaat van de VBS-inspectie.

4.5 Overzicht beoordelingsmethodieken VBS-systemen

Methoden om organisatorische voorzieningen te beoordelen

De afgelopen jaren is een groot aantal initiatieven ontplooid om methoden te ontwikkelen om organisatorische voorzieningen in de praktijk te beoordelen. Binnen het raamwerk van dit project is het onmogelijk om een volledig overzicht van deze variatie aan methoden te schetsen. In [AOI 05] heeft TNO op basis van een brainstormsessie een inventarisatie gemaakt van bestaande methoden. Elk methode is gewaardeerd op de meetlat mens, organisatie en techniek (M-O-T), VBS en uitvoerbaarheid. In totaal zijn zestien methoden tegen het licht gehouden. Hieronder volgen enkele conclusies uit de brainstormsessie, waarvan u de onderbouwing vindt in het TNO-rapport:

- De methoden Scenario Based Auditing [SBA 05A], SMART [LPSP 98] en de Optimale Ploegmethode [MOP 00] komen in aanmerking voor verdere ontwikkeling.
- De methode Safety for Business Analysis (zie verderop) sluit op dit moment niet aan bij de werkprocessen van bedrijven en is te omslachtig voor een audit van een BRZO-bedrijf.
- Van de overige methoden zijn bepaalde onderdelen interessant, bijvoorbeeld de meetlat van MOOIS [MHC 04]. In het project MOOIS heeft de Arbeidsinspectie een auditinstrument ontwikkeld voor systematisch toezicht op de functionaliteit van een managementsysteem voor onderhoud en inspectie (O&I) bij een BRZO-bedrijf. Het instrument omvat de zeven VBS-

elementen met samen 50 tot 100 vragen en een score van 1 tot 5 voor elk VBS-element. Er is specifieke aandacht voor de Demingcyclus (Figuur 3).

- Bij geen van de methoden is de ‘human factor’ goed ingebouwd.
- De methode Scenario Based Auditing is interessant vanwege de ‘delivery systems’. De meetlat wordt echter nog ontwikkeld en moet nog aan de praktijksituatie worden gekoppeld.
- De SMART-methode lijkt ook geschikt vanwege de goede basis en aansluiting met werkprocessen en organisatiecultuur, maar moet wel omgevormd worden voor praktisch gebruik en worden bijgewerkt voor deze tijd.
- De Optimale Ploegmethode zou ook bruikbaar kunnen zijn omdat er een goede invulling wordt gegeven aan de factor ‘mens’. Deze methode moet echter beter uitgewerkt worden en gekoppeld worden aan concrete VBS-zorgelementen.

Geen van de hierna genoemde, nationaal en internationaal gehanteerde methoden gaan specifiek in op de opslag van lpg. Nader onderzoek is nodig, om vast te stellen of met deze methoden een eenduidige, transparante en robuuste wijze van VBS-beoordeling mogelijk is. Overigens volgt uit de ongevalanalyse dat circa een derde van de incidenten lijkt te gebeuren door menselijke fouten bij het laden en lossen van lpg (zie paragraaf 5.3). Caumont et al. [SPAL 00] concluderen dat voor het laden en lossen van lpg de bijdrage van direct menselijke fouten circa 12% is. Het uitwerken van het VBS voor de lpg-opslag biedt mogelijkheden om deze bijdragen te beperken.

Nationaal:

- Nieuwe Inspectie Methodiek (NIM): De NIM is ontwikkeld als onderdeel van de ‘werkwijzer BRZO’ [WVO 06]. De NIM is een methode voor het gezamenlijk uitvoeren van inspecties door de Arbeidsinspectie, de Brandweer en het bevoegd gezag ex Wet milieubeheer. De methode leidt tot een objectief en gemotiveerd oordeel over het gevoerde preventiebeleid voor zware ongevallen, het VBS en de beheersmaatregelen. Kort samengevat is NIM:
 - een ‘inspectietool’ die de kwaliteit van inspectie verbetert en het inspectieproces faciliteert;
 - een instrument om de onderlinge samenwerking van overheidsdiensten te verbeteren (prestatie);
 - ondersteunend voor de handhaving;
 - een praktijkmethode specifiek voor uitvoerders;
 - een manier om het overheidstoezicht transparanter te maken door te streven naar één landelijke werkwijze en een meer uniforme benadering van bedrijven.

De resultaten van deze inspecties worden verzameld in een database die mogelijk in de toekomst een referentieniveau biedt voor organisatorische voorzieningen. Nadere studie hiervan is noodzakelijk.

- Audit VBS [TNO 06]: beschrijft de in paragraaf 4.2 genoemde VMS-elementen, relevante teksten uit de richtlijnen (SEVESO-II, BRZO’99), de hoofdonderwerpen en aandachtspunten voor een audit.
- De methode ‘Safety for Business Analysis’ [SBA 05B]: bij deze methode wordt een Safety Quality Factor (SQF) bepaald. De SQF is een redelijk experimentele combinatie van de kwalitatieve methoden OSHAS en Tripod, en een kwantificeerbare, technische methode, namelijk LOPA. Met behulp van LOPA (soms ondersteund door een HAZOP) worden ongevalsscenario’s geïdentificeerd. Van elk scenario wordt het vereiste veiligheidsniveau (bijvoorbeeld afgemeten in een risicomatrix) vergeleken met het werkelijke niveau (uitgedrukt als een frequentie per jaar). Het verschil tussen het vereiste veiligheidsniveau en het daadwerkelijke veiligheidsniveau is de zogeheten ‘Safety Gap’.

De frequentie van een scenario kan worden verlaagd door het nemen van ‘harde’ veiligheidsmaatregelen (zoals veiligheidskleppen en ‘Safety Integrity Systemen’ – SIS), maar ook door het nemen van ‘zachte’ maatregelen (zoals het verbeteren van de veiligheidscultuur, een betere training van het personeel, beter leiderschap). Door bijvoorbeeld een meting met Tripod uit

te voeren kan men een indruk krijgen van de zogenaamde basisrisicofactoren. Indien bijvoorbeeld een Tripodscore wordt gehaald die aanzienlijk beter is dan een gemiddelde score dan zou men een (positieve) herwaardering kunnen toepassen op de elementen (beschermingen, initiële gebeurtenissen) voor de (relevante) scenario's. Ook kan een dergelijke studie inzicht geven in te verbeteren 'zachte' factoren. Ook dat kan safety gaps verkleinen.

Internationaal:

Projecten ARAMIS en I-Risk: Deze projecten schenken aandacht aan VBS-inspectie [RESS 05]. Het project ARAMIS is een afgesloten Europees samenwerkingsproject. Het richtte zich op de ontwikkeling van een integrale methode voor het in kaart brengen van externe risico's van BRZO-bedrijven. De methode bestaat uit:

- een risicoanalyse;
- het bepalen van een impactfactor van de eventuele effecten van het vrijkomen van chemische stoffen, branden en explosies op mens, materieel en milieu;
- een scenariogestuurde audit [SBA 05A].

Los van de voornoemde methoden moet een te ontwikkelen inspectiemethode inzicht geven in de kwaliteit én de feitelijke werking van het veiligheidsbeheerssysteem. Afhankelijk van de toegepaste auditmethode kan het accent op objectieve of subjectieve aspecten liggen en daarmee de kwaliteit en toetsbaarheid van de uitkomsten in grote mate bepalen:

- Objectieve feiten (kenmerken, constatering, richtlijnen, checklijsten): deze zorgen voor structuur en toepasbaarheid. Dit is van belang voor de handhaving, maar voor de feitelijke werking (verbetering) is er meer nodig.
- Subjectieve interpretaties en meningen (ruimte voor verandering, oog voor dynamiek, interactie en samenhang, cultuur, inbreng van knowhow): deze zorgen voor een goede diepgang op het juiste moment en geven richting aan het onderzoek (komt eerder tot de kern van het probleem). De toetsbaarheid hiervan is echter lastig.

In de praktijk zal een dergelijke methode bestaan uit een optimale mix van objectieve en subjectieve elementen, die tegen een toetsbare meetlat worden gelegd. De meest kritische stap is het aanleggen van een meetlat die toetsbaar is voor subjectieve aspecten.

4.6 Methoden voor doorwerking VBS beoordeling in QRA

De methoden die we hier beschrijven, geven aan op welke wijze het resultaat van een VBS-beoordeling verdisconteerd kan worden in de QRA:

- Ale et al. [IRISK 02] documenteren een gedetailleerd model voor het simuleren van de invloed van bedrijfsspecifieke en organisatorische voorzieningen. In dit model worden de faalfrequenties van een installatie geschat aan de hand van het specifieke VBS van de betreffende installatie. De wijze waarop de faalfrequenties in dit model worden geschat, is dus anders dan het aanpassen van de faalfrequenties op basis van een VBS-audit.
- Colombo et al. [HOF 06] stellen een globale benadering voor om de resultaten van een 'schatting van de betrouwbaarheid van de organisatie' door te laten werken in een QRA.
- De dienst VR van het Vlaamse departement Leefmilieu, Natuur en Energie staat faalkansreducties toe in de QRA. Het Richtlijnenboek voor veiligheidsrapportages [RBV 07] schetst globaal de werkwijze voor het toepassen van faalkansreducties. Het Handboek Kanscijfers [HKA 04] bevat de uitwerking. De methode komt er kort gezegd op neer dat de generieke faalkans met hoogstens 90% kan worden verminderd in geval van specifieke, preventieve veiligheidsmaatregelen van technische of organisatorische aard. De exploitant moet in samenspraak met de VR-deskundige aantonen dat

er gegronde argumenten zijn voor een faalkansreductie [LNE 06]. Voor faalkansreductie beschrijven Maschio et al. nog een andere methode [SAR 06], die gebaseerd is op Risk-Based Inspectie van API [API 00].

4.7 De literatuur over het VBS

Eén van de uitgangspunten voor het gebruik van de faalfrequenties in QRA is dat er sprake moet zijn van een goed functionerend VBS-systeem [PGS-3 99]. Onzorgvuldig beheer heeft ertoe geleid dat voor een aantal faalfrequenties onvoldoende bekend is wat de oorzaken van de onderliggende ongevallen waren. De waardering van extra toegepaste maatregelen als organisatorische voorzieningen is dan lastig te onderbouwen.

De opkomst van wetgeving zoals het BRZO heeft volgens [TOI 04] een positief effect gehad op de veiligheid in de procesindustrie. In de slotbeschouwing constateert het rapport met verbazing dat ‘nog steeds vrij accuraat te voorspellen is welke factoren hebben bijgedragen aan een ongeval’. Door de rubricering en classificatie van het oorzakenonderzoek is het lastig om de relatie tussen trends en ongevallen te onderzoeken omdat cruciale informatie over relevante variabelen ontbreekt.

Uit onderzoek van de arbeidsinspectie [MHC 06, MHC 03] en HSE [HSE 03] blijkt dat tussen het niet of onvoldoende functioneren van één of meerdere elementen van het VBS en de oorzaken van incidenten bij bedrijven causale relaties bestaan. Vooral voor de VBS-elementen 2 en 3 (bullets 4 en 5 in paragraaf 4.2) is er een duidelijke relatie.

Pietersen [PET 06] somt belangrijke lessen op uit het incident bij een BP-raffinaderij begin 2005 in Texas (USA). Opmerkelijk hierbij is dat BP zelf onder andere concludeert dat de methoden voor het systematisch analyseren van gevaren en het beoordelen van risico's niet robuust genoeg zijn en dat de resultaten onvoldoende worden gedocumenteerd.

In diverse Europese landen, zoals Frankrijk en Engeland, worden op dit gebied projecten uitgevoerd. In [HSE 06] wordt voor gezondheid en veiligheid een eenvoudig model beschreven om vier gebieden (menselijke factoren, VBS, bredere organisatorische aspecten en risicocontrole) te integreren. Deze vier gebieden zijn gedefinieerd op basis van 850 componenten waarmee acht grote ongevallen zijn geanalyseerd. Het model is gebaseerd op onder ander WORM (Workplace Occupational Risk Model) en AVRIM (ArbeidVeiligheidsRapportage InspectieMethodiek). Als aan VBS gerelateerde fouten worden onder ander genoemd: het niet identificeren van gevaren, monitoring-, management- en communicatiefouten.

Uitspraken over de externe veiligheidssituatie zijn nogal eens gebaseerd op onjuiste of onvolledige (ongevals)statistiek. Een voorbeeld hiervan is casuïstiek die te beperkt is in omvang (aantal ongevallen of jaren), of gebaseerd op alleen kleine ongevallen of ziekte van medewerkers [MR 05].

4.8 Conclusies

Dit hoofdstuk behandelt globaal de invloed van organisatorische voorzieningen (VBS) op de (externe) veiligheid. In het projectplan waren drie fasen onderkend, maar in de uitvoering bleek dat de eerste fase op dit moment al niet kon worden afgerond. Op basis van de beschikbare informatie kan geen representatief VBS voor lpg-opslag worden vastgesteld. Uit een analyse van de veiligheidsrapporten van bedrijven blijkt dat voor lpg-opslag geen specifieke organisatorische voorzieningen worden getroffen. Voor het VBS-element omschreven als ‘de systematische identificatie van de ongewenste gebeurtenissen die tot zware ongevallen kunnen leiden’ maken bedrijven gebruik van algemene

technieken, zoals HAZOP en wordt geen specifieke benadering voor lpg gehanteerd. Een analyse van de faaloorzaken wijst uit dat circa een derde van de incidenten lijkt te gebeuren tijdens het laden en lossen. Verdere uitwerking van het VBS biedt mogelijkheden om deze bijdragen te beperken.

Voor de beoordeling van een (representatief) VBS kan de Nieuwe Inspectie Methodiek de toekomstige standaard in Nederland worden. De geschiktheid van de NIM om voor het VBS een referentieniveau vast te stellen moet in een vervolgstudie worden nagegaan. Voor de laatste fase van het projectplan, de doorwerking van de VBS-beoordeling in een risicoanalyse (QRA), zijn enkele potentiële methoden genoemd. Maar eerst moeten een representatief VBS en een methode voor de doorwerking van de beoordeling in de QRA worden vastgesteld. Hiervoor is de ontwikkeling van een inspectiemethode vereist die inzicht geeft in de kwaliteit én de feitelijke werking van het VBS.

5 Faalorzaken

5.1 Werkwijze

Om duidelijk te krijgen welk onderdeel van een stationaire opslag voor grote hoeveelheden lpg (vanaf 100 m³) bij een incident als eerste faalt, hebben we twee verschillende sporen gevolgd:

- Analyseren van literatuur over faalorzaken en interviewen van professionals betrokken bij grote lpg-opslagen. Dit geeft informatie over de algemene faalorzaken (paragraaf 5.2).
- Verzamelen en analyseren van beschrijvingen van incidenten. Hiervoor zijn individuele incident-beschrijvingen bestudeerd uit verschillende databases, zoals FACTS en Hint (paragraaf 5.3).

Door deze twee sporen te combineren proberen we een overzicht te krijgen van de betrouwbaarheid van de verschillende onderdelen van de lpg-opslaginstallatie. De resultaten van de incidentanalyse plaatsen we naast de resultaten uit het literatuuronderzoek en de informatie van de deskundigen.

5.2 Algemene faalorzaken

Welke zijn de bekende en veel voorkomende faalorzaken? En welke onderdelen van de opslaginstallaties zijn daarbij betrokken? In deze paragraaf gaan we op zoek naar antwoorden op deze vragen.

Inventarisatie basisgebeurtenissen volgens de foutenbomen uit PGS-6 [PGS-6 06]

In de richtlijn PGS-6 staan foutenbomen voor een tiental directe oorzaken van een Loss of Containment (LoC). Deze foutenbomen zijn omstreeks 1995 ontwikkeld voor de AVRIM. Elk van de foutenbomen is uitgewerkt naar basisgebeurtenissen die tot een van deze directe oorzaken kunnen leiden. Doel van de methodiek is na te gaan welke basisoorzaken in een systeem denkbaar of relevant zijn, en welke door middel van een maatregel (Line of Defence: LoD) zijn te voorkomen.

Deze methodiek kan zeer behulpzaam zijn om de relevante Loss of Containment situaties voor lpg-opslaginstallaties aan te wijzen. Mogelijk is hiermee ook eenvoudig te inventariseren welke LoD's zijn aangebracht of geïmplementeerd die de huidige stand der techniek bepalen, en sinds wanneer ze worden toegepast.

De resultaten van de toepassing van dit instrument op de algemene eigenschappen van lpg-opslaginstallaties staan in Tabel 3. Het betreft een eerste, nog onvolledige toetsing op basis van een korte bureauanalyse.

Tabel 3 Directe oorzaken van LoCs bij lpg-tankopslag [PGS-6 06].

<i>Directe oorzaak voor LoC</i>	<i>Aantal basis-oorzaken</i>	<i>Aantal relevante oorzaken</i>	<i>Toelichting</i>
Corrosie	8	1	Interne corrosie: lpg-producten zijn niet corrosief. Externe corrosie: moet bij periodieke controle geconstateerd worden Corrosie draagconstructie: denkbare oorzaak voor falen. Afbreken van leidingen waarschijnlijk, volledig falen bol niet waarschijnlijk
Erosie	5	0	Geen deeltjes in medium en geen extreme stromingssnelheden.
Externe belasting	12	2	Draagconstructie faalt door corrosie of door overbelasting (waterinhoud) Natuurlijke oorzaak: overstroming, bol zou kunnen drijven bij hoog water (+ 2 m) en gedeeltelijke vulling. Draagconstructie los van fundering, leidingen breken.
Inslag / botsing / stoten	4	2	Fragmenten van naburige explosie, penetreren tankwand Overdruk naburige explosie: falen op draagconstructie, leidingen breken.
Fout van operator	15	3	Overvullen, met hoge pompdruk Vullen met vluchtiger materiaal, waardoor hoge dampdruk Fout bij bemonsteren waardoor externe brand
Overdruk, vloeistof	21	3	Overvullen + hoge pompdruk, zie 'fout operator' Roll-over bij vullen met verkeerd materiaal Reactie: lpg is chemisch inert, dus geen runaway. Alleen brand is denkbaar bij aanwezigheid van zuurstof binnen omhulling. Voor bepaalde stoffen misschien relevant, e.g. VC. Thermische expansie: niet als directe oorzaak, maar toename van temperatuur kan hogere dampdruk veroorzaken Terugslag: zeer onwaarschijnlijk, vanwege grote buffer.
Temperatuur	8	1	Te hoog: alleen externe brand / hittebelasting is relevant. Te laag: niet relevant.
Onderdruk	10	2	Te snel (laten) leeglopen, zonder toevoer van (voldoende) gas / lucht; dampretour geblokkeerd.
Trilling	3	1	Wind (eigen frequentie)
Foutief onderdeel	6	6	Foute pakking of vergeten: lek leidt tot brand en hitteaanstraling

We bevelen aan om in een vervolgonderzoek de inventarisatie van basisgebeurtenissen en LoD's in een expertmeeting te herhalen.

Onderzoek in Frankrijk over veiligheid van lpg

In 2000 is in Frankrijk een onderzoek verschenen om de overheid te informeren over de lpg-richtlijnen van Frankrijk en enkele omliggende landen waaronder Nederland [SPAL 00]. Dit onderzoek richt zich op de complete productketen van lpg en rapporteert de resultaten van een analyse van ongevallen tijdens verlading. Het gaat om 33 incidenten die hebben plaatsgevonden tussen 1951 en 1998, vooral afkomstig uit de ARIA-database van het Franse ministerie van Milieu. Veel van de incidenten vonden

plaats tijdens het transport van lpg per trein of vrachtwagen. Voor 43% van de incidenten kon de oorzaak niet worden achterhaald. Daarnaast zijn menselijke fouten voor 12% de oorzaak van het vrijkomen van lpg. Voorbeelden zijn wegrijden van de tankauto terwijl de losslang nog aangekoppeld is of openen van een verkeerde buis of afsluiter. Het onderzoek stuurt aan op het nemen van de volgende technische maatregelen voor stationaire installaties: betere vulslangen, installeren van terugslagkleppen en een losbreekkoppeling.

Onderzoek naar faalfrequenties door Taylor

In zijn rapport over faalfrequenties beschrijft Taylor scenario's die kunnen leiden tot het falen van een lpg-opslaginstallatie [TAY 03]. Volgens hem is een LoC als gevolg van technisch falen van stationaire lpg-drukvaten zeldzaam als er geen fouten worden gemaakt tijdens de constructie of de inspectie. Veel vaker faalt een mobiel vat (tankauto). Phillips en Warwick hebben in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw een gezaghebbende studie verricht naar het falen van drukvaten [SPD 68]. Volgens Taylor is dit onderzoek gedateerd en misschien niet meer toepasbaar voor het huidige ontwerp van tanks. *'There is a widely held view among engineers that modern pressure vessels have lower failure rates than those determined by Phillips and Warwick, but there is at present too little statistical evidence to prove beyond doubt that this view is correct'* [TAY 03]. Als reden geeft hij aan dat veel van de door hen aangewezen faaloorzaken niet meer aan de orde zijn door het toepassen van modern ontwerp en beter materiaal. Hij geeft aan dat lpg-, propaan- en butaanreservoirs tegenwoordig aanvullend zijn beschermd tegen brand door het aanbrengen van isolatiemateriaal of interpen ervan.

Volgens Taylor komt corrosie als oorzaak van een incident weinig meer voor door gebruik van betere materialen. Wel is corrosie het meest te vinden op moeilijk toegankelijke plaatsen, zoals onder isolatiemateriaal. Het grootste risico zit volgens Taylor in de uitvoering van de inspectie. Zo waren 3 van de 92 door hem bestudeerde tanks bij de inspectie domweg over het hoofd gezien. Het lekken van afdichtingen van pompen en kleppen komt relatief vaak voor. Het gaat hier om kleine lekken die kunnen leiden tot een groter incident. Als reactie op een dergelijk klein lek is het van belang om snel de toevoer af te kunnen sluiten.

In zijn studie naar het afleiden van faalfrequenties voor drukvaten gebruikt hij inspectiedata van de US RMP en van ongevalsdata uit MHIDAS. Zijn conclusie over faaloorzaken is dat drukvaten zelden technisch falen en als ze falen het meestal gaat om het falen van pijpen, kleppen en aangesloten instrumenten. Risicoanalyses zouden zich minimaal moeten richten op de kans op overvullen, overdruk en hier irrelevante 'run-away-reactions', en op de kans dat een operator faalt of een inspectie niet goed wordt uitgevoerd.

Falen van het opslagreservoir

Veel lekken worden volgens Pandey [PAN 05] veroorzaakt door kleine scheurtjes. Onderzoek naar kleine scheurtjes in de lasnaden van een 'standaard' Horton bolvormige tank⁵ leert dat ze vooral te vinden zijn naast de lasnaad in de zogeheten 'Heat Affected Zone' van het metaal. Dit metaal krijgt een andere structuur, wordt harder en vertoont van binnenuit eerder scheurtjes. Dit is onderzocht met onder andere elektronenmicroscopie. De auteurs stellen dat deze scheurtjes voorkomen kunnen worden door een betere lasprocedure die ervoor zorgt dat er zo min mogelijk waterstof in het metaal terecht komt en door het gebruik van staal met een lager koolstofgehalte.

Volgens Taylor gebeurt het zelden dat kleine scheurtjes in opslagtanks zich verder ontwikkelen tot een klein lek of het scheuren van de tank. Als een klein scheurtje zich toch verder ontwikkelt, is het

⁵ Dit is een handelsmerk van een type sferisch drukvat van CB&I. *CB&I is Founded by Horace E. Horton. In 1923, CB&I constructs its first Hortonsphere®, a spherical pressure vessel for the storage of volatile liquids and gases.* <http://www.cbi.com/about/history.aspx>

waarschijnlijker dat er eerst een lek ontstaat voor het reservoir compleet faalt. Tijdens een lek kan dan al actie worden ondernomen. Bij opslagtanks met een dunne wand zou dit eerder kunnen gebeuren dan bij opslagtanks met een dikkere wand. Er kunnen ook scheurtjes ontstaan door het verkeerd vullen van een tank (verkeerde stof, te koude stof, overvullen). Volgens Taylor gebeurt dit zelden, maar hierop moet natuurlijk wel gecontroleerd worden. Later in zijn rapport merkt Taylor op dat voor opslagtanks overvullen wel een belangrijke faaloorzaak is. Een verhoogde inspectie op scheurtjes zou de faalfrequentie van de tank kunnen reduceren aangezien ze de oorzaak van veel lekken zouden zijn. In het artikel van Rodante wordt een opslaglocatie beschreven na een groot lpg-ongeluk in India, in 1997, waarbij een flinke wolkbrand heeft plaatsgevonden [ROD 03]. De opslaginstallatie was verwoest maar de opslagtank zelf niet.

Brand- en explosierisico's in kaart gebracht met foutenboomanalyse

Manju Mittal gebruikt een foutenboomanalyse om brand- en explosierisico's bij lpg-bollen in kaart te brengen [MIT 00]. Hij past de analyse toe op een als voorbeeldinstallatie gedefinieerde lpg-opslagbol. De scenario's die meest waarschijnlijk kunnen leiden tot dodelijke slachtoffers, zijn:

- een klein lek dat wordt ontstoken vlak bij de lpg-bol;
- een groot lek dat leidt tot een brand of een Unconfined Vapour Cloud Explosion;
- brand in de buurt van de bol die leidt tot het falen van de bol gevolgd door een BLEVE.

Hij beveelt aan om deze risico's te beperken door in te spelen op het voorkomen en beperken van (de effecten van) een brand en explosies. Voorbeelden zijn het nemen van ruimtelijke maatregelen (afstand houden) en maatregelen die ervoor moeten zorgen dat ook tijdens een calamiteit veiligheidsvoorzieningen bereikbaar blijven. Enkele van deze maatregelen zijn:

- zorgen dat het gelekte gas, met een hogere dichtheid dan lucht, zich niet ophoopt in laag gelegen gebied nabij het opslagreservoir;
- zorgen dat er bij een lek geen lpg-plas ontstaat onder de tank zodat de bol niet direct wordt aangestraald door een plasbrand;
- zorgen dat bij een brand de (veiligheids)kleppen van de lpg-installatie en de kleppen van de sprinklerinstallatie bereikbaar blijven door bijvoorbeeld een hittewerend schild te plaatsen;
- algemene technische maatregelen om de betrouwbaarheid van de gehele installatie te verhogen (hogere betrouwbaarheid van kleppen, hittewerende coating, overdrukkleppen, sprinkler);
- plaatsen van een explosiebestendige muur rond gebouwen in de buurt van de lpg-opslag;
- kantoren op voldoende afstand positioneren van de lpg-opslag.

In het artikel wordt er bewust geen uitspraak gedaan over de frequenties van deze scenario's en de mogelijke uitstroomhoeveelheden. Er is een foutenboom opgesteld van een hypothetische opslag. In werkelijkheid bepalen meer aspecten de faalfrequentie dan die genoemd door Manju Mittal. Hij beveelt de lpg-industrie dan ook aan om deze analyse zelf uit te voeren voor hun specifieke situatie en beweert niet dat de gegeven aanbevelingen altijd passend zijn.

Deskundigen uit de praktijk over faaloorzaken

Bij een gesprek met medewerkers van een Nederlands constructiebedrijf dat onder meer lpg-bollen bouwt (Bijlage 3), kwam naar voren dat de grootste kans op het falen van de opslagbol zich voordoet bij het foutief legen van de tank tijdens de periodieke watertest. De opslagbol kan slecht tegen negatieve druk die kan ontstaan bij het foutief leeg laten lopen. Daarnaast is de ervaring dat er relatief vaak problemen zijn bij de hechting van de opslagbol aan zijn poten. Corrosie, weersinvloeden en verkeerde aanhechting zijn hiervan de oorzaak.

De bollen zelf gaan lang mee (30 jaar) en worden niet vervangen. Geplaatste orders zijn altijd voor nieuw te bouwen installaties. De bouwvoorschriften zijn afgeleid uit de Pressure Equipment Directive van de EU (PED-richtlijn) en verschillen nauwelijks met die van de oudere 'Regels voor Toestellen onder Druk'.

5.3 Analyse van incidentbeschrijvingen

Om inzicht te krijgen in de faaloorzaken van incidenten met grote lpg-opslagen, zijn beschrijvingen van incidenten verzameld en geanalyseerd. Hiermee is geprobeerd inzicht te krijgen in welk technisch onderdeel van een lpg-opslaginstallatie het eerste faalt en zo het eerste lek vormt (eerste LoC). Hiervoor is het van belang om voldoende bruikbare *incidentbeschrijvingen* te hebben en een geschikte *indeliingsstructuur* om de incidenten te analyseren

5.3.1 Gebruikte incidentbeschrijvingen

Incidentbeschrijvingen zijn gezocht met de zoektermen ‘lpg’, ‘propaan’, ‘butaan’ en ‘stationaire opslag vanaf 100 m³’. Alleen incidenten die in of na 1970 hebben plaatsgevonden, zijn gebruikt. Hoofdzakelijk is er gebruikgemaakt van de incidentbeschrijvingen uit de HINT-journaals en de FACTS-database van TNO (Bijlage 5). Veel beschrijvingen verhalen over het verloop van het incident zonder te vermelden waar het eerste lek is ontstaan, mogelijk omdat dat ook niet bekend is.

5.3.2 Incident indeliingsstructuur

We hebben een structuur opgezet voor de indeling van incidenten met lpg-opslaginstallaties (Figuur 4, 5 en Bijlage 6), die is toegelicht in Bijlage 7. Deze bijlage behandelt ook de consequenties van de gekozen systeemgrenzen (zie paragraaf 3.1).

Met deze indeliingsstructuur moet duidelijk worden welk onderdeel van een lpg-opslaginstallatie het eerste faalt en zo het eerste lek vormt (eerste LoC). Daarnaast is het mogelijk om faaloorzaken als fouten van mensen en (bijzondere) omgevingsfactoren aan te wijzen.

De gebruikte incidentbeschrijvingen zijn soms situaties die hadden kunnen leiden tot een LoC, maar waarbij dat uiteindelijk niet is gebeurd; bijna-ongevallen dus. Ze staan wel in de indeliingsstructuur, maar het ongevalspad eindigt in het blok nummer 120 van Figuur 5: *Niets vrijgekomen*.

Welke onderdelen nog behoren tot de opslaginstallatie is een punt van discussie. In dit onderzoek beschouwen we de lpg-opslaginstallatie zoals gedefinieerd in paragraaf 3.1: het opslagreservoir, aangesloten leidingen (tot aan de eerste gesloten (snel)afsluiters), meetapparatuur, kleppen en de ondersteuning van dit geheel.

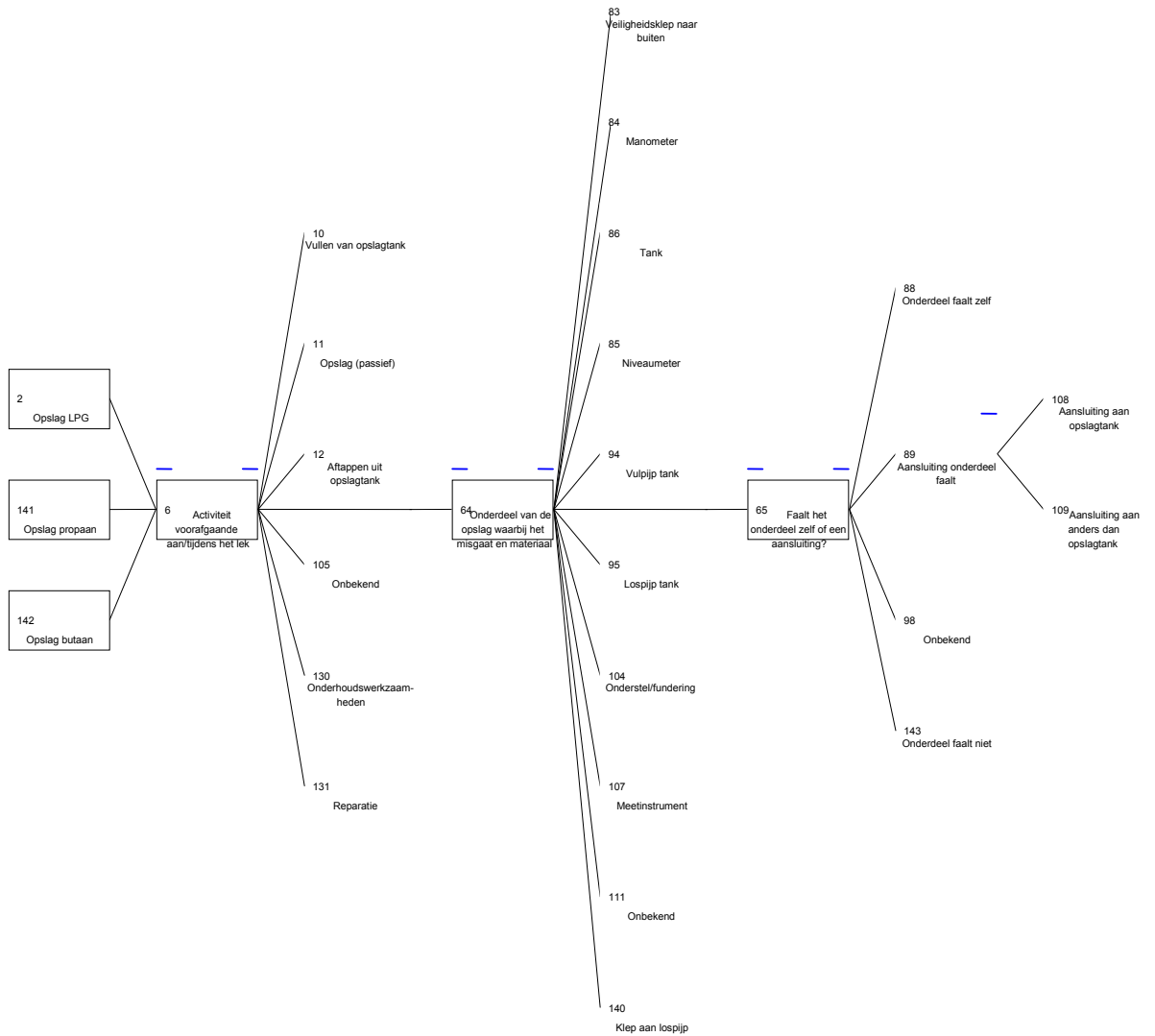
De gebruikte structuur is ontworpen met het programma StoryBuilder en is geïnspireerd op MLD [PAP 03], Sub-bowtie 15.1 [BAK 05], generieke faaloorzaken uit het RIB [RIB 99] en verschillende incidentbeschrijvingen.

5.3.3 Resultaten

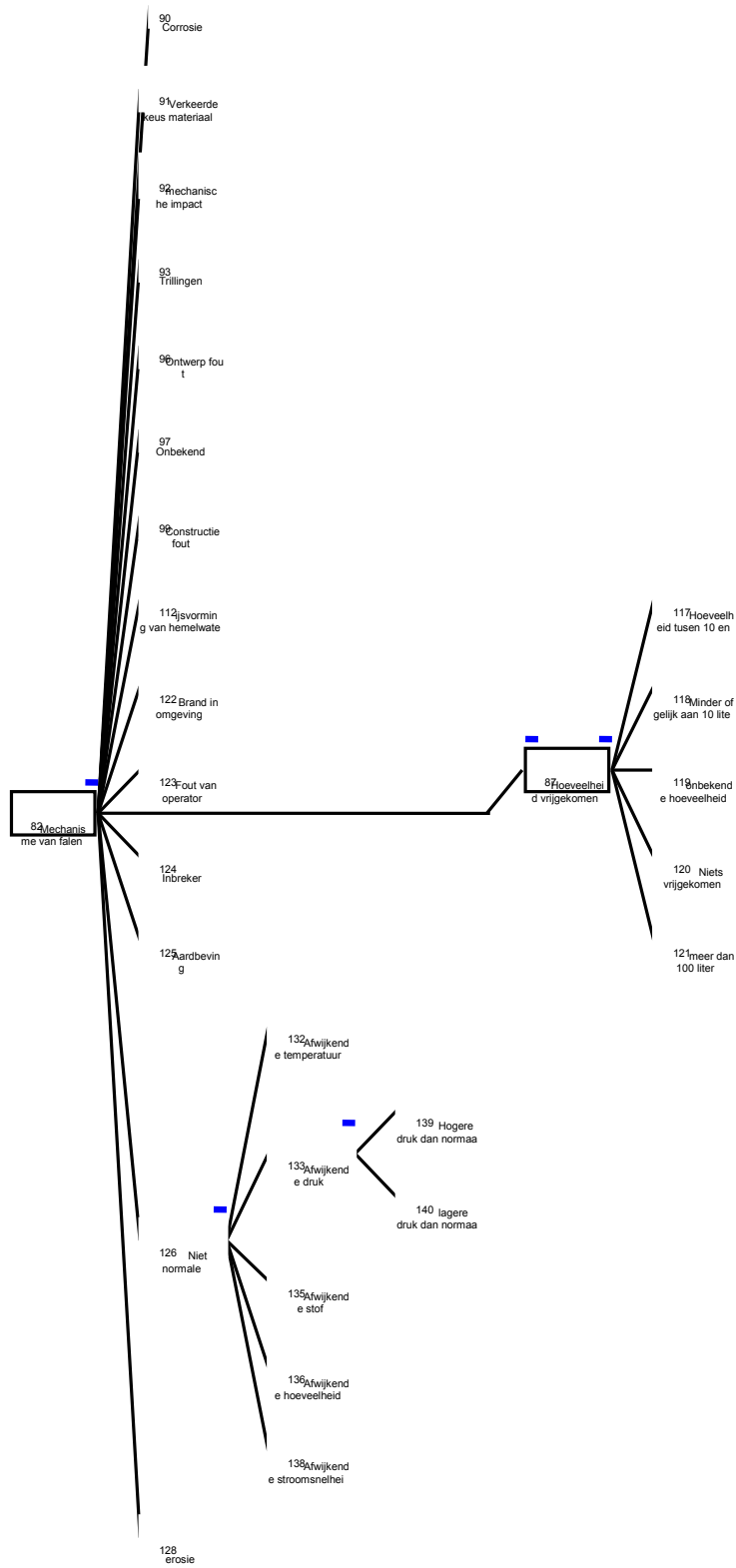
Voor een beter overzicht is de indeliingsstructuur opgesplitst in de Figuren 4 en 5. In de met een stippellijn omkaderde blokjes staat het aantal keren dat een incidentpad door een systeemblok loopt (zie ook Bijlage 8 (*Resultaten incidentanalyse*)). Voor een beter overzicht is niet het netwerk van alle incidentpaden weergegeven. Het totale incidentpad per incidentbeschrijving is wel terug te vinden in Bijlage 8.

Merk op dat 22 incidentpaden in Figuur 4 door blok 64 gaan: ‘onderdeel van de opslag waarbij het misgaat en materiaal vrijkomt’. De som van het aantal doorkruisingen van de daaropvolgende blokken

is 24, en dus groter dan 22. Dit komt omdat in sommige incidenten meer dan één onderdeel heeft gefaald.



Figuur 4 Resultaten incidentanalyse weergegeven in indelingsstructuur – deel I.



Figuur 5 Resultaten incidentanalyse weergegeven in indelingsstructuur – deel II.

Algemeen

Uiteindelijk gebruikten we beschrijvingen van 22 incidenten voor deze analyse. Daarbij nemen we aan deze deze incidenten representatief zijn voor de opslag van lpg. Een ‘gemiddeld’ incidentpad laat zien dat meestal de oorzaak en omstandigheden niet goed beschreven zijn.

Een ‘gemiddeld’ incidentpad is een pad dat kan worden getekend door de meest doorkruiste blokken van ieder hoofdblok. Bij dit gemiddelde incidentpad zou de volgende beschrijving passen:

- Een incident bij een opslag van lpg.
- Activiteit voorafgaande aan/tijdens het lek is **onbekend**.
- Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat en materiaal vrijkomt is **onbekend**.
- Het is **onbekend** of het onderdeel zelf faalt of een aansluiting.
- Mechanisme van falen is **onbekend** en de hoeveelheid vrijgekomen stof is **meer dan 100 liter** (Blok nummers 2, 6, 105, 64, 111, 65, 98, 82, 97, 87 en 121).

Specifieke analyse

Ondanks het veelvuldig ‘onbekend’ zijn van gegevens, zijn er toch verschillende trends waar te nemen in de analyse. In de volgorde van de indelingsstructuur zijn dit:

Opgeslagen stoffen

Van de 22 gebruikte incidentbeschrijvingen ging het in dertien gevallen om de opslag van lpg, in acht gevallen om een opslag voor propaan en één maal om butaan.

Activiteiten

Van vijf incidenten is bekend dat ze zich voordeden tijdens het vullen van de tank. Bij al deze incidenten is er daadwerkelijk lpg vrijgekomen en zijn de faalmechanismen en de onderdelen die falen allemaal verschillend.

Onderdelen die falen

Bij vijf incidenten ontstond het eerste lek bij de veiligheidsklep naar buiten. Bij twee ervan is de veiligheidsklep correct aangesproken door brand in de omgeving. Bij twee van de overige drie faalde het onderdeel zelf⁶. Bij één incident is de faaloorzaak van de veiligheidsklep onbekend, bij de andere was het omdat er propaan in de opslag zat en niet butaan, waarvoor de opslag was bedoeld, en omdat onderhoud aan de drukveiligheidsklep twee jaar daarvoor verkeerd was uitgevoerd.

Is het falende onderdeel bekend, dan blijkt dat het onderdeel zelf net zo vaak faalt (vier maal) als een aansluiting van het onderdeel (vijfmaal). Bij het falen van het onderdeel zelf gaat het om (veiligheids)kleppen en meetinstrumenten (algemeen). Bij het falen van een aansluiting gaat het om de aansluiting met de vul- en losleiding, de manometer en de fundering of het onderstel.

Mechanismen van falen

Zeven incidentpaden lopen door het blok *brand in de omgeving*. Een nadere analyse van deze zeven ongevalspaden in combinatie met de informatie uit de incidentbeschrijvingen levert de volgende resultaten op. Bij drie ervan kwam geen materiaal vrij (bijna ongeluk). In twee van de zeven gevallen is de veiligheidsklep naar buiten correct aangesproken. In twee van de zeven incidenten verlopen de incidentpaden beide totaal verschillend.

Hoeveelheid stof

In 14 van de 22 ongevallen is meer dan 100 liter vrijgekomen.

Drie incidentpaden lopen door blok 123 ‘fout van operator’ waarmee we een menselijke fout bedoelen. Het verloop van deze drie paden is verder compleet verschillend, zoals het vullen van het reservoir met een andere stof dan waar de opslag voor is bedoeld, een botsing en een verkeerde materiaalkeuze bij een reparatie.

⁶ Deze informatie staat in de incidentbeschrijving.

5.4 Conclusies

Slechts een gering aantal incidentbeschrijvingen is bruikbaar. Uit de 22 gebruikte incidenten kunnen weinig conclusies worden getrokken omdat de incidentpaden onderling zeer divers zijn en veel onvermeld blijft, mogelijk omdat het onbekend is.

Negen incidenten hebben iets te maken met de onderdelen lospijp, vulpijp of veiligheidsklep naar buiten waarbij tweemaal de veiligheidsklep niet heeft gefaald maar correct heeft afgeblazen. Een onderdeel dat nauwelijks lijkt te falen is het metalen opslagreservoir. Tot nu toe is er één incidentbeschrijving gevonden waarbij het opslagvat zelf als eerste faalt en er lpg vrijkwam: in Italië faalde in 1997 [DEM 04] een lasnaad aan de onderkant van een propaanopslag nadat gedurende 15 minuten een 'jetfire' uit een te dichtbij opgestelde lpg-tankwagen de onderkant van de opslagtank had verwarmd. Door het toepassen van interne veiligheidsafstanden zou dit nu niet meer kunnen gebeuren.

Het ongevalspad doorkruist zeven maal het blok 'brand in de omgeving'. Bij deze incidenten zorgde een externe brand voor een bedreigende situatie voor de opslaginstallatie. Manju Mittal [MIT 00] concludeert uit zijn analyse dat een brand in de omgeving een belangrijk scenario is dat kan leiden tot dodelijke slachtoffers. Taylor stelt echter [TAY 03] dat het tegenwoordig al gebruikelijk is om extra maatregelen te nemen ter bescherming van de opslagtank tegen een externe brand.

Het lekken van afdichtingen van pompen en kleppen komt relatief vaak voor [TAY 03]. Het gaat om kleine lekken die zouden kunnen leiden tot een groter incident. De resultaten uit onze incidentanalyse onderschrijven dit niet. Bij twee uit 22 incidentbeschrijvingen heeft een veiligheidsklep technisch gefaald. Bij het falen van een klep is niet gekeken naar het onderdeel van de klep dat faalde. Pompen behoorden niet tot de opslaginstallatie zoals gedefinieerd voor dit onderzoek. Daarnaast is het de vraag of kleine lekjes, die waarschijnlijk direct worden gerepareerd, wel worden opgenomen in een incidenten database.

Uit de literatuur en uit de gesprekken met bouwers van lpg-opslaginstallaties komt vaak naar voren dat vooral laden en lossen, en het inspectieregime de veiligheid van de opslaginstallatie bepalen. Bij inspecties blijkt dat nogal eens zaken over het hoofd worden gezien, zoals moeilijk toegankelijke onderdelen of domweg een complete opslaginstallatie. Taylor beweert dat de kans op falen van een druktank daalt bij frequentere controle op kleine scheurtjes. De zeldzame lekken zouden voornamelijk het gevolg zijn van ontwikkelde scheurtjes. De hier gebruikte methoden richten zich niet op het mogelijk falen van een inspectieregime maar vooral op de betrouwbaarheid van de opslaginstallatie zelf. Voor 7 van de 22 incidenten is bekend dat er laad- en losactiviteiten plaatsvonden tijdens en/of voorafgaande aan het eerste lek en dat brand in de omgeving heeft geleid tot deze 7 incidenten. Voor 10 van de 22 ongevallen was de activiteit voorafgaand aan het lek onbekend.

Algemene conclusie

Het falen van een stationaire opslaginstallatie met grote gevolgen is zeldzaam. Een eerste lek ontstaat meestal niet in de opslagtank zelf maar bij onderdelen aan de opslagtank. De gebruikers en het inspectieregime bepalen in hoge mate de veiligheid. Een hogere kans op incidenten lijkt op te treden tijdens laad- en losactiviteiten. Een externe brand in de omgeving van een opslaginstallatie blijkt een relatief vaak voorkomende bedreiging te zijn.

6 Toepassing methodiek

Hoofdstuk 2 schetste in vier stappen een protocol voor het beoordelen van veiligheidsmaatregelen. Dit gebeurt aan de hand van een voorbeeld, namelijk de technische maatregel ‘het aanbrengen van een hittewerend schild’. In de hoofdstukken 3 tot en met 5 is voor het voorbeeld van een lpg-opslagbol aangegeven welke informatie voor het beoordelen van deze maatregel beschikbaar is.

De vergelijking van de vier stappen uit het protocol met de beschikbare informatie voor de technische maatregel ‘het aanbrengen van een hittewerend schild’ maken we hierna.

Stap 1 Bepaal of een maatregel behoort tot de huidige stand der techniek

Hoofdstuk 3 beschrijft de stand der techniek voor een lpg-opslagbol. Het biedt voldoende informatie om te beoordelen of een maatregel aanvullend is dan wel behoort tot de stand der techniek. Een hittewerend schild behoort niet tot de stand der techniek en is dus een aanvullende maatregel.

Stap 2 Bepaal op welk faaloorzaak de technische maatregel invloed heeft

Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van faaloorzaken op basis van generieke overzichten van oorzaken en de analyse van een aantal ongevallen. Het biedt voldoende informatie om te beoordelen op welke faaloorzaken een hittewerend schild invloed heeft. Wanneer wij de indeling van faaloorzaken uit de richtlijn PGS-6 aanhouden, dan is een hittewerend schild van invloed op de faaloorzaak ‘hoge temperatuur’ en niet op andere faaloorzaken. De basis faaloorzaak ‘hoge temperatuur’ kent meerdere onderliggende oorzaken, zoals externe brand en exotherme reactie. Bij een opslag van lpg zal alleen een externe brand ten grondslag liggen aan de faaloorzaak ‘hoge temperatuur’.

Stap 3 Bepaal de grootte van de invloed van een hittewerend schild op die faaloorzaak

Voor het bepalen van de invloed van een hittewerend schild is aanvullende informatie nodig over de uitvoering ervan, zoals het deel van de bol dat het afgeschermt. Uit deze aanvullende informatie kunnen dan bijvoorbeeld de volgende conclusies worden getrokken:

- het hittewerende schild vertraagt de opwarming door een plasbrand met een factor X;
- het hittewerende schild beïnvloedt de warmtebelasting door een fakkelbrand niet.

Om de grootte van de invloed van het hittewerende schild op de faaloorzaak ‘hoge temperatuur door externe brand’ (kwantitatief) te bepalen, is de volgende informatie nodig:

- De kans dat een hittewerend schild niet werkt door bijvoorbeeld constructiefouten of gebrekkig onderhoud. Dit is vermoedelijk niet uit de casuïstiek te halen, zodat aannames moeten worden gedaan. Zo kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een vaste minimum faalkans van 0,1 ongeacht de maatregel.
- De vertaling van een langere opwarming van de lpg-opslagbol naar een kansreductie. Deze vertaling hangt samen met aannames over de effectiviteit van het ingrijpen van de brandweer. Hierbij is bepalend wanneer ingrijpen van de brandweer wel of niet meegenomen kan worden in een QRA-berekening.
- De verdeling tussen falen door een brand onder de tank, waartegen een hittewerende schild beschermt, en falen door bijvoorbeeld een fakkel op het niet afgeschermd deel van de tank. Deze informatie is alleen met grote onnauwkeurigheid uit de faaldata te herleiden.

Stap 4 Bepaal de invloed van een hittewerend schild op de totale faalkans

Om de invloed van het hittewerende schild op de totale faalkans te bepalen moet de relatieve bijdrage van de oorzaak ‘hoge temperatuur door externe brand’ in de totale faalkans bekend zijn. Deze is alleen met grote onnauwkeurigheid uit de faaldata te herleiden: uit de ongevalbeschrijvingen blijkt dat 7 van de 22 ongevallen zijn gerelateerd aan brand. Dit zijn echter niet allemaal ongevallen die relevant zijn

voor de externe veiligheid. De verdeling van faaloorzaken kan anders zijn voor kleine ongevallen, die vaker voorkomen, dan voor grote ongevallen, die de externe veiligheid bepalen. Ook is de verdeling van faaloorzaken voor de huidige set van faalfrequenties niet bekend.

De vergelijking van de stappen uit het protocol met de beschikbare informatie voor de technische maatregel ‘het aanbrengen van een hittewerend schild’ laat zien dat voor de opslag van lpg er wel voldoende informatie beschikbaar is om te bepalen of een maatregel aanvullend is op de stand der techniek en op welke faaloorzaak een maatregel inwerkt. Maar de informatie om de invloed van een maatregel op een *betrouwbare* wijze te vertalen naar een gereduceerde faalkans, ontbreekt. Bij het ontbreken van betrouwbare data uit de ongevalbeschrijvingen en de literatuur kan een gestructureerd expert-judgement proces leiden tot een betrouwbare inschatting van de invloed van faaloorzaken. Deze methode is niet toegepast in dit onderzoek.

7 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het onderzoek was een protocol te ontwikkelen waarmee veiligheidsmaatregelen op een eenduidige, transparante en robuuste wijze kunnen worden gewaardeerd en vervolgens kunnen worden vertaald naar de kwantitatieve risicoanalyse. Wij hebben een eenduidig en transparant protocol ontwikkeld dat in dit rapport is gepresenteerd. Aan de hand van een voorbeeldsysteem, namelijk de opslag van lpg onder druk in bollen, is dit protocol verder uitgewerkt. We gingen na in hoeverre de vereiste informatie beschikbaar en bruikbaar is voor toepassing van dit protocol. De volgende elementen zijn hierbij van belang en beschouwd: stand der techniek van technische voorzieningen, waardering van organisatorische voorzieningen (zijnde het VBS), mogelijke faaloorzaken en faalkansen.

Hierover concluderen wij voor het voorbeeldsysteem het volgende:

- Er is een duidelijk inzicht in de stand der techniek. In Nederland en Engeland worden min of meer vergelijkbare technische eisen gesteld aan het ontwerp, de constructie, het gebruik en de inspectie van de lpg-opslagtanks. De onderzochte lpg-opslagen in Nederland zijn conform de richtlijn PGS-18 voorzien van technische veiligheidsvoorzieningen. Ook is de stand der techniek de afgelopen decennia niet wezenlijk veranderd.
- Het is momenteel nog niet mogelijk om de invloed van organisatorische voorzieningen, zoals een veiligheidsbeheerssysteem, in een bedrijf op een eenduidige en transparante wijze te beoordelen. Weliswaar bestaan er vele methodieken om dergelijke voorzieningen of maatregelen kwalitatief te beoordelen, maar een eenduidige (kwantitatieve) vertaling ervan naar de invloed op de resultaten van een QRA voor de ruimtelijke ordening is nog niet mogelijk. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.
- De relatieve bijdrage van verschillende faaloorzaken kan op basis van de ongevalbeschrijvingen niet betrouwbaar worden ingeschat. Daarom is het vooralsnog niet mogelijk de invloed van een maatregel goed te vertalen naar een reductie in de faalkans.

Het onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Om de methodiek verder uit te werken kunnen andere, meer gedocumenteerde systemen worden gebruikt. Het groter aantal ongevallen met atmosferische opslagtanks biedt waarschijnlijk voldoende informatie over mogelijke faaloorzaken. Daarmee kan een betere, kwantitatieve indeling gemaakt worden naar de faaloorzaken. Wij bevelen aan om voor de opslag van brandbare vloeistoffen te onderzoeken of er voldoende informatie is om het protocol met voldoende betrouwbaarheid te doorlopen.
- Bij het ontbreken van voldoende kwantitatieve informatie dient bepaald te worden of toch betrouwbare uitspraken over maatregelen gedaan kunnen worden. Wij bevelen aan om na te gaan of gestructureerde expertbeoordelingen hiervoor mogelijkheden bieden.
- Gestructureerde studies naar faaloorzaken en maatregelen, zoals foutenbomen, HAZOP en LOPA bieden mogelijk inzicht in het relatief belang van een faaloorzaak. Deze technieken worden standaard toegepast bij het ontwerp van een installatie en het gebruik hiervan sluit goed aan bij de praktijk. Wij bevelen aan om na te gaan wanneer het gebruik van deze methodes inzicht kan geven in faaloorzaken.
- Voor het beoordelen van de invloed van een VBS op het falen, moet conform het protocol een representatief VBS voor de huidige stand der techniek worden opgesteld. Wij bevelen aan om na te gaan of de Nieuwe Inspectie Methodiek (NIM) hiervoor kan dienst doen.
- Een aantal fundamentele aspecten van het protocol is nog niet verder onderzocht, zoals de betrouwbaarheid nodig voor het accepteren van een lagere faalfrequentie en het toepassen van een ondergrens aan de reductie in faalfrequentie. Wij bevelen aan om in een studie naar atmosferische opslagtanks hierover een standpunt in te nemen.

- De beoordelingsmethode kan worden verbeterd wanneer er beter inzicht is in de achtergrond van de standaard faalfrequenties. Wanneer deze informatie beschikbaar is, verdient het aanbeveling na te gaan of ze verdisconteerd kan worden in de beoordelingsmethode.

Lijst van afkortingen

AKI	Aangewezen Keuringsinstantie
API	American Petroleum Institute
ATEX	Atmosphère EXplosible
AVRIM	ArbeidsVeiligheidsRapportage InspectieMethodiek
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
BRZO	Besluit Risico Zware Ongevallen
DN	Diameter Nominal (mm)
HAZOP	HAZard and Operability
HSL	Health & Safety Laboratory (UK)
LoC	Loss of Containment
LoD	Line of Defence
LOPA	Layer Of Protection Analysis
LPG	Liquified Petroleum Gas
MLD	Master Logic Diagram
NEN	Nederlandse Norm
NIM	Nieuwe Inspectie Methodiek
NTA	Nederlandse Technische Afspraak
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PBZO	PreventieBeleid Zware Ongevallen
PED	Pressure Equipment Directive
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PRV	Pressure Relief Valve
QRA	Quantitative Risk Assessment
RIB	Rapport Informatie-eisen BRZO'99
VBS	Veiligheidsbeheersysteem
VMS	Veiligheidsmanagementsysteem
VR	VeiligheidsRapport
WORM	Work Occupational Risk Model

Literatuur

- AGS 06 2006. LPG en propaan: opslag en gebruik. Den Haag: Adviesraad Gevaarlijke Stoffen.
- AOI 05 2005. J. Kamperveen. Opzet van en auditinstrument voor het VBS. Interne TNO-notitie van 27 oktober 2005. Apeldoorn: TNO.
- API 00 2000. Risk-Based Inspection. Base Resource Document. American Petroleum Institute (USA).
- BAK 05 2005. H. Baksteen et al. Scenario & Bowtie Modelling Bowtie 15 “Release of a hazardous substance out of a closed containment” Developed for Ministry of SzW. Report: 051201_WP5_Bowtie_15_LOC Closed Containment_HB&MM&MS_Rev2_H.doc 2005.
- BRZO 99 1999. Besluit Risico Zware Ongevallen. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 234, jaargang 1999.
- CoP 99 1999. Code of Practice No.1. Bulk LPG Storage at Fixed Installations. Part 4: 1999 Buried / Mounded LPG Storage Vessels. London (UK): LP Gas Association.
- CoP 04 2004. Code of Practice 1. Bulk LPG Storage at Fixed Installations. Part 1: Design, Installation and Operation of Vessel Located above Ground. London (UK): LP Gas Association.
- CoP 06 2006. Code of Practice 1. Bulk LPG Storage at Fixed Installations. Part 3: 2006 Examination and Inspection. London (UK): LP Gas Association.
- DEM 04 2004. M. Demichela, N. Piccinini, A. Poggio A. Analysis of an lpg accidental release. Process Safety and Environmental Protection; 82(B2): pp. 128-131.
- HKA 04 HANDBOEK KANSCIJFERS voor het opstellen van een VEILIGHEIDSRAPPORT. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap AMINAL, 1/10/2004.
- HOF 06 2006. Colombo et al. The systematic integration of Human & Organizational Factors into safety analyses. Safety and reliability for managing risk.
- HRB 07 Handleiding Risicoberekeningen Bevi versie 2.1, 2007.
- HSE 06 2006. Development of a working model of how human factors, safety management systems and wider organization issues fit together. White Queen Safety Strategies & Environmental Resources Management. London (UK): 2006.
- HSL 03 2003. A. Collins et. al. Loss of Containment Incident Analysis. Health & Safety Laboratory. United Kingdom
- IRISK 02 2002. B. Ale et. al. Technical modeling in integrated risk assessment of chemical installations. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15(6). pp 545-554.
- LPGI 83A 1983. LPG Integraal. Opslag en overslag van LPG op raffinaderij of terminal (1121). Apeldoorn: TNO.
- LPGI 83B 1983. LPG Integraal. Opslag en overslag van LPG op depot (1122). Apeldoorn: TNO.

LNE 06	2006. E-mail van de heer M. Bogaerts van de dienst VR van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, d.d. 13 december 2006.
LPSP 98	1998. J.F.J. van Steen. On the measurement of safety performance. 8th Int. Symposium on Loss Prevention and Safety Performance.
MHC 06	2006. Incidentenrapportage 1/10/04 t/m 31/12/05. Arbeidsinspectie MHC. Juli 2005.
MHC 04	2004. Projectrapport MOOIS. Arbeidsinspectie MHC. Januari 2004.
MHC 03	2003. Beknopte analyse van incidenten in de chemische industrie. Arbeidsinspectie MHC. Juli 2003.
MIT 00	2000. M. Mital. Risk Analysis for LPG Storage Using Fault Tree. Chemical Industry Digest; pp. 90-100.
MOP 00	2000. N. Stijger et al. Methode Optimale Ploegmethode. Apeldoorn: TNO.
MR 05	2005 Maintenance Report Oktober 2005.
NTA 06	2006. Nederlandse Technische Afspraak NTA 8620. Specificatie van een veiligheidsmanagementsysteem voor risico's van zware ongevallen. Delft: NEN.
PAN 05	2005. R.K. Pandey. Analysis of cracking in lpg horton spherical vessel. Engineering Failure Analysis; 12(3). pp. 376-386.
PAP 03	2003. I.A. Papazoglou, O.N. Aneziris. Master Logic Diagram: method for hazard and initiating event identification in process plants. Journal of Hazardous Materials; A97: pp. 11-30.
PET 06	2006. C. Pietersen. Explosie BP raffinaderij is belangrijke les. Petrochem. 10 oktober 2006.
PGS-6 06	2006. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 6. Aanwijzingen voor implementatie van BRZO 1999. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.
PGS-3 99	1999. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Guidelines for quantitative risk assessment. Den Haag: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. CPR 18.
PGS-18 91	1991. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 18. Distributiedepots voor LPG. Den Haag: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. CPR 8-3.
RBV 07	2007. Richtlijnenboek voor veiligheidsrapportage. België. Website: http://www.mina.be/vr.html .
RESS 05	2005. C. Delvosalle. Reliability Engineering and System Safety 90.
RIB 99	1999. Rapport Informatie-eisen BRZO'99. Den Haag: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. CPR 20.
ROD 03	2003. T.V. Rodante. Analysis of an lpg explosion and fire. Process Safety Progress 2003; 22(3). pp. 174-181.
SAR 06	2006. G. Maschio et al. Influence of measures of risk prevention and mitigation on the frequencies of rapture of pipework. Safety and Reliability for managing risk.
SBA 05A	2005. F. Guldenmund et al. Scenariogestuurd auditen in BRZO-bedrijven. Nederland: NVVK Congres 2005.
SBA 05B	2005. J. Gort, J.A. Reinders. Een geïntegreerde bedrijfsveiligheidsanalyse voor bedrijven met procesinstallaties. Nederland: NVVK Info 2005.
SOR 05	2005. Technische voorzieningen in QRA. projectnummer S/620250. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

SPAL 00	2000. M. Caumont et al. Safety Provisions and LPG. IchemE SYMPOSIUM series No. 147, Hazards XV. pp 605-618.
SPD 68	1968. C.A.G. Phillips and R.G.A. Warwick. Survey of defects in Pressure Vessels. AHSB(s) R162, UKAEA.
TAY 03	2003. J.R. Taylor. Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant 2003. CONCEPT, VERTROUWELIJK
TNO 06	2006. Mogelijkheden voor audit van VBS. Werkdocument van TNO Apeldoorn.
TOI 04	2004. Trend of Incident. DHV & COT. Oktober 2004.
VR 07	2007. Veiligheidsrapporten van BRZO-bedrijven.
WVO 06	2006. Werkwijzer BRZO, werkwijzer voor overheden. Website: http://www.brzo99.nl .

Bijlage 1 Overzicht technische voorzieningen

Tabel B1 Overzicht van Nederlandse en Engelse normen voor LPG- tanks

<i>Nederland (NL)</i>	<i>Engeland (UK)</i>	<i>Opmerking</i>
Reservoir:		
Materiaalkeuze (minimaal 6 mm dik voor bol): koolstofstaal of gelegeerd staal	Materiaalkeuze: niet gespecificeerd: (BSEN 12542, BSEN 13445, PD 5500 of equivalent)	NL en UK: toestellen moeten voldoen aan EEG-richtlijn Pressure Equipment Directive (PED - regels voor toestellen onder druk)
Aansluitingen		
Materiaalkeuze: niet nader gespecificeerd; moet wel voldoen aan PED	Materiaalkeuze: Kleppen: staal, brons of messing	
Mangot (op hoogste punt dampruimte)		
Minimaal 1 veerbelaste veiligheidsklep op dampruimte. Waarop een verticale afvoerpijp is geplaatst van minimaal 2 meter lengte.	Minimaal 1 veerbelaste (of gelijkwaardige) veiligheidsklep (geen 'Weight loaded relief valves' op vaten > 1500 mm i.d.: minimaal 1,8 m verticale afvoerpijp	UK: Afsluiters zijn toegestaan tussen PRV en tank indien meerdere PRV's aanwezig zijn die voldoende capaciteit garanderen
Handbediende afsluiters (direct op flenzen op dampruimte); niet bij veiligheidskleppen en niveaumeters	Handbediende afsluiters (direct op flenzen op dampruimte); niet bij veiligheidskleppen, niet bij interne afsluiters en niet als toegang tot tank < 1,5 mm en niveaumeters	
Zo dicht mogelijk bij handafsluiters: fire-, fail-safe en op afstand bediende afsluiters (niet bij spui-inrichting en alleen bij tubulure doorsnede groter dan 2 mm ²)	Bij vloeistofleidingwerk > 25 mm diameter met frequente (ont)koppelingen, of bij publieke toegang of bij tankcap >100 ton; externe actuator van handbediende klep is nodig tenzij doorstroombegrenzer of terugslagklep met equivalente protectie aanwezig is of de handbediende klep een 'drain valve' is.	

Doorstroombegrenzer of terugslagklep: binnen in tank op alle aansluitingen met doorlaat > 2 mm ² , met uitzondering van niveaumeter en veiligheidskleppen	Doorstroombegrenzer of terugslagklep of ROSOV op alle aansluitingen met diameter (vloeistof) > 3 mm of diameter (gas) > 8 mm, met uitzondering van PRV. Plaatsing van doorstroombegrenzer of terugslagklep binnen de tank is niet specifiek genoemd.	
Vloeistofniveaumeter moet aanwezig zijn	Vloeistofniveaumeter bij voorkeur aanwezig	
Via vaste binnenpijp: signalering voor operator bij het bereiken van hoog vloeistofniveau (dreigende overschrijding maximaal vulniveau)	Via 'dip tube': maximum niveau meter moet aanwezig zijn of automatische toevoer afsluiter bij bereiken van maximaal vulniveau	
Automatische fail-safe toevoer afsluiting bij bereiken maximaal vulniveau		
Manometer moet aanwezig zijn op dampruimte via afsluiter	Bij tanks met inhoud > 5 m ³ moet een manometer aanwezig zijn op de dampruimte. Bij kleinere tanks moet een voorziening aanwezig zijn om druk te kunnen meten	
Indien thermometer aanwezig is, moet deze de vloeistoftemperatuur meten.	Indien thermometer aanwezig is, moet deze in 'blind pockets' zitten en permanent gelast zijn.	
Aftapaansluiting en vulaansluiting (eventueel gecombineerd) zijn verplicht	Aftap- en vulaansluiting zijn verplicht	
Spui-inrichting moet aan reservoirzijde zijn voorzien van handbediende afsluiter. Spuivat mag minimaal 10 liter en maximaal 25 liter groot zijn. Na spuivat moet een veerbelaste zelfsluitende kogelafsluiter zijn gemonteerd	Drain (spui) moet voorzien zijn van een afsluiter. Uitgang van drain moet een tweede afsluiter bevatten, zodanig dat beide afsluiters door één persoon kunnen worden bediend	
Leidingsysteem		
Materiaalkeuze: staal (volgens PED) en voor buigzame leidingen synthetisch rubber (met staal- of textielinleg) toegestaan. Smeltpunt leidingmateriaal: minimaal 800 °C. Leidingen moeten tegen corrosie zijn beschermd	Materiaalkeuze: moet voldoen aan PED -- --	
Aan het eind van de vulleiding moet een terugslagklep zijn gemonteerd en in dampretourleiding een doorstroombegrenzer	Afsluiters moeten aan het eind van leidingen worden geplaatst, daar waar leidingen gebouwen in gaan. Materiaalkeuze: zie boven	

Indien een manometer op leiding aanwezig is, moet tussen manometer en leiding een afsluiter aanwezig zijn		
In vloeistofleidinggedeelten tussen twee afsluiters moet een ontlastklep aanwezig zijn. Ontlastkleppen moeten in een veilig gebied afblazen	Daar waar vloeistof opgesloten kan raken (bijvoorbeeld tussen 2 afsluiters) moet een ontlastklep (' hydrostatic relief valve ') aanwezig zijn. Ontlastkleppen moeten in een veilig gebied afblazen	
Alleen stalen voorlas flenzen . Flenspakkingen moeten van lpg bestendig materiaal zijn gemaakt	Flenzen moeten zodanig gepositioneerd zijn dat bij wegblazen van de pakking eventuele vlammen niet het drukvat bereiken	
Pomp : moet aan perszijde zijn voorzien van ontlastklep; moet voorzien zijn van overstortklep met afvoer naar reservoir, vanwaar pomp aanzuigt; speciaal worden dompelpompen genoemd (11.14.2)	Pomp : geen gietijzer tenzij dit voldoende elastisch en niet bros is.	
Compressor : er moet een hoge-druk switch-off voorziening zijn; er mag geen vloeistof in de compressor komen. Aan perszijde moet een veiligheidsklep zitten	Compressor : bij voorkeur minimaal 4,5 m van tank, gebouwen of terreingrens. Er moet een hoge-druk switch-off voorziening zijn; er mag geen vloeistof in de compressor komen	

Laad- en losvoorziening		
<p>Tankauto's: Er moeten aanrijdingsbeveiligingen zijn; er moet een vloeistofmeter of weegbrug zijn; er moet wegrijdalarmering of wegrijdbeveiliging zijn</p>	<p>Plaats: zo dicht mogelijk bij tank; maar niet eronder. Als niveau-indicator niet zichtbaar is vanaf vulpunt: speciale voorzorgsmaatregelen nodig om overvullen te voorkomen bijvoorbeeld twee persoonsbediening of op afstand leesbaar systeem</p>	
<p>Spoorketelwagens: Tijdens laden en lossen mag wagen niet kunnen worden verplaatst; bij doodlopend spoor: staat blok aan het eind van het spoor; op voldoende afstand bedienbare bodemafsluiters en railhaken dienen aanwezig te zijn. Er moet een doelmatig weegsysteem aanwezig zijn.</p>	<p>Spoorketelwagens: <i>Overslagpunt:</i> Minimaal 15 m van gebouwen, terreingrens, ontstekingsbronnen en opslagtank; Op separaat terrein van ander railverkeer; Gemorste lpg mag zich niet onder wagon of enig installatiedeel kunnen ophopen (bijvoorbeeld via afvoer, aflopen terrein); Rails waarop wagon staat, moet vlak zijn of hooguit 1 op 400 aflopen; Buffers moeten aan het eind van aflopend deel staan <i>tankwagon:</i> voorzieningen moeten aanwezig zijn zodat deze op geen enkele manier in beweging kan worden gebracht. Dit moet in Permit of Work geregeld zijn. <i>Verdere veiligheidsvoorzieningen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - ROSOVs in loading bay en bij voorkeur op gasleidingen - Handafsluiters voor elke vloeistoflosleiding - Check valves in manifold - Bescherming tegen gevolgen van ongewild wegrijden. <p>Bijzondere aandacht voor overvullen (bijvoorbeeld door weging van wagon en automatische shutdown als ingesteld gewicht bereikt wordt)</p>	
<p>Schip: Voldoende bolders en boeien zodat schip tijdens laden en lossen niet kan bewegen; vloeistofmeter moet er zijn.</p>		

<p>Laad- en losarmen: aan het eind: handbediende afsluiter; bij schepen: een breekkoppeling met daarvoor een op afstandbedienbare snelafsluiter</p>		
<p>Laad- en losslangen: aan het eind: handbediende afsluiter; bij schepen: een breekkoppeling met daarvoor een op afstandbedienbare snelafsluiter</p>	<p>Vul- en losleidingen en dampretourleidingen moeten aan het eind een handbediende afsluiter hebben; het vulslangdeel moet een check-valve of doorstroombegrenzer hebben; alles in een goed geventileerde positie</p>	
<p>Slangkoppelingen: draad- en flenskoppeling toegestaan</p>		
<p>Afblaasvoorziening laad-/losslang: via afblaasinrichting in open lucht, maximaal 1 kg/keer via verticale afvoerpijp op minimaal 3 m boven het maaiveld</p>		
<p>Speciale veiligheidsvoorzieningen / brandbestrijding</p>		
<p>Elektrisch: In ‘gebied A’ moet een gevarezone indeling zijn. Elektrisch materieel moet geschikt zijn voor de zone (ATEX). Tank plus leidingen moeten kathodische bescherming hebben (uitzonderingen mogelijk). In ‘gebied A’ moeten reservoirs en gebouwen geaard zijn tegen blikseminslag.</p>	<p>Elektrisch: voor elektrische apparatuur moet de zonering in acht worden genomen. Er moeten voorzieningen zijn om vonkvorming te voorkomen ten gevolge van statische elektriciteit tussen tank en leidingen</p>	
<p>Brandbestrijding: vereisten op basis van scenario’s vaststellen. Wel moeten er voldoende kleine blusmiddelen aanwezig zijn. Sprinklers dienen op tanks te zitten die geen brandbeschermende bekleding hebben. Onder voorwaarden moeten gas- en branddetectoren aanwezig zijn; er moet een noodknopsysteem zijn, evenals voorzieningen voor blus- en koelwater</p>	<p>De keuze van geschikte brandbestrijdingsmiddelen gebeurt op basis van een analyse. Installatievereisten zijn afhankelijk van de capaciteit van lpg-opslag (getabelleerd). Er moeten voldoende kleine blusmiddelen aanwezig zijn. Er mag geen (brandbare) begroeiing in de veiligheidszone zijn</p>	

Situering		
Omheining op minimaal 15 m ('gebied A') van plaatsen waar lpg kan vrijkomen. Er moet een waarschuwbord aanwezig zijn bij toegang tot 'gebied A'.	Bovengrondse opslagen (inclusief pomp) moet omheining hebben op minimaal 1,5 m afstand. Er moet een security fence aanwezig zijn op minimaal 3 m als omgeving publiek toegankelijk is (bijvoorbeeld terreinomheining). Voor opslagen < 4 ton lpg geldt uitzondering: zie COP par. 2.6.3. Ook moet een waarschuwbord op de tank aanwezig zijn. Indien nodig moet er aanrijdbeveiliging zijn.	
Minimaal 2 toegangen , en installaties moeten van 2 kanten benaderbaar zijn	Minimaal 2 toegangen	
Afvoer van drainagewater : vanuit opvangputten mag niet naar rioleringsysteem afgevoerd worden; vanaf terrein wel	Open afvoerkanalen binnen veiligheidsafstand moeten van een waterslot of equivalent zijn voorzien om ophoping van gas te voorkomen	
Afvoer van bluswater : maatregelen treffen indien lpg in bluswater aanwezig is.	Er moeten voorzieningen zijn om bluswater af te voeren	
Afstand tot andere installaties : rekening houden met brand van lpg-installatie en met brand in andere brandbare objecten. Ten aanzien van laatstgenoemde: bescherming kan via sprinkler, bekleding, of in het terp/ondergronds aanbrengen van reservoir. Berekeningsadviezen worden gegeven evenals minimum afstanden.	Voor lpg-installaties geldt: 'Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations (DSEAR)' – dat wil zeggen zonering; minimum afstanden tot andere brandbare stoffen en gebouwen (met en zonder brandmuur) zijn gespecificeerd.	
Ondersteuning : moet bestand zijn tegen laagste temperatuur (bij uitstroming van vloeibaar lpg) en brand (een hittewerende bekleding); moet tank gevuld met water kunnen dragen en beschermd zijn tegen corrosie; voorkomen moet worden dat er een te hoge plaatselijke belasting op de wand ontstaat	Ondersteuning : moet adequate support geven, bij voorkeur op betonnen fundament of stalen structuur. Moet minimaal de tank kunnen dragen gedurende de tijd dat deze hittebestendig is. Er mag geen ophoping van water of gas plaatsvinden (in geval van 'skirts'); vaten van 2,2 ton of meer of op 'poten' moeten aan een kant worden vastgezet.	
Ondergrond moet beton of steen zijn, en hellend, zodat lekkend lpg niet onder reservoir blijft staan (maar naar bijvoorbeeld naar opvangput stroomt); een dergelijke opvangput moet op veilige afstand van reservoir(s) liggen.	Ondergrond moet verhard of verdicht zijn en er mag zich geen lpg kunnen ophopen. Conventionele bunds zijn niet toegestaan. Lekkend lpg mag niet onder reservoir blijven staan (wegleiden naar opvangput of verdampingsreservoir). Voor grote installaties: case by case afwegen.	

Bedrijfsvoering		
<p>Beheerder moet minimaal 18 jaar en ter zake deskundig zijn. Brand- of explosiegevaarlijke situatie moet worden gemeld aan bevoegde instantie; installatieboek moet in de inrichting aanwezig zijn; noodprocedures moeten worden getest.</p>	<p>Beheerder en personeel moeten ter zake deskundig zijn; personeel moet vooral de locatie van elektrische afsluiters en veiligheidskleppen kennen; noodprocedure moet duidelijk zichtbaar aanwezig zijn en worden getest; veiligheidsprocedures moeten minimaal eens per jaar worden getest; er moeten geschreven procedures zijn, waarvan alleen mag worden afgeweken als daartoe autorisatie bestaat; er moet een 24 uren service zijn voor lekken en veiligheid.</p>	
Laden en lossen		
<p>Omschreven procedures bestaan voor ontgassen, laden/lossen van tankwagens, spooketelwagens en tankschepen. Ook zijn eisen voor werkvergunning, installatiehandboek en verantwoordelijkheden aangegeven.</p>	<p>Er moeten schriftelijke procedures zijn; enkele nadere eisen voor productsegregatie, vullen opslagtanks, laden/lossen spooketelwagens, gebruik van drainsysteem en sampling zijn omschreven.</p>	
Inspectie		
<p>Onderscheid wordt gemaakt tussen eerste keuring, herkeuring en onderhoudsinspecties/controle. Omschreven te (her)keuren onderdelen (minimaal 1 x per 6 jaar):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reservoir; - corrosiebeschermende bekleding; - brandbeschermende bekleding; - toebehoren van reservoir; - leidingen. <p>Onderhoudsinspectie of controle van bovengrondse tanks:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blus- en koelwatersysteem: 1 x per maand (sommige delen vaker); - Lpg-installatie: 1 x per 6 maanden; - Aarding en Blustoestellen: 1 x per jaar. 	<p>Onderscheiden worden: ‘Examinations’, ‘periodic inspections’ en ‘routine inspections’.</p> <p><i>Aanbevolen</i> intervallen ‘examinations’ bovengrondse tanks:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tanks: 10 jaar; - Verdampers: jaarlijks (direct verhit); 5 jaar (indirect verhit); - Veiligheidsvoorzieningen: 5 jaar (soms 10 jaar); - Leidingen: op basis van risico-evaluatie; <p>Periodic inspection:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leidingen: op basis van risico-evaluatie; - Brandbestrijdingsmiddelen: volgens BS5306 part 3; - Overige installatiedelen: 10 jaar. 	<p>‘Examinations’ is vergelijkbaar met (her)keuring</p>

Tabel B2 Technische voorzieningen bij grootschalige lpg-opslagen in Nederland. Deze technische voorzieningen worden vergeleken met de technische standaarden uit de richtlijn PGS-18 [PGS-18 91].

<i>Technische voorzieningen volgens richtlijn PGS-18</i>		<i>Technische voorzieningen bij BRZO-bedrijven</i>	<i>Opmerking</i>
A	OVERDRUKBEVEILIGING		
1	Manometer	Ja, aangebracht in damruimte	Bij alle opslagen het geval
1.a	Hogedrukalarm	Bij overschrijding gaat akoestisch en visueel alarm af in de controlekamer.	Drukbewaking in controlekamer
2	Veerbelaste veiligheidskleppen	Ja, dubbel uitgevoerd	De afsluiters zijn bij de meeste opslagen voorzien van sleutelvergrendeling zodat steeds één van de afsluiters openstaat. Bij één opslag zijn de veiligheidskleppen voorzien van handafsluiters waarop een interlocksysteem is aangebracht.
2.a	Pijpen op veiligheidskleppen moeten afgeschermd zijn tegen vochtophoping	Ja, draingat is aanwezig en leiding is afgedekt met hoes om het nestelen van vogels tegen te gaan.	Bij de meeste bedrijven is geen melding gemaakt over de afdekking van de leiding.
2.b	Bij meerdere kleppen mogen afsluiters aanwezig zijn, die moeten zodanig gekoppeld zijn dat het vereiste aantal kleppen onbeperkt werkt	Ja, diverse beveiligingssystemen	Castellock, interlock of sleutelvergrendeling
3	Temperatuurmeter	Ja	Ook afleesbaar in controlekamer
3.a	Temperatuuralarm	Ja, bij overschrijding gaat akoestisch en visueel alarm af in de controlekamer.	Temperatuurbewaking in controlekamer
B	OVERVULBEVEILIGING		
4	Vaste binnenpijp voor niveaumeting	Ja, bij één opslag is er sprake van een afgesloten verdringer- en meetlinttype	Niet bij alle opslagen is hierover melding gedaan
4.a	Standwijzer	Niveaumeter op tank aanwezig	Stand kan worden afgelezen bij de opslag en in de controlekamer
5	Waarneembaar hoogniveau	Ja, meetapparatuur is	Twee onafhankelijke

	signalering	voorzien van hoogniveau alarm	niveaumetingen (niet in alle gevallen)
5.a	De met bediening belaste persoon moet het kunnen waarnemen	Ja, dat kan visueel en akoestisch	Dat kan bij de tank en in de controlekamer
5.b	Er dient voldoende tijd te zijn om de toevoer tijdig te stoppen	Ja, bij hoog-hoog-niveau alarm worden de afsluiters automatisch dichtgestuurd	Er is in een enkel geval een vooralarmering bij 85% van de maximale vullingsgraad. Bij 90% van de maximale vullingsgraad wordt automatisch de verlading gestopt
6	Monstername	Ja	Bij één opslag vindt monstername plaats op 3 locaties (top, midden en bodem)
C	UITSTROOMBEVEILIGING		
7	Afsluiters, terugslagkleppen e.d.	Ja	
7.a	In de vulleiding	Handbediende noodstopafsluiter. In de opslagbol is de vulleiding voorzien van een terugslagklep.	
7.b	In de losleiding	Terugslagklep aan het begin van de losleiding	Hierdoor wordt voorkomen dat er ongewenst product uit de procesinstallatie terugstroomt naar de opslagtank
7.c	In de dampretourleiding	Ja, bij een te grote afname wordt de veerbelaste klep in de dampleiding dichtgedrukt	
8	Aansluitflenzen (uitzondering voor veiligheidskleppen en niveaumeting)	Ja	
8.a	Moeten zijn voorzien van handbediende afsluiters	Ja	Tankaansluiting is voorzien van een handbediende afsluiter, direct gevolgd door een op afstand bediende snelafsluiter, die bij een noodstop automatisch sluit.
8.b	Op een dergelijke kort mogelijke afstand gevolgd door op afstandbedienbare afsluiters (uitgezonderd de spui-inrichting)	Ja	Zie opmerking bij 8.a
8.b1	Bij wegvallen van de bekrachtiging van de afsluiters moet de afsluiter binnen 15 seconden sluiten (fail safe)	Ja	

8.b2	Bij smelten van de stuurleiding van het bekrachtigingssysteem moeten de afsluiters automatische sluiten	Ja	
8.c	Aansluitingen moeten voorzien zijn van doorstroombegrenzers danwel terugslagkleppen	Ja	Tankaansluitingen die groter zijn dan 2 mm ² zijn beveiligd tegen te grote uitstroming door middel van een doorstroombegrenzer of terugslagklep.
9	Spui-inrichting of drain		
9.a	Spuileiding moet verwarmd zijn	Ja, de drainleiding is geïsoleerd en wordt verwarmd met stoomspiraal.	Hierdoor wordt bevroering van de leiding voorkomen.
10	Gasdetectie	Ja, vooral voor opslagen op raffinaderijen	Alarmering in de controlekamer. Sommige installaties zijn tevens voorzien van een zogeheten 'graphic panel'-instrumentarium. Daardoor is de locatie van de lekkage direct bekend en ook de concentratie van het gas.
D	BEVEILIGING TEGEN INVLOED VAN BUITENAF (IMPACT, BRAND, BLIKSEM)		
11	Bescherming	Ja, in die zin dat de boltanks gescheiden van andere bedrijfsonderdelen zijn opgesteld	
11.a	De reservoirs zijn voorzien van warmtestraling reflecterende corrosiewerende verf	Ja, ook de ijzeren pilaren zijn met een hittewerend materiaal gecoat.	Bij een eventuele brand voorkomt deze coating dat de ijzeren pilaren te snel warm worden en daardoor bezwijken.
11.b	Watersproei-installatie	Ja, koeling van het reservoir is mogelijk door het (automatisch of handmatig) activeren van het sprinklersysteem.	Bij enkele opslagen is als beveiliging tegen te hoge temperatuur uit de omgeving het reservoir voorzien van branddetectoren die bij een snelle temperatuurstijging (> 12° C per minuut) automatisch de boven en om het reservoir aangebrachte sproei-installatie in werking stellen.
12	Opvangbak	Ja	De verspreiding van lpg bij het eventueel vrijkomen is dan

			beperkt tot het oppervlak van de opvangbak. De opvangbak beschermt het reservoir ook tegen invloeden van buitenaf, zoals een in brand staande plas in de omgeving.
13	De reservoirs zijn geaard	Ja	

Bijlage 2 Verslag van het overleg bij het Forum op 15 maart 2007 in Ede

Doel: bij het Forum (NEN / LPI-SZW-IPO) informeren naar normen die in Nederland worden toegepast bij grootschalige lpg-opslagen.

Aanwezig: Kops (LPI), Coenen (LPI, DSM), Baecke (LPI, DOW Benelux), Duysens (LPI, DSM), Koets (Energie Consult Holland), Evertsen (Energie Consult Holland), Aben (Lloyd's Register Nederland), de Jong (IPO), van Til (Kiwa), Wijker (Ministerie SZW), Ham (TNO) en Mahesh (CEV)

In het forum participeren diverse (overheids)instanties en bedrijven die zich in de praktijk bezig houden met drukapparatuur (beleidsontwikkeling, inspecties, ontwerp, etc.). Het doel van het forum is het delen en uitwisselen van kennis en expertise. Aan het forum nemen de volgende instanties/werkgroepen deel:

- Ministerie van SZW, Directie Arbeidsomstandigheden;
- Inter Provinciaal Overleg (IPO);
- Nederlands Normalisatie-instituut (NEN)
- Inspecterende instanties (Lloyd's Register Nederland, Kiwa, Energie Consult Holland);
- Landelijk Platform Inspecties (eigen inspectiediensten van grote chemische concerns zoals Shell, DSM, Dow Benelux, Akzo). Deze bedrijven hebben een werkgroep opgericht, namelijk Werkgroep Eigen Inspectie Diensten (WEID).

Wij hebben (via WEID) het forum gevraagd welke standaarden in Nederland worden gebruikt voor de opslag en verlading van lpg, voor de ontwerpeisen voor de lpg-opslagen en de inspecties.

Volgens het forum werden tot voor kort de lpg-drukvaten ontworpen volgens de Regels voor toestellen onder druk (van het Stoomwezen). Vanaf mei 2002 is een EU-richtlijn (nr.97/23/EG) van toepassing op deze drukkaten. De drukkaten worden voortaan getoetst aan de eisen uit deze nieuwe richtlijn (Pressure Equipment Directive, PED-richtlijn). De PED-richtlijn wordt ook gebruikt bij keuringen en periodieke inspecties.

Algemene indruk van de leden van het forum:

- de ontwerpfase en de ingebruikname is niet een knelpunt;
- Knelpunten zijn:
 - o de wijze waarop de inspecties worden uitgevoerd (expertise van het inspectieteam);
 - o onderhoud (opleiding- en kennisniveau van het team);
 - o de bedrijfscultuur (hiërarchie, platte organisatie, etc.) is een belangrijk aspect voor de veiligheidscultuur van het bedrijf.

Resumé: het gaat om het niet-technische deel van het VBS en dat is volgens het forum moeilijk te kwantificeren.

Bijlage 3 Verslag bezoek aan MERCON te Gorinchem op 7 maart 2007

Aanwezig: Koos Ham (TNO), Jan Krielaart (MERCON), Cor Speksnijder (MERCON), Soedesh Mahesh (RIVM) en Patrick Heezen (RIVM)

Wat doet Mercon

Mercon bouwt en onderhoudt in principe alles wat groot is en wat van metaal is. Bouwen en onderhouden zijn twee verschillende takken van sport. Het onderhouden van lpg-bollen gebeurt eigenlijk door de bedrijven zelf. Soms wordt MERCON om advies gevraagd of om een klus aan een bol uit te voeren. Er worden niet veel grote lpg/propanaan/butaan bollen gemaakt. Ongeveer 3-5 in de afgelopen 10 jaar.

Opdracht van klant

De bollen die Mercon bouwt worden over het algemeen een lange tijd gebruikt. Grote lpg-bollen worden vooral besteld voor nieuw te bouwen plants. De klant bestelt eigenlijk nooit een lpg-bol die moet voldoen aan de 'lpg-normen'. Er wordt altijd een bol besteld die aan de door de klant opgegeven eisen moet voldoen. Producteisen zijn afgeleid van de ontwerpeisen uit NEN EN 13445 die weer zijn afgeleid van de PED-richtlijn. Vaak past de klant de ontwerpeisen/producteisen aan uit eigen ervaring, dat is dus bedrijfsspecifiek. Mercon past als producent ook uit ervaring het ontwerp aan om de bol op een handigere/goedkopere manier te kunnen maken. Daarbij zoekt Mercon soms de randen van de normen op. Dit om zo concurrerend mogelijk te blijven.

Mercon maakt alleen de bol, de ondersteuning ervan en alle gaten die erin moeten. Meer wordt meestal niet aan ze gevraagd door de klant. Het complete ontwerp van de functionele opslaginstallatie wordt meestal gemaakt door een extern engineeringbureau.

Mercon werkt volgens de PED-richtlijnen die niet veel zijn veranderd ten opzichte van de voorgaande richtlijnen van het Stoomwezen. Alleen de testeisen zijn in de PED wat scherper dan die in het Stoomwezen (faaldruk moet hoger zijn bij de watertest).

Ongevallen

Vanuit hun ervaring ziet Mercon dat het grootste risico zich voordoet bij het legen van een tank tijdens een periodieke watertest. Een opslagbol kan erg slecht tegen negatieve druk. Daarnaast is hun ervaring dat er vaak problemen zijn bij de aanhechting van de bol op zijn constructie. Corrosie, weersinvloeden en verkeerde aanhechting zijn hiervan vaak de oorzaak.

Bijlage 4 Voorbeeld van onderhoudswerkzaamheden aan lpg-boltank

Tank nr : TK82
Type : Spherical storage tank
Diameter : 10.365 mm
Fabrikaat : n.v.t.
Product : Propane

1. Omschrijving

U dient uw aanbidding onder te verdelen in werkzaamheden tank TA conform onderkende 'bereik of wrok':

- Inclusief subcontractors;
- Coördinatie werkzaamheden;
- Materialen cq. certificaten.

2. Scope of work

Total Quality.

Refinery engineering standard.

HSE handboek

Lead contractor (Mercon).

- Coördinatie & supervisie van alle werkzaamheden voor en tijdens de TA.

Voorbereidende werkzaamheden.

- Testen van actuators door Nerefco-personeel in overleg met operations.
- Plaatsen van steiger rondom gasbol t.b.v. diverse werkzaamheden onder andere de- en montage van afsluiters, appendages, inspecteren stijgleidingen en het stralen en schilderen van gasbol (Spreeuwenberg).
- Maken van een stikstofaansluiting (in overleg met operations).
- Afblinden in en uitgaand leidingwerk.
- Verwijderen isolatie drainpot D03210 ten behoeve van inspectie (Cleton).
- Inspecteren drainpot D03210 (PID).

Werkzaamheden ten behoeve van inspecteren sphere voor TA.

- Plaatsen stelling voor verrichten van straalwerkzaamheden en TOFD-onderzoek (Spreeuwenberg);
- Stralen van lasnaden onderkalot ten behoeve van TOFD onderzoek (Van der Ende);
- TOFD-onderzoek lasnaden onderkalot (DIP & SGS);
- 'Spot' stralen gecorrodeerde oppervlakte van sphere ten behoeve van US-onderzoek. (Van der Ende);
- US onderzoek gecorrodeerde oppervlakte (PID & SGS);
- Stralen aanhechtingen sphere aan kolommen ten behoeve van inspectie (Van der Ende);
- Onderzoeken aanhechtingen sphere aan kolommen. (PID & SGS);
- Fire proofing en regenkappen inspecteren (PID);
- Sphere legs inspecteren door middel van 100% incotest (PID & SGS);
- UT-wanddiktemetingen onder- en bovenkalot (PID & SGS);
- UT-wanddiktemetingen tubelures $\geq 2"$ (PID & SGS);
- UT-wanddiktemeting op nozzle D (PID & SGS);

- 100% digitale RT op tubelures < 2" (PID & SGS).

Werkzaamheden na sweeten sphere.

- Elektrisch isoleren actuators (Imtech);
 - Los nemen instrumentkabels level alarmen (Imtech);
 - Verwijderen level alarmen en transporteren voor overhalen;
 - Demonteren actuators en transporteren voor overhalen;
 - Los nemen en verwijderen level indicators door Nerefco-personeel (Nerefco);
 - Verwijderen afsluiters en transporteren voor overhalen;
 - Openen mangaten;
 - Verwijderen sample lines in de sphere voor inspectie Nerefco;
 - Demonteren level gauges;
 - Demonteren safety valves en transporteren voor overhalen;
 - Verwijderen 5 stuks 3/4" excess flow valves en transporteren voor overhalen;
 - Demonteren overig leidingwerk tot aan hoofd tracé in overleg met operations;
 - Vervangen van diverse welding neck flenzen van de gasbol;
 - 2x4" 300#
 - 3x2" 300#
 - 1x8" 300#
- Het installeren van de opgegeven flenzen zijn alleen voor kostcalculatie. Uit inspectie kan blijken dat er meer of minder flenzen vervangen moeten worden.
- Monteren overhaalde afsluiters;
 - Sluiten van de mangaten;
 - Monteren actuators;
 - Afstellen actuators (Nerefco);
 - Monteren level gauges;
 - Monteren level alarms;
 - Monteren level indicators;
 - Vervangen 2 aardnokken (nokken levert Imtech);
 - Vervangen naamplaat bracket op sphere-leg en over zetten naamplaat;
 - Aansluiten level indicators (Nerefco);
 - Vervangen van alle kleine ($\leq 3''$) ball-afsluiters (materiaal wordt geleverd door Nerefco);
 - Sluiten van drainpot (D3210) na inspectie;
 - Elektrisch aansluiten actuators (Imtech);
 - Testen actuators (Nerefco);
 - Opvullen van sphere met stikstof (Operations);
 - Trekken van de blinden in overleg met operations;
 - Plaatsen verlichting in sphere (Imtech);
 - Cleanen sphere doormiddel van butterwash cleaning (Mourik Cleaning);
 - Borstelen van de lasnaden van het onderkalot ten behoeve van inspectie (Mourik Cleaning);
 - Openen drainpot D03210 voor inspectie;
 - Insecteren door Nerefco Inspection van inwendige sphere en tubelures in sphere (PID)
 - Verticaal stellen van de level- en dippijpen;
 - Verwijderen stelling uit sphere (Spreeuwenberg);
 - Monteren Safetys;
 - Verwijderen verlichting uit sphere (Imtech);
 - Uitvegen sphere;
 - Verwijderen vuil van het terrein middels vuilcontainer (Check met operations);
 - Repareren van sprinklersysteem (beugels en circa 2 m leiding);

Werkzaamheden na ingebruikname tank

- Schilderen gehele gasbol inclusief bordessen, trappen en ondersteuningsconstructie (Van der Ende);
- Verwijderen stelling rondom sphere (Spreeuwenberg);
- Opruimen schoonmaken werkterrein (Mourik);
- Schoonmaken cleanwatergoten en sumpput (Mourik);
- Monteren isolatie (Cleton);

Het leveren/pre-fabriceren van materialen door de aannemer

- Vervangen van nieuwe monsterflens met monsterleidingen (Tek. P.Bakker, Materiaal levert Nerefco);
- Vervangen nieuwe regenkapten boven fireproofing sphere legs;
- Vervangen van ¾" stijgleiding (Maten inmeten, Materiaal levert Nerefco);
- Vervangen van 2" stijgleiding (Maten inmeten, Materiaal levert Nerefco);
- Nieuwe TRV afblaasleidingen in RVS (Tek P.Bakker, Materiaal levert Nerefco);
- Naamplaat bracket (zie schets);
- Bordes onder de bol van nieuwe schoprand voorzien en laten stralen/schilderen;
- Hijs oog plaatsen op mangat aan bovenzijde gasbol.

De aannemer is verantwoordelijk voor het controleren van de maatvoering in het bestaand werk!

Opmerking:

Er dient rekening gehouden te worden met werkzaamheden voor het plaatsen van een nieuw topbordes.

Inspectie werkzaamheden

Zie bovengenoemde.

Materiaal leveranties en equipment/hulpgereedschap door de aannemer.

Alle materialen voor realisatie van reparatie gasbol TK82 worden door de aannemer geleverd, met uitzondering van kleppen en appendages. Equipment en hulpgereedschap is voor rekening van de aannemer.

3. Planning/plan van aanpak

De aannemer moet na gunning binnen twee weken in primavera planningsysteem een plan van aanpak/planning inleveren bij en ter goedkeuring van de opdrachtgever.

De aannemer dient dagelijks de planning bij te houden en te rapporteren over de actuele en geplande voortgang van het werk. Elke afwijking in de planning dient direct ongeacht de aard aan de opdrachtgever (tta -coördinator/planner - coördinator) Nerefco gemeld te worden.

De aannemer dient de voortgang van het werk in wekelijks te houden vergadering aan de betrokken ta-coördinator te rapporteren.

4. Kwaliteits-/veiligheidsplan

De aannemer zal voor aanvang van de werkzaamheden een deugdelijk kwaliteits-/ veiligheidsplan voorleggen aan de opdrachtgever.

Dit kwaliteitsplan moet dusdanig zijn dat goed is weergegeven hoe er voldaan wordt aan de specificaties van reparatie TK82, materiaal leveringen, installatiewerkzaamheden, en hoe de inspectiemethoden zijn met de daarbij behorende controlepunten.

5. Schilderwerkzaamheden

Schilderwerkzaamheden worden uitgevoerd door derden in opdracht van Nerefco, maar moeten in de totale planning worden ingepast en mogen de totale doorlooptijd niet beïnvloeden. Gegevens/informatie betreffende painting worden door Nerefco aan de aannemer aangeleverd.

6. Ontwerp-berekeningen, tekeningen, documentatie, enz.

De aannemer moet na gunning de benodigde aanvullende berekeningen en tekeningen voor controle opsturen aan de opdrachtgever. Deze tekeningen moeten volledig informatie geven over materialen en materiaalcertificaten.

Na oplevering van de sphere zal de aannemer een set goedgekeurde tekeningen doen toekomen aan de opdrachtgever.

Alle tekeningen en procedures, gestempeld door de opdrachtgever, zullen door de aannemer worden gebruikt.

Deze goedkeuring door de opdrachtgever ontheft de aannemer niet van zijn verantwoordelijkheid voor de juistheid van zijn ontwerp, tekeningen, berekeningen, uitvoering, enz.

7. Onderaanneming

De aannemer is verplicht om alle werkzaamheden, die hij laat verrichten door andere (onder)aannemers uit te laten voeren door respectievelijke Nerefco-huisaannemers.

Elke aanbieding moet vergezeld zijn van een gespecificeerde prijsopgave.

8. Niet tot uw aanbieding

- Isolatiwerkzaamheden;
- Aansluiten TK82 aan het live-systeem;
- Straal- en schilderwerkzaamheden;
- Het overhalen van afsluiters en appendages;
- E&I-werkzaamheden;
- NDT-werkzaamheden;
- Pakkingen en studbolts.

9. Planning van het werk

De doorlooptijd tank inclusief eventueel extra werk en de werkzaamheden genoemd in scope of work inclusief werkzaamheden derden is totaal weken.

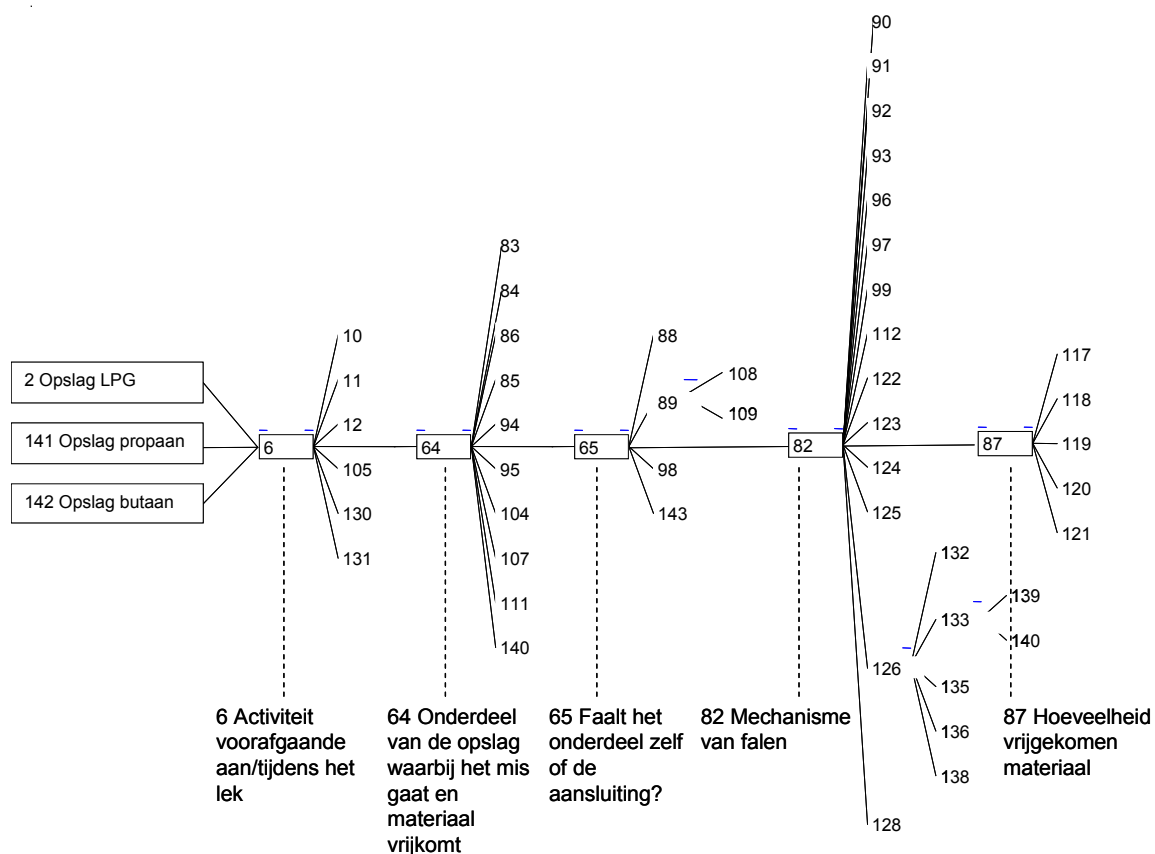
Alle tijdens de werkzaamheden toegevoegd extra werk dient ingepast te worden en mag de totale doorlooptijd niet beïnvloeden. De verwachte startdatum wordt nader bepaald.

Bijlage 5 Gebruikte incidentbeschrijvingen

Jaartal	Land	Bron	Kenmerk	Opmerkingen
1972	BR	Facts	681	
1973	USA	Facts	5670	
1984	MEX	Facts	8587	
1985	D	Facts	8537	
1990	AUS	Facts	10404	
1995	J	Facts	12580	
1996	Italy	Artikel	Demichela et al, 2004	
1997	India	Artikel	Rodante, 2003	
1998	AUS	Facts	14254	
1998	D	Facts	19965	
2002	GB	Facts	18205	
2002	NL	Facts	19407	
2003	USA	Hint	03-04b	zelfde incident als Facts 20504
2003	USA	Facts	20504	zelfde incident als Hint 03-04b
2004	AUS	Facts	20717	
2005	USA	Hint	05-07b	aanvullende info: http://www.portofklickitat.com/Minutes/AgendaMinutesView.asp?fIDselected=215
2005	USA	Hint	05-08a	LPG incident
2005	USA	Hint	05-08a	propaan incident
2005	USA	Hint	05-09b	aanvullende info: http://www.themilwaukeechannel.com/news/5038468/detail.html
2006	UK	Hint	06-12b	
2006	USA	Hint	06-10b	
2006	USA	Hint	06-07b	
2007	USA	Hint	07-02b	

- Hint Hazards Intelligence is een incidenten journaal en komt elke 14 dagen uit per e-mail en elke maand in gedrukte vorm. HIint wordt gepubliceerd door ility Engineering. Het **kenmerk** (06-07b) verwijst naar het jaartal - nummer van het journaal.
- Facts FACTS is een incidenten database en wordt onderhouden door TNO. Het **kenmerk** verwijst naar het 'Accident Number' van de beschrijving.
- Artikel De incidentbeschrijving is verkregen uit een artikel. Het **kenmerk** verwijst naar de (eerste) auteur gevolgd door het jaartal van publicatie.

Bijlage 6 Indelingsstructuur voor analyse van lpg-incidenten



In Bijlage 7 is een toelichting gegeven op de nummers die in de indelingsstructuur zijn vermeld.

Bijlage 7 Toelichting bij incident indelingsstructuur

In Tabel B3 staan alle gebruikte blokken met naam en nummer vermeld. Hieronder volgt een beschrijving van de hoofdblokken. Onder Tabel B3 staat informatie over het construeren van incidentpaden vanuit een ongevalsbeschrijving en de betrouwbaarheid ervan (interpretaties van incidentbeschrijvingen).

Opslag van propaan, butaan of lpg

De indelingsstructuur begint met de indeling waarvoor de opslaginstallatie bedoeld is: voor propaan, butaan of lpg en niet wat er eventueel foutief in wordt opgeslagen (zie: 2002 NL Facts 19407).

Activiteiten voorafgaande/tijdens het lek

De gebruikte structuur is opgebouwd om te redeneren vanuit de opslaginstallatie zelf. Vaak is het niet voldoende om bij een ongeluk alleen de technische kant te bekijken: een operator kan een fout maken waardoor er lpg vrijkomt terwijl er technisch niets mis was met de installatie. Het is lastig om mens en machine los van elkaar te beschouwen.

Activiteiten voorafgaande aan lek (blok nr. 6): Bij dit blok kan iets over de activiteiten worden aangegeven aan de opslaginstallatie zelf voorafgaande aan het lek. Er is hierbinnen een onderverdeling gemaakt in 6 groepen: *Vullen van opslag*, *Opslag (passief)*, *Aftappen uit opslag*, *Onderhoudswerkzaamheden*, *Reparaties* of *Onbekend*.

Vaak zijn deze omstandigheden niet af te leiden uit de incidentbeschrijving. In sommige gevallen kan er uit de beschrijving geïnterpreteerd worden dat er (waarschijnlijk) geen bijzondere activiteiten plaatsvonden. Er is dan overwogen om het incidentpad te laten lopen door het blok: *Opslag (passief)*. Bij een zeer gebrekkige incidentbeschrijving kan gekozen worden om het incidentpad te laten lopen door het blok: *Onbekend*.

Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat en materiaal vrijkomt

Binnen de analysestructuur is één van de belangrijkste onderdelen blok nummer 64: *Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat*. Dit moet gezien worden als het onderdeel waar het eerste lek zich voordoet of dreigt voor te doen. Het kan zijn dat het *onderdeel zelf faalt* (blok nr. 88) of dat de *aansluiting van het onderdeel faalt* (blok nr. 89).

Faalt het onderdeel zelf of een aansluiting?

Binnen dit blok kan worden aangegeven of het onderdeel zelf faalt of dat de aansluiting van het onderdeel faalt. Daarnaast is er blok 143: *Onderdeel faalt niet*. Hier gaat het voornamelijk over correct aangesproken overdruk-/veiligheidskleppen die als gevolg daarvan de eerste LoC veroorzaken.

Mechanismen van falen

In blok 82: *Mechanismen van falen*, is het mogelijk om het mechanisme aan te geven dat de oorzaak is van het eerste lek of van de gevaarlijke situatie. Om menselijke fouten te kunnen registreren, zonder in detail te treden (zoals bij Bowtie 15.1 [BAK 05]) is bij blok 82: *Mechanismen van falen* het blok: *fout van operator* (blok nr. 123) opgenomen. Hierbij wordt dus een fout van een reparateur gemakshalve aangemerkt als *fout van operator*.

Hoeveelheid vrijgekomen stof

Hier kan worden aangegeven hoeveel materiaal is vrijgekomen bij de LoC. Als er geen getalsmatige hoeveelheden bekend zijn, kan vaak uit de tekst afgeleid worden wat de dimensie van het lek moet zijn geweest.

Een bijna-ongeluk is een situatie waarbij de opslaginstallatie zelf niet faalt maar er een dreigende situatie ontstaat voor de opslag. Binnen de gegeven structuur loopt het incidentpad door het blok 64: *Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat* (in deze situaties: waarbij het *dreigt* mis te gaan) waarna het eindigt in het blok 120: *Niets vrijgekomen*.

Tabel B3 Naam en nummer van gebruikte blokken voor indelingsstructuur van incidenten

<i>Blok nr.</i>	<i>Blok naam</i>
87	Hoeveelheid vrijgekomen stof
82	Mechanisme van falen
65	Faalt het onderdeel zelf of een aansluiting?
64	Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat en materiaal vrijkomt
6	Activiteit voorafgaande aan/tijdens het lek
2	Opslag PLG
141	Opslag propaan
142	Opslag butaan
10	Vullen van opslagtank
11	Opslag (passief)
12	Aftappen uit opslagtank
105	Onbekent
130	Onderhoudswerkzaamheden
131	Reparatie
83	Veiligheidsklep naar buiten
84	Manometer
86	Tank
85	Niveaumeter
94	Vulpijp
95	Lospijp tank
104	Onderstel/fundering
107	Meetinstrument
111	Onbekend
140	Klep aan lospijp
88	Onderdeel faalt zelf
89	Aansluiting onderdeel faalt
108	Aansluiting aan opslagtank
109	Aansluiting aan anders dan opslagtank
98	Onbekend
143	Onderdeel faalt niet
90	Corrosie
91	Verkeerde keus materiaal
92	Mechanische impact
93	Trillingen
96	Ontwerpfout
97	Onbekend
99	Constructiefout
112	Ijsvorming van hemelwater
122	Brand in omgeving
123	Fout van operator
124	Inbreker
125	Aardbeving
126	Niet normale condities van de stof
132	Afwijkende temperatuur

133	Afwijkende druk
139	Hogere druk dan normaal
140	Lagere druk dan normaal
135	Afwijkende stof
136	Afwijkende hoeveelheid
138	Afwijkende stroomsnelheid
128	Erosie
117	Hoeveelheid tussen 10 en 100 liter
118	Minder dan of gelijk aan 10 liter
119	Onbekende hoeveelheid
120	Niets vrijgekomen
121	Meer dan 10 liter vrijgekomen

Invoeren van incidenten

Alle incidentpaden lopen door de blokken 6, 64, 65, 82 en 87 (zie Tabel B3).

Consequenties van de gekozen incidenten indelingsstructuur

Redeneren vanuit de fysieke opslagtankinstallatie heeft een aantal consequenties:

Als bijvoorbeeld een overdrukventiel faalt vanwege de keus voor een verkeerd materiaal, is dat goed te modelleren binnen deze structuur. De oorzaak *waarom* deze verkeerde keuze is gemaakt niet.

In het geval van een ‘bijna ongeval’ waarbij een LoC dreigt, kan niet goed worden aangegeven op welke manier de LoC uiteindelijk is voorkomen.

Een brand die ontstaat in een verdamper die is geïnstalleerd aan het eind van de aftapleiding van de opslag wordt gezien als een omgevingsbrand. De verdamper behoort in deze studie niet tot de opslaginstallatie zelf (zie incidentbeschrijving: 2003 USA Hint 03-04b). Het ongevalspad loopt voor dit incident dan door het blok *Brand in de omgeving*.

Betrouwbaarheid constructie ongevalspaden

Er is de grootste zorg besteed aan het objectief construeren van de ongevalspaden vanuit de incident beschrijvingen. De nadruk ligt in deze studie op de technische opslaginstallatie zelf. In de hier gebruikte indelingsstructuur (Bijlage 6) kan meer of andere informatie ingevoerd worden dan er in de meeste ongevalsbeschrijvingen beschikbaar is. Vandaar dat ongevalspaden veelvuldig door de blokken ‘onbekend’ lopen.

Bij het construeren van de ongevalspaden door de blokken 6 ‘activiteiten voorafgaande aan het lek’ en 87 ‘hoeveelheid vrijgekomen stof’ zijn soms aannamen gemaakt. Deze blokken geven geen informatie over de technische opslaginstallatie zelf maar meer over de omstandigheden voor en na het incident. Voorbeeld: Als een incident verhaalt over een ‘klein lek’, kan het ongevalspad eindigen in blok 118 ‘minder of gelijk aan 10 liter’. Het pad zou ook kunnen lopen door blok 119 ‘onbekende hoeveelheid’ maar beschreven omstandigheden (bijvoorbeeld geen gewonden, *klein lek*) kunnen de keuze voor het blok 118 verantwoorden.

Bijlage 8 Resultaten incidenten analyse

Tabel B4 Het aantal keren dat een incidentpad een blok doorkruist

<i>Blok nr.</i>	<i>Blok naam</i>	<i>Aantal incidenten</i>
87	Hoeveelheid vrijgekomen stof	22
82	Mechanisme van falen	22
65	Faalt het onderdeel zelf of een aansluiting?	22
64	Onderdeel van de opslag waarbij het misgaat en materiaal vrijkomt	22
6	Activiteit voorafgaande aan/tijdens het lek	22
2	Opslag PLG	13
141	Opslag propaan	8
142	Opslag butaan	1
10	Vullen van opslagtank	5
11	Opslag (passief)	3
12	Aftappen uit opslagtank	2
105	Onbekent	10
130	Onderhoudswerkzaamheden	2
131	Reparatie	0
83	Veiligheidsklep naar buiten	5
84	Manometer	1
86	Tank	1
85	Niveaumeter	0
94	Vulpijp	2
95	Lospijp tank	3
104	Onderstel/fundering	2
107	Meetinstrument	1
111	Onbekend	7
140	Klep aan lospijp	2
88	Onderdeel faalt zelf	4
89	Aansluiting onderdeel faalt	5
108	Aansluiting aan opslagtank	4
109	Aansluiting aan anders dan opslagtank	1
98	Onbekend	7
143	Onderdeel faalt niet	6
90	Corrosie	0
91	Verkeerde keus materiaal	1
92	Mechanische impact	1
93	Trillingen	0
96	Ontwerpfout	1
97	Onbekend	8
99	Constructiefout	0
112	Ijsvorming van hemelwater	1
122	Brand in omgeving	7
123	Fout van operator	3

124	Inbreker	1
125	Aardbeving	1
126	Niet normale condities van de stof	2
132	Afwijkende temperatuur	0
133	Afwijkende druk	1
139	Hogere druk dan normaal	0
140	Lagere druk dan normaal	1
135	Afwijkende stof	1
136	Afwijkende hoeveelheid	0
138	Afwijkende stroomsnelheid	0
128	Erosie	0
117	Hoeveelheid tussen 10 en 100 liter	2
118	Minder dan of gelijk aan 10 liter	0
119	Onbekende hoeveelheid	3
120	Niets vrijgekomen	3
121	Meer dan 10 liter vrijgekomen	14

Tabel B5 Welke blokken een individueel incident doorkruist

<i>Incident</i>	<i>Bloknummers</i>
1972 BR Facts 681	2, 6, 105, 64, 140, 65, 98, 82, 123, 87, 121
1973 USA Facts 5670	2, 6, 105, 64, 111, 65, 98, 82, 97, 87, 121
1984 MEX Facts 8587	2, 6, 10, 64, 94, 65, 98, 82, 97, 87, 121
1985 D Facts 8537	2, 6, 10, 64, 104, 65, 89, 108, 82, 112, 87, 121
1990 AUS Facts 10404	2, 6, 11, 64, 111, 65, 98, 82, 97, 87, 121
1995 J Facts 12580	2, 6, 11, 64, 94, 95, 104, 65, 89, 108, 82, 125, 87, 121
1996 Italy Demichela M	2, 6, 10, 64, 86, 65, 89, 108, 82, 122, 87, 121
1997 India Rodante TV	2, 6, 10, 64, 140, 65, 88, 82, 97, 87, 121
1998 AUS Facts 14254	2, 6, 12, 64, 95, 65, 89, 109, 82, 96, 126, 133, 140, 87, 121
1998 D Facts 19965	2, 6, 12, 64, 95, 65, 143, 82, 124, 87, 117
2002 GB Facts 18205	2, 6, 10, 64, 107, 65, 88, 82, 97, 87, 121
2002 NL Facts 19407	142, 6, 11, 64, 83, 65, 88, 82, 91, 123, 126, 135, 87, 121
2003 USA Hint 03-04b/Facts 20504	2, 6, 105, 64, 111, 65, 143, 82, 122, 87, 120
2004 AUS Facts 20717	2, 6, 105, 64, 83, 65, 88, 82, 97, 87, 121
2005 USA Hint 05-07b+www info	141, 6, 105, 64, 83, 65, 143, 82, 122, 87, 119
2005 USA Hint 05-08a LPG	141, 6, 130, 64, 84, 65, 89, 108, 82, 123, 92, 87, 119
2005 USA Hint 05-08a propaan	141, 6, 130, 64, 83, 65, 98, 82, 97, 87, 121
2005 USA Hint 05-09b +www info	141, 6, 105, 64, 111, 65, 98, 82, 97, 87, 117
2006 UK Hint 06-12b	141, 6, 105, 64, 111, 65, 143, 82, 122, 87, 120
2006 USA Hint 06-07b	141, 6, 105, 64, 83, 65, 143, 82, 122, 87, 121
2006 USA Hint 06-10b	141, 6, 105, 64, 111, 65, 98, 82, 122, 87, 119
2007 USA Hint 07-02b	141, 6, 105, 64, 111, 65, 143, 82, 122, 87, 120

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl