



> Retouradres Postbus 1 3720 BA Bilthoven

Nederlands Normalisatie-instituut NEN
PGS Projectbureau
T.a.v. ir. R. Boon
Postbus 5059
2600 GB DELFT

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl
KvK Utrecht 30276683
T 030 274 91 11
F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Ons kenmerk

Behandeld door

ir. S. Mahesh
T (030) 274 4585
F (030) 274 4442
soedesh.mahesh@rivm.nl

Bijlagen

4

Datum 13 februari 2012
Onderwerp Oplevering rapportage project "Interne veiligheidsafstanden PGS 19"

Geachte heer Boon,

In opdracht van het PGS Projectbureau hebben wij in de periode september 2011 tot en met medio februari 2012 de werkzaamheden uitgevoerd in het kader van het project "Interne veiligheidsafstanden PGS 19", projectnummer E/620500/01.

De resultaten van deze werkzaamheden staan in de bijgevoegde bijlagen bij deze brief.

Het onderzoek leidt tot de volgende hoofdbevindingen / voorstellen.

- Modellerings plasbranden: wij stellen voor om bij plasbranden alleen de brandbare vloeistoffen uit de stofcategorie K1 en K2 te beschouwen.
- Afbeelding 4-I over plasbranden uit de huidige PGS 19 is te conservatief en zou vervangen kunnen worden door figuur 3 uit bijlage 1.
- Modellerings lekscenario uit propaanreservoirs: op basis van incidentanalyse wordt aanbevolen voornamelijk kleine lekkages te beschouwen die afhankelijk zijn van de grootste aansluitingen op het reservoirs. In bijlage 2 is een voorstel daarvoor gedaan.
- Gevelbranden: afbeelding 4-II uit de huidige richtlijn PGS 19 is op een aantal essentiële punten conservatief en zou vervangen kunnen worden. In bijlage 3 worden daar voorstellen voor gedaan.
- Fysieke veiligheidsmaatregelen: voor het beschermen van reservoirs die gevuld zijn met propaan tegen de mogelijke gevolgen van fakkelbranden, komen de volgende fysieke veiligheidsmaatregelen vooralsnog in beeld (in bijlage 4 is dit uitgewerkt).
 - o Sprinklerinstallatie;
 - o Hittewerende bekleding;
 - o Gronddekking van een reservoir (ondergronds of interpen);
 - o Brandmuren;
 - o Hittewerende verflaag.
- Interne veiligheidsafstanden voor propaanreservoirs: een voorstel hiervoor is hieronder gegeven en vermeld in bijlage 1.

Datum
13 februari 2012
Ons kenmerk

Waterinhoud drukvat, V (m³)	Voorstel voor gatgrootte van het uitstromings- scenario (mm)	De afstand tot een warmtestralings- contour van 10 kW/m²	De afstand tot een warmtestralings- contour van 35 kW/m²
0,15 m ³ < V ≤ 1,0 m ³	2,0	5	4
1,0 m ³ < V ≤ 5 m ³	2,5	6	5
5 m ³ < V ≤ 13 m ³	3,5	8	6
13 m ³ < V ≤ 100 m ³	5,0	11	9
100 m ³ < V ≤ 150 m ³	6,5	14	11
V > 150 m ³	7,5	16	13

Verder hebben leden van de begeleidingscommissie voor dit onderzoek commentaar gegeven op de conceptrapportage. Het commentaar is - voor zover het binnen de scope van dit onderzoek valt - verwerkt in de rapportage.

Met deze rapportage beschouwen wij de opdracht als zijnde afgerond.

De eindfactuur wordt separaat van deze brief nagezonden.

Wij danken u voor het in ons gestelde vertrouwen en voor de prettige samenwerking.

Mocht u nog vragen hebben naar aanleiding van deze brief dan kunt u contact opnemen met de heer S. Mahesh, telefoonnummer 030 - 274 4585.

Met vriendelijke groet,

ir. C. M. van Luijk
Hoofd Centrum Externe Veiligheid



bijlage

Fakkel- en plasbranden
*Modelberekeningen voor de actualisatie van de interne
veiligheidsafstanden van de PGS 19: Opslag van propaan*

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl
KvK Utrecht 30276683
T 030 274 91 11
F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Datum
10 februari 2012

Bijlage nummer	1
Horend bij	Briefrapport
Referentie	
Contactpersoon	ir. S. Mahesh

In deze bijlage worden de werkzaamheden beschreven voor het reviewen van de interne veiligheidsafstanden uit hoofdstuk 4 van de richtlijn PGS 19, behoudens het onderdeel dat betrekking heeft op gevelbranden. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het project Interne veiligheidsafstanden PGS 19, projectnummer E/620500/01.

1. Algemeen

Deze berekeningen zijn uitgevoerd om de interne veiligheidsafstanden uit de huidige richtlijn PGS 19 - Opslag van propaan - te reviewen. Het doel van de interne veiligheidsafstanden is om een intern domino-effect te voorkomen tussen een propaanreservoir en brandbare objecten. Hierbij geldt dat met name het propaanreservoir beschermd dient te worden tegen invloeden van interne objecten. In de huidige richtlijn PGS 19 staat vermeld dat bij het bepalen van de interne veiligheidsafstanden vijf onderdelen van de propaaninstallatie van belang zijn:

- o het reservoir;
- o de verdamper: *niet relevant voor interne domino-effecten*;
- o opstelplaats van de tankwagen: *interne afstanden zoals die gelden voor het reservoir*;
- o vulpunt (indien dit niet op het reservoir is gelegen): *niet relevant voor interne domino-effecten*;
- o bovengronds leidingwerk: *niet relevant voor interne domino-effecten*.

Volgens de richtlijn PGS 19 zijn voor het voorkomen van interne domino-effecten de interne veiligheidsafstanden tot het propaanreservoir van belang: het propaanreservoir dient beschermd te worden tegen mogelijke effecten uit de omgeving. Overige relevante afstanden ter voorkoming van interne domino-effecten worden hiervan afgeleid.

2. Welke berekeningen zijn uitgevoerd?

Het gaat specifiek om de review van de effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting uit hoofdstuk 4.2.2: *Interne afstanden tussen objecten en propaanreservoir* van de richtlijn PGS 19.

Hiervoor worden de volgende brandtypen onderscheiden:

- a. Plasbrand (brand in een opslag van brandbare vloeistoffen);
- b. Gevelbrand (brand in gebouwen of brandbare opslagen);
- c. Uitstroom en ontsteking van vloeibaar propaan uit een gat (fakkel).

Voor de modellering van de effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting die horen bij de brandtypen a (plasbrand) en c (fakkel), is gebruik gemaakt van het rekenpakket SAFETI-NL 6.54¹, omdat dit rekenpakket door de Nederlandse overheid is voorgeschreven voor het modelleren van effectafstanden voor de voornoemde situaties (plas- en fakkelbranden). Bij de modellering is volgens afspraak zoveel mogelijk aangesloten bij de 'default' waarden van dit rekenpakket.

Voor de modellering van de effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting voor brandtype b (gevelbrand) is een andere benadering gekozen, omdat gevelbranden niet met SAFETI-NL kunnen worden gemodelleerd (zie bijlage 3).

Daarnaast zijn er met SAFETI-NL 6.54 berekeningen uitgevoerd om:

- o de duur van de uitstroom van een klein drukvat te bepalen (1 en 5 m³);
- o de warmte effecten van het mogelijk falen van de verdamper te schatten;
- o de warmte effecten van een 'open vuur' te schatten.

Het algemene uitgangspunt bij het bepalen van het effect op het propaanreservoir is dat de maximaal toelaatbare warmtestralingsintensiteit op het propaanreservoir maximaal 10 kW/m² mag bedragen.²

3. De keuze voor modelstoffen

Voor de modellering van de warmtestralingsbelasting van een fakkel en een plasbrand zijn modelstoffen gekozen die representatief zijn voor de stofcategorieën K0, K1 en K2 (zie Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht gehanteerde modelstoffen.

	Voorbeeldstof	Vlampunt voorbeeldstof	Gemodelleerd effect voor bepaling interne veiligheidsafstand
K0	Propaan	Brandbaar gas	Fakkels
K1	n-hexaan	-12 °C	Plasbrand
K2	n-nonaan	31 °C	Plasbrand
K3	-Niet beschouwd-	n.v.t.	n.v.t.
K4	- Niet beschouwd-	n.v.t.	n.v.t.

¹ SAFETI-NL 6.54 DNV Software, Londen, 2009.

² Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 19. Opslag van propaan. Ministerie van VROM. 2008.

Tabel 2. Overzicht indeling categorieën volgens (de oude) Wms³.

Datum
10 februari 2012

K0-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt lager dan 0 °C en een kookpunt (of het begin van een kooktraject) gelijk aan of lager dan 35 °C.
K1-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt beneden 21 °C, die echter niet zeer licht ontvlambaar zijn.
K2-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan of gelijk aan 21 °C en lager dan of gelijk aan 55 °C.
K3-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 55 °C en lager dan of gelijk aan 100 °C.
K4-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 100 °C.

Vanwege de lage ontstekingskans worden brandbare vloeistoffen die vallen in de stofcategorie K3 en K4 niet beschouwd bij het in kaart brengen van de risico's voor de externe veiligheid middels een kwantitatieve risicoanalyse (QRA). Alleen wanneer de procestemperatuur hoger is dan het vlampunt, dient de stof te worden meegenomen in een QRA⁴.

Voor het berekenen van de interne veiligheidsafstanden is het voorstel om bij deze benadering aan te sluiten. Als voorbeeldstof voor de stofcategorie K1 en K2 wordt voorgesteld om respectievelijk n-hexaan en n-nonaan te gebruiken. Dat betekent dat de warmtestralingseffecten ten gevolge van een plasbrand enkel worden gemodelleerd voor de stoffen n-hexaan (K1) en n-nonaan (K2).

In de huidige richtlijn PGS 19 staat dat als er een opslag met brandbare vloeistoffen met een vlampunt van lager dan of gelijk aan 60 °C in de omgeving van een propaanreservoir aanwezig is, dat dan het scenario 'het ontstaan van een plasbrand' moet worden beschouwd. Het voorstel is om deze temperatuurgrens in overeenstemming te brengen met de geldende bovengrens van stofcategorie K2-vloeistoffen (Tabel 2).

4. Modellerings effectafstanden van een plasbrand

Rekenprogramma: SAFETI-NL 6.54
Model: plasbrand model ('pool fire')
Parameters: Ondergrond plas: op land ('Base Surface: On Land'), hoogte plas: 0 meter ('Elevation: 0 m'); Weertype: D9 (meestal het meest conservatief); Overige parameters overeenkomstig 'default' waarden.
Standaard uitvoer: Plasbrand wordt gemodelleerd als cirkel. Standaard worden de afstanden tot de warmte-effectcontouren van 3, 10 en 35 kW/m² weergegeven vanaf het midden van de plasbrand. Voor deze studie worden deze afstanden

³ RIVM (2009) Handleiding Risicoberekeningen Bevi (HRB), versie 3.2, 1 juli 2009, RIVM/Centrum Externe Veiligheid, Bilthoven.

⁴ RIVM (2009) Handleiding Risicoberekeningen Bevi (HRB), versie 3.2, 1 juli 2009, RIVM/Centrum Externe Veiligheid, Bilthoven.

omgerekend naar afstanden gemeten vanaf de rand van de plasbrand.

Datum
10 februari 2012

Rekenfile: poolfire voor review PGS19 2011.PSU
Rekenresultaten: poolfire voor review PGS19 2011-Run Rows.xls (Summary Maximum Effect Zones).

Voor de volledigheid zijn in de grafieken, naast de rekenresultaten met SAFETI-NL, ook de huidige interne veiligheidsafstanden uit de richtlijnen PGS 18 en PGS 19 weergegeven. Afbeelding 4-I uit de richtlijn PGS 19 (Opslag van propaan) geeft de huidige afstand tot de 10 kW/m²-contour weer. Afbeelding 8-I uit de richtlijn PGS 18⁵ (Distributiedepots voor LPG) geeft daarnaast de afstand tot de 3 kW/m²-contour weer.

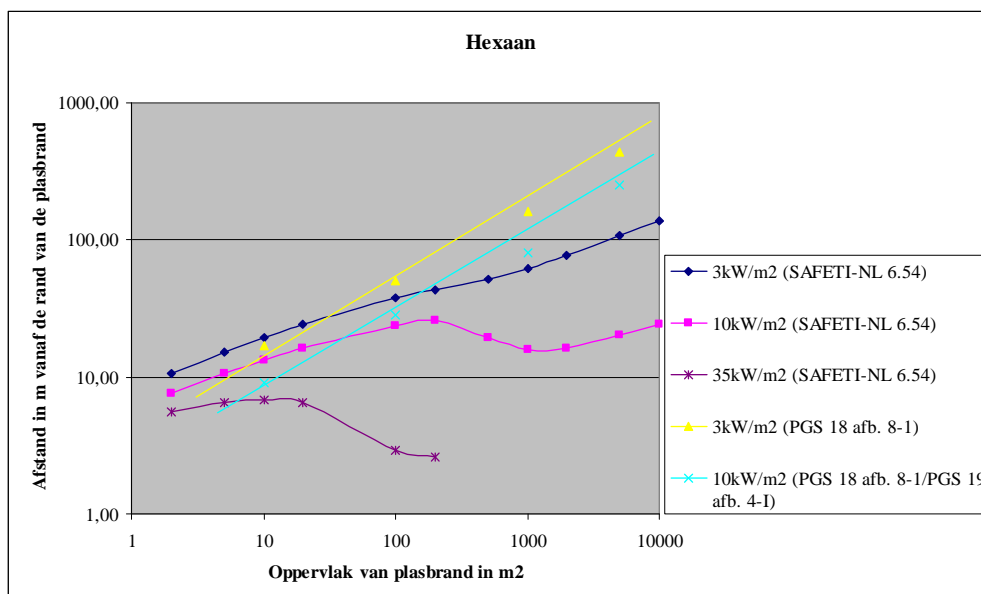
Resultaten plasbrand: n-hexaan (C₆H₁₄, K1)

Tabel 3. Afstanden voor de warmtestralingsbelasting van plasbranden met n-hexaan als modelstof (berekend met SAFETI-NL).

Weertype: D 9	Afstand vanaf de rand van de plas tot een warmtestralingscontour van [m]		
	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
Oppervlak plasbrand [m ²]			
2	10,64	7,54	5,57
5	15,20	10,54	6,51
10	19,45	13,25	6,77
20	24,37	16,28	6,57
100	37,68	23,82	2,91
200	43,62	26,02	2,62
500	52,04	19,18	n.v.t. ⁶
1000	61,76	15,89	n.v.t.
2000	77,22	16,04	n.v.t.
5000	106,56	20,07	n.v.t.
10000	136,32	24,21	n.v.t.

⁵ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 18. Distributiedepots voor LPG. Ministerie van VROM.

⁶ Deze waarde treedt niet op buiten het plasoppervlak.



Figuur 1. Effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting van plasbranden met *n*-hexaan als modelstof.

De maximale effectafstanden tot 3 en 10 kW/m² worden berekend bij weertype D9. Voor een plasbrand met een plasoppervlak vanaf 100 m² zijn de afstanden tot de warmtestralingsbelasting 3 en 10 kW/m² het grootst bij weertype D9. Voor kleinere plasoppervlakken (2, 5, 10 en 20 m²) wordt de grootste afstand tot de warmtestralingsbelasting van 3 kW/m² niet berekend voor weertype D9 (neutraal weer), maar weertype B3 (matig onstabiel weer)⁷. Voor de eenduidigheid van de resultaten worden voor alle plasgrootten de effectafstanden bij weertype D9 als de grootste effectafstanden beschouwd. Voor de kleinere plasoppervlakken is het grootste verschil tussen de berekende afstanden en de afstand voor weertype D9 kleiner dan 0,5 meter.

'Knik' in de grafiek

Er zit een 'knik' in de grafiek vanaf een plasbrandoppervlak van ca. 500 m² voor de warmtestralingsbelasting van 3 en 10 kW/m² en vanaf ca. 10 m² voor de warmtestralingsbelasting van 35 kW/m². Deze knik heeft te maken met een afnemende warmtestraling van de plasbrand naar de omgeving doordat er roetvorming plaatsvindt, die toeneemt als het oppervlak van de plasbrand en daarmee ook het vlamoppervlak toeneemt. Deze roetdeeltjes schermen de warmtestraling gedeeltelijk af. Een uitgebreidere beschrijving van dit effect is te vinden in de richtlijn PGS 2⁸ (p. 6.72).

Resultaten plasbrand: *n*-Nonaan (C₉H₂₀, K2)

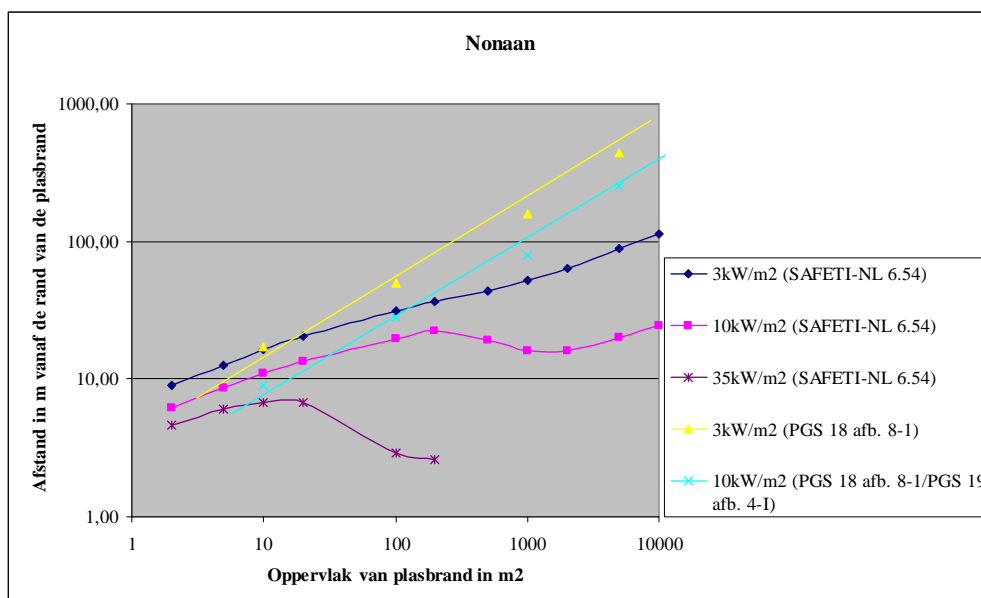
⁷ Een combinatie van een relatief lage windsnelheid en onstabiel weer zorgt voor een slechte warmteoverdracht in de omgeving. Daardoor wordt op relatief grote afstanden een warmtestralingsniveau van 3 kW/m² berekend in verhouding tot het weertype D9.

⁸ Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen 2. Methods for the calculation of Physical Effects, Due to releases of hazardous materials (liquids and gases), (voorheen: CPR14E 'Yellow Book'). Ministerie van VROM. 2005.

Tabel 4. Effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting van plasbranden met n-nonaan als modelstof (berekend met SAFETI-NL).

Datum
10 februari 2012

Weertype: D 9	Afstand gemeten vanaf de rand van de plas tot een warmtestralingscontour van [m]		
	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
Oppervlakte plasbrand [m ²]			
2	8,93	6,20	4,62
5	12,67	8,64	6,07
10	16,25	10,93	6,78
20	20,41	13,52	6,71
100	31,60	19,71	2,90
200	36,62	22,25	2,61
500	43,96	19,22	n.v.t. ⁹
1000	51,98	15,93	n.v.t.
2000	64,32	16,17	n.v.t.
5000	89,08	19,84	n.v.t.
10000	114,25	24,24	n.v.t.



Figuur 2. Effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting van plasbranden met n-nonaan als modelstof.

De maximale effectafstanden tot 3 en 10 kW/m² worden berekend bij weertype D9. Voor een plasbrand met een plasoppervlak vanaf 100 m² zijn de afstanden tot de warmtestralingsbelasting van 3 en 10 kW/m² het grootst bij weertype D9. Voor kleinere plasoppervlakken (2, 5, 10 en 20 m²) wordt de grootste afstand tot de warmtestralingsbelasting van 3 kW/m² niet altijd berekend voor weertype D9

⁹ Deze waarde treedt niet op buiten het plasoppervlak.

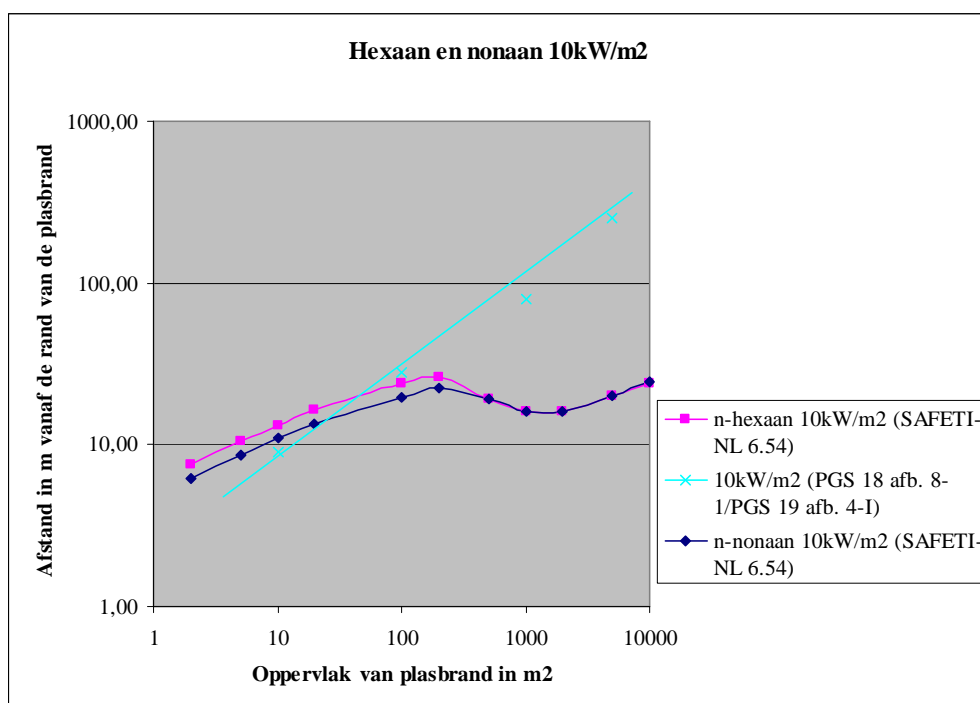
maar voor andere weertypen (B3)¹⁰. Voor de eenduidigheid van de analyse worden voor alle plasgrootten de effectafstanden bij weertype D9 als de grootste effectafstanden beschouwd. Voor de kleinere plasoppervlakken geldt dat het grootste verschil tussen de grootst berekende effectafstand en de afstand voor weertype D9, kleiner is dan 0,5 meter.

Datum
10 februari 2012

'Knik' in de grafiek

Idem plasbrand n-hexaan.

Analyse resultaten ten opzichte van huidige interne afstanden



Figuur 3. Effectafstanden voor de warmtestralingsbelasting voor plasbranden met n-hexaan en n-nonaan als modelstoffen.

Uit Figuur 3 wordt geconcludeerd dat er een duidelijk verschil is waar te nemen tussen de interne veiligheidsafstanden uit de huidige richtlijn PGS 19 en de met SAFETI-NL berekende afstanden tot een warmtestralingscontour van 10 kW/m². Tot een plas(brand)oppervlak van ca. 20 m² berekent SAFETI-NL grotere afstanden en vanaf ca. 100 m² kortere afstanden dan de huidige interne veiligheidsafstanden. Vanaf een plasoppervlak van ca. 200 m² wordt dit verschil erg groot. (Bij de auteurs bestaat het vermoeden dat de grafiek voor 10 kW/m² uit de richtlijn PGS 19 is gebaseerd op modelresultaten van een plasbrand met propaan, K0-stof).

¹⁰ Een combinatie van een relatief lage windsnelheid en onstabiel weer zorgt voor een slechte warmteoverdracht in de omgeving. Daardoor wordt op relatief grote afstanden een warmtestralingsniveau van 3 kW/m² berekend in verhouding tot het weertype D9.

De afstanden voor de warmtestralingsbelasting van n-hexaan reiken verder dan n-nonaan. Voor plasbranden met een oppervlakte vanaf ca. 500 m² is dit verschil te verwaarlozen.

Datum
10 februari 2012

Voor de herziening van de interne veiligheidsafstanden zou voor het scenario 'plasbrand' aangesloten kunnen worden bij de rekenresultaten waarbij de stof n-hexaan is gebruikt. Daarmee zullen de interne veiligheidsafstanden voor kleine plasbranden enkele meters groter worden en voor grote plasbranden (vanaf ca. 200 m²) aanzienlijk kleiner (ca. 20 meter en meer) worden ten opzichte van de huidige afstanden uit de richtlijn PGS 19.

5. Modellerings effectafstanden van een fakkel

Rekenprogramma: SAFETI-NL 6.54
 Model: Uitstroming van vloeibaar propaan (lek) uit een reservoir ('Fessel or Pipe Source')
 Gemodelleerde situatie: Zoveel mogelijk conform scenario '0.3 Opslagvat – 10 mm gat' uit QRA berekening LPG-tankstations¹¹
 Modelstof: Propaan
 Reservoir: 20 m³ (9200 kg/17,8 m³ propaan)
 Opslagcondities
 Fase = verzadigde vloeistof
 Temperatuur = 8,85°C
 Druk = 5,15 barg
 Gatgroottes (diameter): zie Tabel 5
 Uitstromingsrichting: horizontaal
 Uitstroomhoogte: 1 meter
 Parameters: Weertype F 1,5 (het meest conservatief) en D5. Overige parameters overeenkomstig 'default' waarden
 Standaard uitvoer: Voor fakkels worden warmtestralingscontouren tot 3, 10 en 35 kW/m² op 1 meter hoogte gerapporteerd. Deze afstanden worden gemeten vanaf het gat in het reservoir.
 Rekenfile: jet fire voor review PGS19 2011.PSU
 Overzicht resultaten: jet fire voor review PGS19 2011-Run Rows.xls (Summary Maximum Effect Zones).

Tabel 5. Gemodelleerde gatgrootte voor het uitstromingsscenario (op basis van incidentanalyse, zie bijlage 2).

Grootste aansluitng (inch)	10%-grootste aansluiting (mm)	Voorstel gatgrootte van uitstromingsscenario (mm)
0,75	1,91	2,0
0,75/1,25	2,54	2,5
0,75/1,25/2,0	3,39	3,5
2,0	5,09	5,0
2,0/3,0	6,35	6,5
3,0	7,62	7,5
4,0 ¹²	10,16	10

¹¹ RIVM/CEV (2008) QRA berekening LPG-tankstations, LPG-tankstations als bedoeld in artikel 2.1 onder e van het Bevi, RIVM/CEV, 29 mei 2008.

5,0	12,70	13
6,0	15,24	15
7,0	17,78	18
8,0	20,32	20

Datum
10 februari 2012

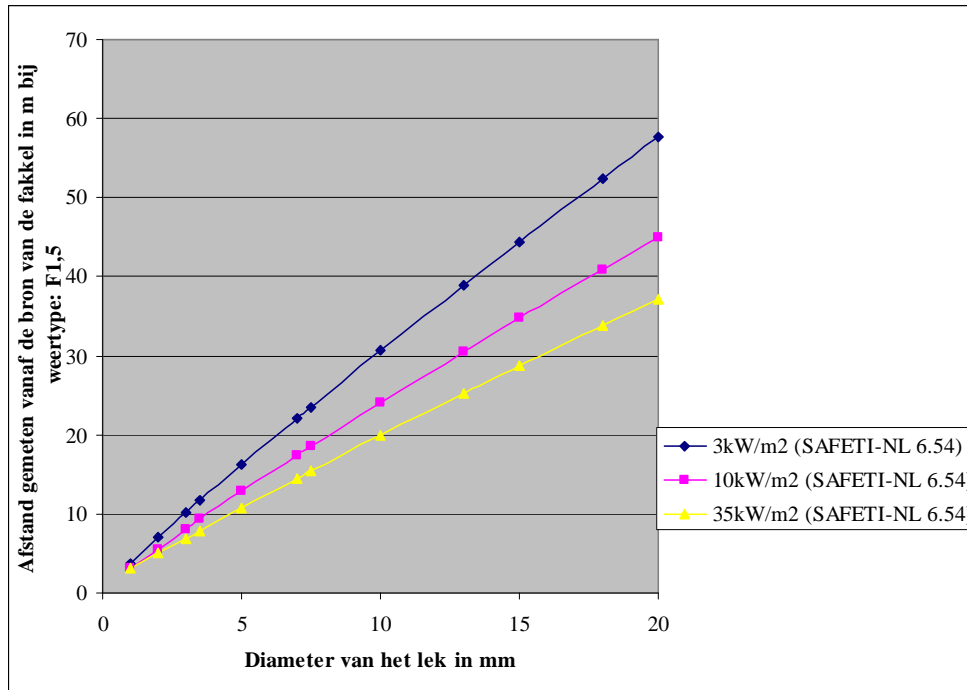
Resultaten fakkel: propaan (C_3H_8 , K0)

Tabel 6. Effectafstanden voor een fakkebrand met propaan (berekend met SAFETI-NL voor weertype F 1,5).

Weertype: F 1,5	Afstand tot een warmtestralingscontour van [m]		
Gat diameter (mm)	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
2	6,98	5,57	5
2,5	8,16	6,59	5,75
3,5	11,7	9,29	7,78
5	16,24	12,85	10,73
6,5	20,55	16,21	13,55
7,5	23,56	18,56	15,46
10	30,66	24,08	20,01
13	38,97	30,52	25,31
15	44,41	34,73	28,77
18	52,45	40,93	33,85
20	57,73	45,00	37,19

¹² De aansluitingen van 4 t/m 8 inch zijn niet relevant voor de herziening van de richtlijn PGS 19. Deze aansluitingen zijn aan de orde bij de verlading van zeer grote opslagen, bijvoorbeeld distributiedepots voor LPG (PGS 18).

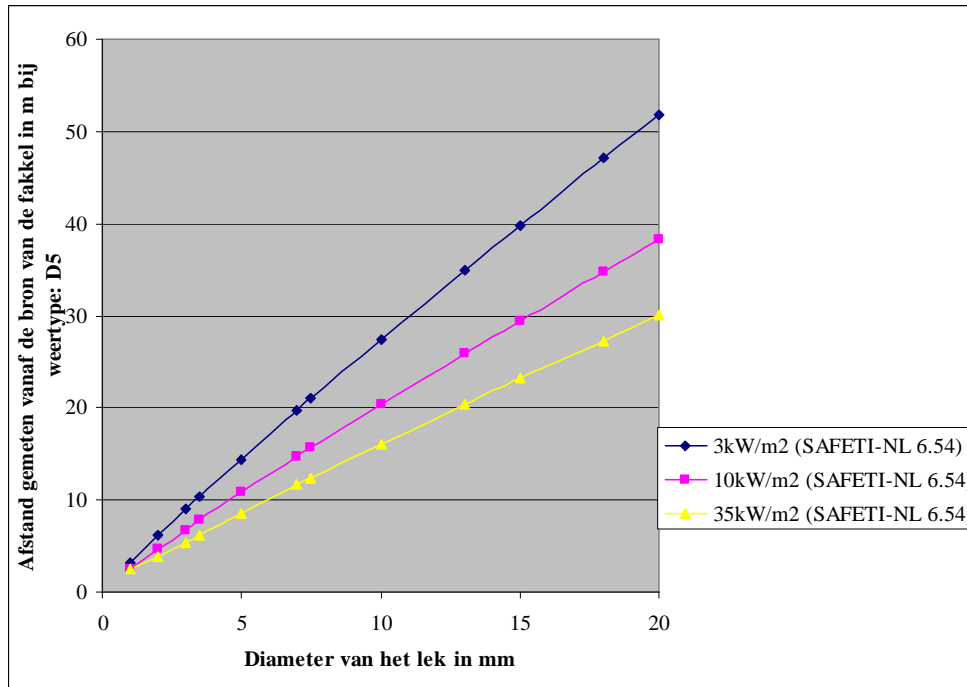
Datum
10 februari 2012



Figuur 4. Effectafstanden voor een fakkelbrand met propaan voor weertype F 1,5.

Tabel 7. Effectafstanden voor een fakkelbrand met propaan (berekend met SAFETI-NL voor weertype D 5).

Weertype: D 5	Afstand tot een warmtestralingscontour van [m]		
Gat diameter (mm)	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
2	6,15	4,65	3,9
2,5	7,19	5,51	4,26
3,5	10,35	7,78	6,21
5	14,41	10,79	8,59
6,5	18,35	13,73	10,94
7,5	20,98	15,64	12,41
10	27,37	20,33	16,09
13	34,87	25,83	20,39
15	39,78	29,43	23,19
18	47,05	34,74	27,32
20	51,83	38,23	30,04



Figuur 5. Effectafstanden voor fakkelbranden met propaan voor weertype D 5.

De maximale afstanden voor de warmtestralingsbelasting van 3, 10 en 35 kW/m² worden berekend bij weertype F1,5

Voor alle gemodelleerde situaties blijkt de grootste afstand voor de warmtestralingsbelasting van 3, 10 en 35 kW/m² te worden berekend bij weertype F1,5. Tevens worden de afstanden bij weertype D5 weergegeven.

'Rain out' en uitstromingsduur

'Rain out' begint pas een rol te spelen bij een gat met een diameter vanaf ca. 90 mm. Het ontstaan van een plas en een plasbrand is dus niet relevant voor de hier beschouwde lekkages.

De uitstroomsnelheid bij een gat met een nominale diameter van 20 mm is ca. 4,5 kg/s. Theoretisch kan de uitstroom, en daarmee de fakkel, meer dan een half uur duren (9200 kg propaan / 4,5 kg/s = 2044 seconden).

Analyse resultaten ten opzichte van huidige interne afstanden

Het algemene uitgangspunt voor het bepalen van de invloed van een fakkelbrand op het propaanreservoir is dat de warmtestralingsintensiteit op het propaanreservoir maximaal 10 kW/m² mag bedragen (zie richtlijn PGS 19).

In de PGS 19 staat dat SAFETI-NL bij de modellering van een fakkel die kan ontstaan ten gevolge van een gat in een propaanreservoir met een nominale diameter van 10 mm, de afstand tot de 10 kW/m² ca. 7,5 meter bedraagt. Deze afstand mag met extra maatregelen verkleind worden tot een minimale afstand van 3 meter. Tabel 6 laat zien dat de afstand van 7,5 meter niet met SAFETI-NL 6.54 is te reproduceren; SAFETI-NL 6.54 berekent hiervoor een afstand van ca. 24 meter bij een weertype van F1,5. Een '10 mm lek' is een gebruikelijk scenario voor het in kaart brengen van de risico's voor de externe veiligheid. Voor het bepalen van de interne veiligheidsafstanden zou gekozen kunnen worden om uit

te gaan van een kleiner lek. Een voorstel hiervoor is gegeven in tabel 3, dat gebaseerd is op onder meer incidentanalyse uit bijlage 2.

Datum
10 februari 2012

Voor propaanreservoirs die onder het Activiteitenbesluit vallen (tot 13 m³, afname vanuit de dampfase), geldt een afstand van 5 m tussen de propaanreservoirs. De richtlijn PGS 19 geeft niet weer waarop deze afstand is gebaseerd.

6. Modelleringsduur uitstroom uit een klein drukvat (1 en 5 m³)

Rekenprogramma: SAFETI-NL 6.54
Model: Uitstroming (lek) uit een reservoir ('Fessel or Pipe Source')
Gemodelleerde situatie: Zoveel mogelijk conform scenario '0.3 Opslagvat – 10 mm gat' uit QRA berekening LPG-tankstations¹³
Modelstof: Propaan
Reservoir: 1 m³ (516 kg/0,85 m³ propaan) en 5 m³ (2579 kg/0,85 m³ propaan)
Opslagcondities:
Fase = verzadigde vloeistof
Temperatuur = 8,85 °C
Druk = 5,15 barg
Gatgroottes (diameter, zie Tabel 5):
2,0 mm voor het reservoir van 1 m³
2,5 mm voor een reservoir van 5 m³.
Uitstromingsrichting: horizontaal
Uitstroomhoogte: 1 meter
Parameters: Weertype is niet relevant. Overige parameters overeenkomstig 'default' waarden
Standaard uitvoer: Voor fakkels worden warmte-effectcontouren tot 3, 10 en 35 kW/m² op 1 meter hoogte gerapporteerd. Deze afstanden worden gemeten vanaf het gat in het reservoir.
Rekenfile: Duur uitstroom klein drukvat PGS19.PSU
Overzicht resultaten: Duur uitstroom klein drukvat PGS19-Run Rows.xls (Summary Maximum Effect Zones).

Resultaten berekening duur uitstroom kleine drukvaten

Tabel 8. Duur uitstroom UIT klein drukvat met propaan berekend met SAFETI-NL.

Afmeting drukvat in m ³	Maximale vulgraad	Gatgrootte in mm (diameter)	Uitstroom debiet in kg/s	Maximale uitstroom duur in seconden / uur
1	85%	2,0	0,0451	11.424 / 3,17
5	90%	2,5	0,0705	36.582 / 10,2

¹³ RIVM/CEV (2008) QRA berekening LPG-tankstations, LPG-tankstations als bedoeld in artikel 2.1 onder e van het Bevi, RIVM/CEV, 29 mei 2008.

7. Modelling warmtestralingseffecten van 'open vuur'

Datum
10 februari 2012

Voor het modelleren van de warmtestralingseffecten van een 'open vuur' is er voor gekozen om dit scenario te beschouwen als een plasbrand van n-hexaan met een afmeting van 4 m². Uit voorgaande plasbrandberekeningen blijkt dat het gebruik van n-hexaan een conservatievere benadering is dan het gebruik van propaan of n-nonaan.

Rekenprogramma: SAFETI-NL 6.54
Model: plasbrand model ('pool fire')
Parameters: Ondergrond plas: op land ('Base Surface: On Land'),
hoogte plas: 0 meter ('Elevation: 0 m'); Overige
parameters overeenkomstig 'default' waarden
Standaard uitvoer: Plasbrand wordt gemodelleerd als cirkel. Standaard
worden de afstanden tot de warmte-effectcontouren van
3, 10 en 35 kW/m² weergegeven vanaf het midden van de
plasbrand. Voor deze studie worden deze afstanden
omgerekend naar afstanden gemeten vanaf de rand van
de plasbrand.
Rekenfile: Open vuur benadering voor review PGS19.PSU
Rekenresultaten: Open vuur benadering voor review PGS19-Run Rows.xls
(Summary Maximum Effect Zones).

Resultaten modellering warmtestralingseffecten van 'open vuur'

Tabel 9. Warmtestralingseffect vanaf een 'open vuur' benaderd als een plasbrand van hexaan met een plasgrootte van 4 m² berekend met SAFETI-NL.

Weertype	Afstand gemeten vanaf de rand van de plas tot een warmtestralingscontour van [m]		
	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
B 3	14,43	8,92	4,31
D 1,5	14,07	8,25	3,35
D 5	14,36	9,48	5,16
D 9	14,01	9,77	6,37
E 5	14,18	9,36	5,16
F 1,5	13,95	8,17	3,35

Tabel 9 laat zien dat bij weertype D9 de grootste afstand tot de warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² wordt berekend. Deze afstand is circa 10 meter en is gemeten vanaf de rand van de plasbrand.

In de huidige richtlijn PGS 19 wordt een aan te houden afstand van 15 gehanteerd. Niet duidelijk is waarop deze afstand is gebaseerd.

Daarnaast hebben wij voor wat betreft het aspect open vuur de richtlijnen PGS 19 (voorheen CPR 11-1), PGS 20 (voorheen CPR 11-2) en PGS 21 (voorheen CPR 11-3) geanalyseerd. Deze richtlijnen zijn vervangen door de huidige richtlijn PGS 19. Uit onze analyse van deze richtlijnen blijkt dat open vuur in relatie wordt gebracht met zonering in het kader van de ATEX-richtlijn (explosie gevaar). Rondom een propaanreservoir wordt gerekend met een zone 2 classificatie waarvoor een afstand geldt van 5 meter vanaf het reservoir. Open vuur moet

buiten deze zone worden gehouden om mogelijke ontstekingsbronnen in de zone uit te sluiten.

Datum
10 februari 2012

Een afstand van 15 meter wordt wel aanbevolen bij het opstellen van verdamperen. Zo blijkt uit de richtlijn PGS 21 (CPR 11-3) dat bij de opstelling van verdamperen met vloeistof of stoom als verwarmend medium of gasgestookte verdamperen een afstand van minimaal 15 meter moet worden aangehouden tot het propaanreservoir en het vulpunt. De afstand van 15 meter voor open vuur uit de richtlijn PGS 19 is waarschijnlijk hierop gebaseerd.

Tot slot is in de richtlijn PGS 23 (voorheen CPR 11-5) "Propaan: vulstations van butaan- en propaanflessen" aanbevolen een afstand van 15 meter aan te houden tussen de vulplaats en open vuur. Dit aspect zal bij de huidige actualisatie van de richtlijn PGS 23 aan de orde komen.

Ten opzichte van de bovenstaande benadering lijkt 15 meter een conservatieve afstand. Wij stellen voor om de afstand van 15 meter te handhaven tussen open vuur en verdamperen en een afstand van 5 meter aan te houden tussen een propaanreservoir en open vuur.

8. Modelleren effecten van gasgestookte verdampers

Voor het modelleren van de mogelijke effecten ten gevolge van het falen van een gasgestookte verdampers is de volgende benadering gekozen. In de leiding (2 inch) tussen het reservoir en de verdampers bevindt zich vloeibaar propaan. De druk wordt hierin verlaagd tot 1,5 barg. Er is voor gekozen om een lekkage te modelleren in deze leiding met een gatgrootte van 10% van de nominale leidingdiameter.

Rekenprogramma: SAFETI-NL 6.54
Model: Lekkage van een leiding ('Fessel or Pipe Source')
Gemodelleerde situatie: Modelstof: Propaan
Reservoir: 20 m³ (9200 kg/17,8 m³ propaan)
Opslagcondities
Fase = verzadigde vloeistof
Temperatuur = -19,2 °C
Druk = 1,5 barg
Gatgroottes (diameter): 5 mm (zie Tabel 5)
Uitstromingsrichting: horizontaal
Uitstroomhoogte: 1 meter
Parameters: Overeenkomstig 'default' waarden
Standaard uitvoer: Voor fakkels worden warmte-effectcontouren tot 3, 10 en 35 kW/m² op 1 meter hoogte standaard gerapporteerd. Deze afstanden worden gemeten vanaf het lek.
Rekenfile: Lek leiding verdampers review PGS19.PSU
Overzicht resultaten: Lek leiding verdampers review PGS19-Run Rows.xls (Summary Maximum Effect Zones).

Resultaten modelleren effecten gasgestookte verdampers

Tabel 10. Effectafstanden vanaf de verdamper benaderd als een lekkage in de leiding tussen het propaanreservoir en de verdamper berekend met SAFETI-NL.

Datum
10 februari 2012

Weertype	Afstand gemeten tot een warmtestralingscontour van [m]		
	3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
B 3	13,20	10,14	8,19
D 1,5	14,19	11,24	9,32
D 5	12,54	9,40	7,45
D 9	12,06	8,90	6,96
E 5	12,54	9,40	7,45
F 1,5	14,19	11,24	9,32

Tabel 10 laat zien dat bij weertype F1,5 en D1,5 de grootste afstand tot de warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² wordt berekend. Deze afstand is circa 11 meter gemeten vanaf het lek in de leiding, in casu de gasgestookte verdamper.

9. Vergelijken van de rekenresultaten met tabel 4-I

In tabel 11 is de informatie overgenomen uit tabel 4-I (*minimale afstand van objecten binnen de inrichting tot een propaanreservoir*) uit de richtlijn PGS 19. Hieraan is een kolom toegevoegd met de afstanden die worden voorgesteld op basis van deze studie.

Tabel 11 Overzicht huidige interne veiligheidsafstanden en voorgestelde afstanden op basis van deze studie.

Soort object	Afstand PGS 19	Voorstel
Reservoir met brandbare vloeistoffen (vlampunt ≤ 60°C) zonder gronddekking	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Afbeelding 4-I	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Figuur 3 (plasbrand n-hexaan)
Reservoir met vloeistoffen met gronddekking alsmede reservoirs met brandbare vloeistoffen (vlampunt > 60 °C) zonder gronddekking	3 meter	3 meter
Reservoir met tot vloeistof verdichte brandbare gassen <u>zonder</u> maatregelen	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform scenario bij paragraaf 4.2.2. onder c (10 mm gat). <i>Voor twee bovengrondse reservoirs die onder het Activiteitenbesluit vallen: 5 meter</i>	Afstand bepaald via tabel 5 (bepaling gatgrootte) en Figuur 4 (effectafstand lekkage propaan).
Reservoir met tot vloeistof verdichte brandbare gassen <u>met</u> maatregelen	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform scenario bij paragraaf 4.2.2. onder c (10 mm gat). <i>Voor twee bovengrondse reservoirs die onder het Activiteitenbesluit</i>	Bijlage 4: fysieke veiligheidsmaatregelen

	<i>vallen: 5 meter</i>	
Brandgevaarlijk materiaal en objecten binnen de erfscheiding of inrichtingsgrens (zoals woningen, brandbare opslagen, brandbare gebouwen, etc.)	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Afbeelding 4-II	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform bijlage 3: gevelbranden
Erf scheiding of inrichtingsgrens	5 meter (te verkleinen tot 3 meter)	5 meter (met maatregelen te verkleinen tot 3 meter). Afstand vergroten als risicovolle objecten aanwezig zijn aan de andere kant van de erfscheiding of inrichtingsgrens
Kelderopeningen, straatkolken en aanzuigopeningen van ventilatiesystemen op < 1,5 m boven het maaiveld ¹	5 meter	5 meter
Open vuur	15 meter	5 meter

Datum
10 februari 2012

¹Geen aanleiding om deze afstand aan te passen.

10. Review voorschriften uit de subparagrafen 4.8.1 tot en met 4.8.3

In dit onderdeel van het onderzoek wordt ingegaan op de aanvullende voorschriften uit de subparagrafen 4.8.1 tot en met 4.8.3 uit de richtlijn PGS 19. In tabel 12 is dit uitgewerkt.

Tabel 12. Review van de aanvullende voorschriften voor veiligheid.

Voorschrift	PGS 19		Voorstel
4.8.1	De warmtestralingsintensiteit van een brand van een binnen de inrichting gelegen (brandgevaarlijk) object op het propaanreservoir bedraagt niet meer dan 10 kW/m ²		Warmtestralingscriterium van 10 kW/m ² handhaven
4.8.1			
	Soort object	Invloed op propaanreservoir	
	Reservoir met brandbare vloeistoffen (vlampunt ≤ 60°C) zonder gronddekking	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Afbeelding 4-I	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Figuur 3 (plasbrand n-hexaan)
	Brandgevaarlijk materiaal en objecten binnen de erfscheiding of inrichtingsgrens (zoals woningen, brandbare opslagen, brandbare	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform Afbeelding 4-II	Afstand 10 kW/m ² bepaald conform bijlage 3: gevelbranden.

	gebouwen, etc.)	
4.8.1	Toepassen van veiligheidsmaatregelen	Zie bijlage 3
4.8.2	De afstand tussen een reservoir met vloeistoffen met gronddekking alsmede reservoirs met brandbare vloeistoffen (vlampunt > 60°C) zonder gronddekking en een propaanreservoir bedraagt minimaal 3 meter	Afstand van 3 meter handhaven.
4.8.3	De afstand tussen een propaanreservoir en een ander tot de inrichting behorend reservoir met tot vloeistof verdichte brandgevaarlijke gassen is zodanig, dat de warmtestralingsintensiteit van een brand (ten gevolge van het continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm) van het ene reservoir op het andere niet meer bedraagt dan 10 kW/m ² .	Gatgrootte is afhankelijk van de grootste aansluiting (zie bijlage 2). Warmtestralingscriterium 10 of 35 kW/m ² .
4.8.4	Voorschrift 4.8.3 is niet van toepassing op twee bovengrondse reservoirs (< 13 m ³) met dampafname voor zover die onder het Activiteitenbesluit vallen. De afstand tussen deze twee reservoirs bedraagt in overeenstemming met het Activiteitenbesluit in dat geval ten minste 5 meter.	Voorschrift handhaven: is niet beschouwd in deze studie.
4.8.5	De afstand tussen een propaanreservoir en de erfscheiding of inrichtingsgrens bedraagt ten minste 5 meter. Van deze afstand kan worden afgeweken indien zich aan de andere zijde een openbaar water of een terrein met agrarische bestemming (zoals weilanden, akkers en dergelijke, niet zijnde bebouwing) bevindt.	Minimale afstand van 5 meter aanhouden. De afstand mag verkleind worden tot 3 meter, indien zich aan de andere zijde een openbaar water of een terrein met agrarische bestemming (zoals weilanden, akkers en dergelijke, niet zijnde bebouwing) bevindt.
4.8.6	De afstand zoals genoemd in voorschrift vs 4.8.5 kan worden verkleind tot 3 meter indien tussen het propaanreservoir en de erfscheiding of inrichtingsgrens een brandmuur is geplaatst. De brandmuur bestaat in dat geval uit een geheel gesloten wand met een brandwerendheid van ten minste 30 minuten volgens NEN 6069. De brandmuur steekt ten minste 0,5 meter boven de bovenkant van het reservoir uit. De brandmuur heeft een zodanige lengte dat de afstand van elk punt van het reservoir tot de erfscheiding of inrichtingsgrens, om de muur heen gemeten, niet minder is dan de afstanden die gelden indien geen brandmuur is toegepast.	Voorschrift handhaven. Afstand mag verkleind worden tot 3 meter. Brandmuur is een adequate veiligheidsmaatregel (zie bijlage 3).
4.8.7	De afstand van het propaanreservoir tot kelderopeningen, straatkolken en	Afstand van 5 meter handhaven.

Datum
10 februari 2012

	aanzuigopeningen van ventilatiesystemen op < 1,5 m boven het maaiveld bedraagt ten minste 5 meter.	
4.8.8	De afstand tussen een propaanreservoir en open vuur binnen de inrichting bedraagt ten minste 15 meter.	Afstand van 5 meter aanhouden.
4.8.9	Tussen verdamper en de interne objecten, zoals genoemd in tabel 4-II onder a. t/m e., worden zodanige afstanden aangehouden dat de 100% LEL-waarde op die interne objecten niet wordt bereikt.	a. 10 meter in plaats van 5 meter (zie onderdeel 8 van deze bijlage). b. 5 meter aanhouden. c. 5 meter aanhouden. d. Afstand 10 kW/m ² bepaald conform bijlage 3: gevelbranden. e. 3 meter aanhouden. f. 15 meter aanhouden.
4.8.10	De afstand tussen een verdamper en open vuur binnen de inrichting bedraagt ten minste 15 meter.	Afstand van 15 meter handhaven.
4.8.11	Bij een afleverfrequentie van meer dan 5 keer per jaar, zijn de voorschriften vs 4.8.1 t/m vs 4.8.8 van overeenkomstige toepassing op de opstelplaats voor de tankwagens en het vulpunt.	Voorschrift handhaven.
4.8.12	Bij een afleverfrequentie van 5 keer of minder per jaar, bedraagt de afstand tussen de opstelplaats voor de tankwagens en het vulpunt, tot kelderopeningen, straatkolken en aanzuigopeningen van ventilatiesystemen op < 1,5 m boven het maaiveld ten minste 5 meter.	Afstand van 5 meter handhaven.

Datum
10 februari 2012

11. Samenvatting

Het voorstel is om bij plasbranden alleen de brandbare vloeistoffen uit de stofcategorie K1 en K2 te beschouwen, omdat de brandbare vloeistoffen uit de stofcategorie K3 en K4 moeilijk te ontsteken zijn (lage ontstekingskans) en niet zullen leiden tot branden.

Afbeelding 4-I uit de huidige PGS 19 zou vervangen kunnen worden door figuur 3 uit deze bijlagen.

Voor propaanreservoirs wordt aanbevolen de interne veiligheidsafstand af te laten hangen van de grootte van het reservoir. Ook kan overwogen worden om een warmtestralingscriterium van 35 kW/m² aan te houden tussen de propaanreservoirs.

De review van de voorschriften uit de subparagrafen 4.8.1 tot en met 4.8.3 geven aanleiding tot enkele kleine aanpassingen.

Voorstel voor de interne veiligheidsafstanden tussen propaanreservoirs.

Waterinhoud drukvat, V (m³)	Gatgrootte van het uitstromings- scenario (mm)	De afstand tot een warmtestralings- contour van 10 kW/m²	De afstand tot een warmtestralings- contour van 35 kW/m²
0,15 m ³ < V ≤ 1,0 m ³	2,0	5	4
1,0 m ³ < V ≤ 5 m ³	2,5	6	5
5 m ³ < V ≤ 13 m ³	3,5	8	6
13 m ³ < V ≤ 100 m ³	5,0	11	9
100 m ³ < V ≤ 150 m ³	6,5	14	11
V > 150 m ³	7,5	16	13

Datum
10 februari 2012



bijlage

Onderbouwing keuze scenario uitstroming uit een drukvat

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11

F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Datum

10 februari 2012

Bijlage nummer	2
Horend bij	Briefrapport
Referentie	
Contactpersoon	ir. S. Mahesh

In deze bijlage worden de werkzaamheden beschreven die een onderbouwing geven voor onder meer de keuze voor het scenario uitstroming uit een drukvat. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het project Interne veiligheidsafstanden PGS 19, projectnummer E/620500/01.

1. Algemeen

Voor de bepaling van de interne veiligheidsafstand tussen twee propaanreservoirs of tussen een propaanreservoir en een ander reservoir met tot vloeistof verdichte brandbare gassen is in de huidige richtlijn PGS 19 (Opslag van propaan) het volgende scenario beschouwd: uitstroming en ontsteking van vloeibaar LPG uit een 10 mm groot gat. De interne veiligheidsafstand wordt dan aan de hand van het voornoemde scenario bepaald, en is een afstand waar de warmtestraling als gevolg van de fakkelbrand is afgenomen tot een warmtestralingsintensiteit van 10 kW/m².

Dit scenario is gebaseerd op de richtlijn PGS 3 (Guidelines for quantitative risk assessment, Paarse Boek). Dit scenario is ook opgenomen in tabel 13 van de Handleiding Risicoberekeningen Bevi versie 3.2 – Module C (hierna: Handleiding) om de externe veiligheidsrisico's in kaart te brengen.

De interne veiligheidsafstand is dus afhankelijk van een uitstromingscriterium en een warmtestralingscriterium.

De externe veiligheidsrisico's van een drukvat worden volgens de Handleiding berekend aan de hand van drie generieke scenario's¹:

1. Het instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van het drukvat.
2. Het vrijkomen van de gehele inhoud van het drukvat in 10 minuten in een continue en constante stroom.
3. Het continu vrijkomen van de inhoud van het drukvat uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm.

Voor het vaststellen van interne veiligheidsafstanden worden de scenario's 1 en 2 niet beschouwd, omdat de kans op het optreden van deze scenario's tamelijk laag is ($5 \cdot 10^{-7}$ per jaar). De kans dat scenario 3 ($1 \cdot 10^{-5}$ per jaar) kan optreden is 20

¹ Opgenomen in de standaard scenario's: gelaste stempelen, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingen tot aan de eerste flens.

Niet opgenomen in de standaard scenario's: transportleidingen vanaf de (snel-)afsluiter, dampretourleiding, drukveiligheid en leidingstelsel.

keer hoger dan het optreden van de scenario's 1 en 2. Omdat scenario 3 relatief vaak kan optreden is de kans op escaleren groot. Er kunnen zich immers ongewenste domino-effecten voordoen: lekkages kunnen bij ontsteking leiden tot fakkelbranden die vervolgens ongewenste effecten kunnen hebben op nabij gelegen reservoirs. Daarom dient dit scenario voor de bepaling van de interne veiligheidsafstand nader beschouwd te worden.

Datum
10 februari 2012

2. Historische gegevens 10 mm uitstromingsscenario

Uit de studie LPG Integraal (1113 Kansschatting LPG, deel 6, blz. 13 t/m 15) blijkt dat scenario 3 betrekking heeft op lekkage. Als de diameter van de grootste aansluiting op het drukvat ≤ 3 inch is, dan wordt er voor het lek gerekend met een gatgrootte met een effectieve diameter van 10 mm en als de diameter van de grootste aansluiting op het drukvat > 3 inch is, dan wordt er voor het lek gerekend met een gatgrootte met een effectieve diameter van 20 mm.

Indien er sprake is van breuk dan wordt er gerekend met de diameter van de grootste aansluiting op het drukvat. Lekkages kunnen 10 keer vaker dan breuk voorkomen. De lekkages zijn het gevolg van een interne faaloorzaak. De belangrijkste faaloorzaken zijn volgens de studie LPG Integraal geweest: vermoeidheid (mechanisch en thermisch), materiaalgebreken, fabricage, externe corrosie en bediening.

De analyse in de studie LPG Integraal geeft aan dat kleine lekkages bij onvoldoende inspecties onvermijdelijk zullen uitgroeien tot grote lekkages (breuk). Tabel 2.4 van de studie LPG Integraal geeft een overzicht van de faalgegevens voor drukvaten en is gebaseerd op 6 literatuurbronnen (Balfanz, Smith and Warwick, Philips and Warwick, Kellerman and Seipel, SRS, ABMA Bush). Deze bronnen baseren hun faalgegevens op tussen de 0,1 en 30 miljoen drukvatjaren.

In de bronnen wordt melding gemaakt van het percentage fouten dat tijdens de regelmatig terugkerende inspecties wordt ontdekt. Dit percentage wordt praktisch geheel bepaald door "minor defects" (haarscheurtjes, zeer geringe lekkages, materiaalfoutjes). Indien deze "minor defects" tijdens inspecties niet ontdekt worden, bestaat de mogelijkheid dat hieruit "major defects" ontstaan. De kwaliteit van de inspecties is dus van bepalende betekenis voor de mogelijkheid dat de "minor defects" uitgroeien tot fouten die vallen onder de categorie "breuk".

Resumé

Op grond van het voorgaande ligt het voor de hand om voornamelijk kleine lekkages te beschouwen (geen breuk). De vraag is wat de omvang van deze lekkages is.

3. Incidentanalyse

3.1 Incidenten bij kleinverbruikers in Nederland

Tot de kleinverbruikers wordt in deze studie gerekend de landbouwbedrijven, de bouwterreinen en de recreatieterreinen. De beschikbare casuïstiekgegevens zijn opgenomen in deelrapport 2 van de studie LPG Integraal. Uit deze gegevens blijkt

dat bij de op- en overslag van LPG bij de kleingebruikers zich 19 ongevallen² hebben voorgedaan. In de stationaire toestand (opslag) is als gevolg van een leidinglekage³ en een leidingbreuk respectievelijk een BLEVE (freesmachine) en een brand opgetreden.

Tijdens de overslag zijn als gevolg van leidinglekages⁴ branden en/of explosies opgetreden. Explosies hebben zich ook voorgedaan na het overvullen van druktanks.

Daarnaast wordt in de studie LPG Integraal verwezen naar een rapport van de Rijkspolitie, waarbij in een gemeente 154 gasinstallaties zijn gecontroleerd. Er bleken slechts 13 installaties aan de gestelde eisen te voldoen. De gebreken aan de overige installaties betroffen een lekke tank, lekke leidingen en het ontbreken van afsluiters.

De druktanks die aanwezig zijn op onder meer landbouwbedrijven, bouwterreinen en recreatieterreinen zijn niet gelijk (bij de kleinverbruikers). De verdeling van de opgeslagen hoeveelheden LPG/propana bij deze kleinverbruikers is globaal als volgt:

- $0,15 \text{ m}^3 < \text{waterinhoud drukvat} \leq 1 \text{ m}^3$: nihil
 - o diameter grootste aansluiting: 0,75 inch.
- $1 \text{ m}^3 > \text{waterinhoud drukvat} \leq 5 \text{ m}^3$: ca. 85%
 - o diameter grootste aansluiting: 1,25 inch.
- $5 \text{ m}^3 > \text{waterinhoud drukvat} \leq 20 \text{ m}^3$: ca. 15%
 - o diameter grootste aansluiting: 1,25 inch.
- waterinhoud drukvat $> 20 \text{ m}^3$: ca. 0,3%
 - o diameter grootste aansluiting: 2 inch.

Breuk van leidingen is alleen van belang indien er een verdamper bij de tank aanwezig is. Hier wordt het vooralsnog niet beschouwd.

3.2 *Incidenten bij grootverbruikers in Nederland*

Tot de grootverbruikers behoren depots, terminals en raffinaderijen. De beschikbare casuïstiek is opgenomen in deelrapport 2 van de studie LPG Integraal. Uit deze gegevens blijkt dat bij de op- en overslag van LPG op het depot 7 ongevallen zijn geweest. In de stationaire toestand (opslag) is LPG vrijgekomen als gevolg van een leidinglekage⁵ en het ongewenst openen van een afsluiter. In het laatste geval is 27 m^3 LPG vrijgekomen.

Tijdens de verlading van depot naar tankauto is via een overdrukventiel 250 m^3 damp vrijgekomen. Ook is bij overslag naar de tankauto door lekkage 360 tot 500 kg LPG vrijgekomen. In geen van de gevallen is het vrijgekomen LPG ontstoken.

Bij de op- en overslag op raffinaderijen en terminals zijn 5 ongevallen met LPG geweest. In één geval was een veer van een dodemansknop defect en in een andere geval was er sprake van ongewenst openen van de drainafsluiter⁶. De

² Het betreft lekkages waarbij er vloeibaar en/of gasvormig propana is vrijgekomen. Lekkages van vloeibaar propana zijn bepalend voor de interne veiligheidsafstanden.

³ Grootte van het gat is niet bekend.

⁴ De omvang van deze lekkages is niet bekend.

⁵ De omvang van het lek is niet bekend.

⁶ Er komt vloeibaar LPG uit uit een drainslang met een diameter van 3 inch.

uitgestroomde hoeveelheden varieerden van 50 tot 2.000 kg LPG. Bij deze ongevallen is geen brand of explosie opgetreden.

Datum
10 februari 2012

Bij groot verbruikers: de diameter van de grootste aansluiting is 3 inch, 4 inch of groter.

Analyse incidenten uit de ARIA database (grootverbruikers).

- Propaan lek uit een opslagreservoir (14 juni 2004, Saint-Hervé, Frankrijk).
 - o Diameter lek: ca. 1 mm
 - o Oorzaak lek: corrosie
 - o Uitstroming: gas
- Lek in een LPG depot (14 januari 2002, Cournon d'Auvergne, Frankrijk).
 - o Lek via een 0,5 inch (maximaal 12,7 mm) verbindingspijp
 - o Oorzaak lek: vermoeidheid
 - o Uitstroming: gas

3.3 Grootschalige incidenten in Europa

Uit een analyse van de gegevens uit de MARS database⁷ leiden wij af dat er in Europa de afgelopen jaren 552 incidenten zijn geweest met brandbare gassen. Daarvan hadden 35 incidenten betrekking op de stoffen LPG (7), butaan (12) en propaan (16). Dat willen zeggen dat bij 6% van de incidenten er LPG (1%), butaan (2%) of propaan (3%) betrokken was. Dit is uitgewerkt in de figuren 1 en 2.

Daarbij waren de directe oorzaken voor het vrijkomen van LPG, butaan en propaan: het falen van de apparatuur, organisatorische fouten en menselijke fouten. Bijna de helft van de incidenten gebeuren door het falen van de apparatuur, terwijl een derde van incidenten veroorzaakt werd door organisatorische fouten. Ruim één op de tien incidenten werd veroorzaakt door een menselijke fout. In tabel 1 is dit nader gespecificeerd (zie ook figuur 3).

Tabel 1 Directie oorzaken voor het vrijkomen van LPG, butaan of propaan.

Directe oorzaak	Bijdrage (%)
Falen van de apparatuur ⁸	52
Organisatorische fouten	34
Menselijke fouten	11
Onbekend	3

De voornoemde gebreken of fouten leidden in de meeste gevallen tot lekkages (circa 72%). Deze lekkages traden op aan de laad- en losslangen, het leidingwerk, de kleppen en de flensverbindingen. Een enkele keer (6% van de gevallen) faalde het opslagreservoir. Tabel 2 geeft de procentuele verdeling van deze gebeurtenissen waarbij LPG, butaan of propaan vrijkwamen (zie ook figuur 4).

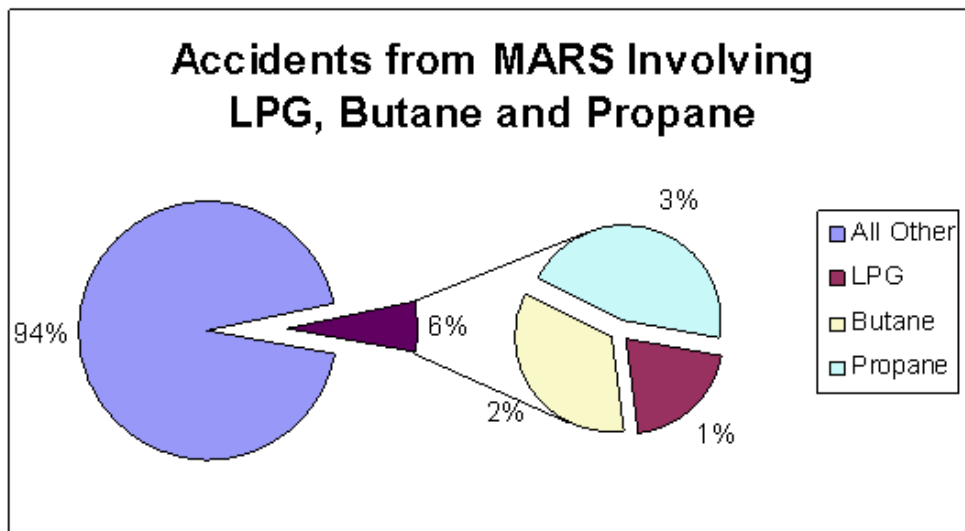
⁷ European Commission, Joint Research Centre

⁸ Is nader uitgewerkt in tabel 2.

Tabel 2 Het vrijkomen van LPG, propaan en butaan door onder meer lekkage.

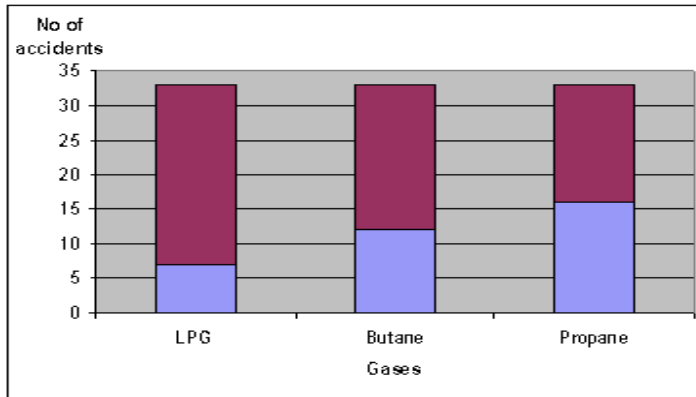
Gebeurtenis	Bijdrage (%)
Lekkage van de laad- en losslang	12
Lekkage van de leiding	24
Lekkage van de klep (drainen, monsternamen)	27
Lekkage van flesverbindingen	9
Catastrofaal falen van het reservoir	6
Overige / onbekend	22

Uit het voornoemde onderzoek leiden wij af dat in bijna drie van de vier gevallen dat er LPG, butaan of propaan is vrijgekomen het uiteindelijk heeft geleid tot brand, explosies en BLEVE's. In 8 % van de gevallen was er sprake van een fakkelbrand (zie figuur 5).

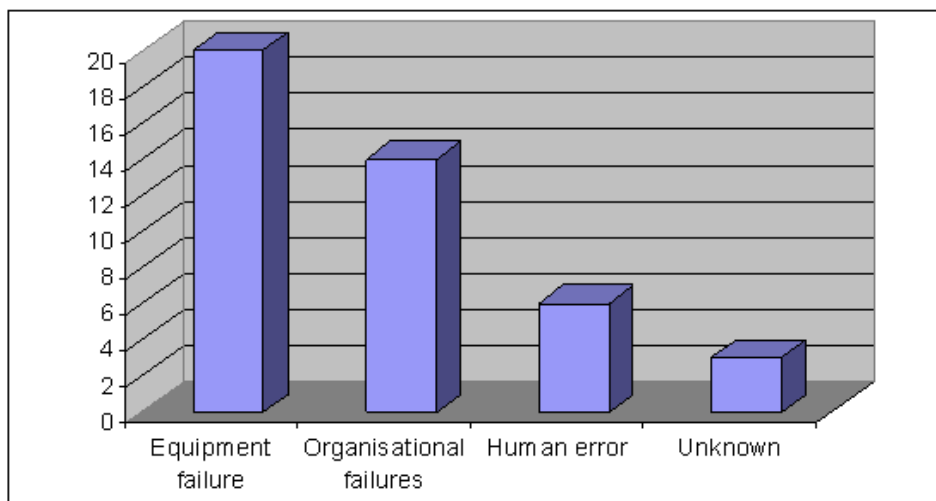


Figuur 1. Incidenten uit de MARS database voor de brandbare stoffen LPG, butaan en propaan.

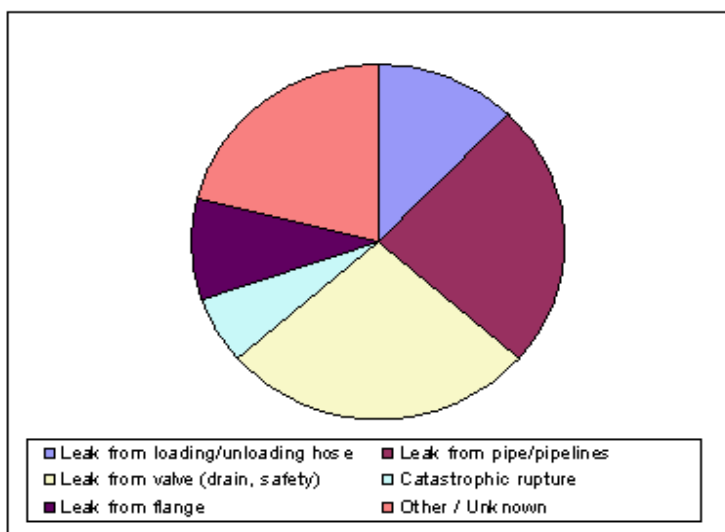
Datum
10 februari 2012



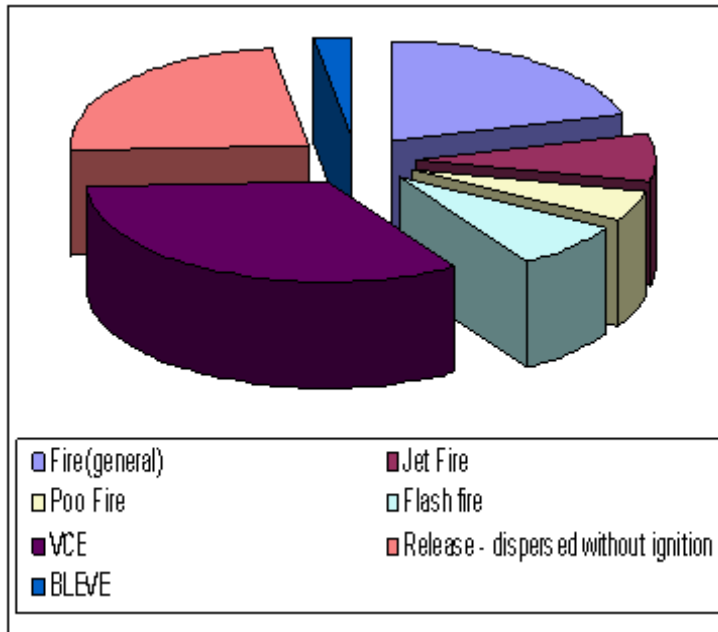
Figuur 2. Met de brandbare stoffen LPG, butaan en propaan zijn er 35 incidenten geweest in Europa.



Figuur 3. Direct oorzaak voor het vrijkomen van LPG, butaan en propaan.



Figuur 4. Het vrijkomen van LPG, butaan en propaan door onder meer lekkages.



Figuur 5. In 8% van de incidenten was er sprake van een fakkelbrand.

3.4 Incidenten met propaan opslagen in USA

In de USA vindt gemiddeld genomen een keer per dag een incident met een propaan/LPG opslag plaats. De incidenten variëren van zeer kleine lekken tot BLEVE's.

In de USA worden de volgende kengetallen gebruikt voor het berekenen van de effecten uit LPG drukvaten:

- Kleine lekkages: uitstroming uit een gat met een diameter van 0,25 inch (6,35 mm).
- Middelgrote lekken: uitstroming uit een gat met een diameter van 1 inch (25,4 mm).
- Grote lekken (breuk): uitstroming uit een gat met een diameter van de grootste aansluiting.

3.5. Slotconclusies voor het 10 mm uitstromingsscenario

Uit de analyse van de incidenten blijkt dat er bij de opslag van LPG lekken zijn geweest waarvan de omvang varieert. Het algemene beeld dat er alleen maar zeer kleine lekken (kleiner dan 1 mm gatgrootte⁹) zullen optreden, wordt door de incidentenanalyse en de hoeveelheid vrijgekomen LPG niet onderschreven.

Uit de analyse van de incidenten komt het beeld naar voren dat de meeste lekken zijn opgetreden bij onder meer de verbindingstukken tussen het reservoir, de leidingen en aansluitingen van appendages (flenzen, (flexibele) pijpverbindingen, drukmeters, etc.). Daarom ligt het voor de hand om bij de keuze van het uitstromingsscenario uit te gaan van de grootste aansluiting van het drukvat.

Het volledig falen van deze aansluiting wordt beschouwd in het scenario breuk van de aansluiting en is hier niet aan de orde. De scheuren die bij deze aan-

⁹ Kleine lekken zullen bij regulier onderhoud niet worden ontdekt en zullen uitgroeien tot grote waarneembare lekken.

sluitingen kunnen optreden, zullen volgens de aanpak uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi, kunnen uitgroeien tot lekken waarvan het gatgrootte een effectieve diameter heeft die overeenkomt met maximaal 10% van de grootste aansluiting(en).

Datum
10 februari 2012

Er is ook informatie ontvangen van VVG¹⁰ omtrent de in Nederland gangbare groottes van de aansluitingen op reservoirs voor de afname van vloeibaar LPG, butaan of propaan. Deze informatie is vertrekt door de leverenciers (De Visser, GLI en Rootselaar) van reservoirs. Deze informatie is in dit onderzoek en het voorstel meegenomen. In tabel 3 is dit nader uitgewerkt voor drukvaten.

Tabel 3. Voorstel voor de gatgrootte van het uitstromingsscenario.

Waterinhoud drukvat, V (m³)	Grootste aansluiting(en) (inch)	10% -grootste aansluiting¹¹ (mm)	Voorstel voor gatgrootte van uitstromingsscenario (mm)
0,15 m ³ < V ≤ 1,0 m ³	0,75	1,91	2,0
1,0 m ³ < V ≤ 5 m ³	0,75/1,25	2,54	2,5
5 m ³ < V ≤ 13 m ³	0,75/1,25/2,0	3,39	3,5
13 m ³ < V ≤ 100 m ³	2,0	5,09	5,0
100 m ³ < V ≤ 150 m ³	2,0/3,0	6,35	6,5
V > 150 m ³	3,0	7,62	7,5

4. Warmtestralingscriterium voor te beschermen objecten

Uit diverse onderzoeken¹² blijkt dat drukvaten bestand zijn tegen een hogere warmtestralingsintensiteit dan atmosferische opslagtanks. Het ligt voor de hand om deze ontwikkelingen mee te laten wegen in dit onderzoek.

In de onderzoeken is aangegeven dat indien onbeschermd stalen drukvaten die met vloeibaar propaan zijn gevuld, worden blootgesteld aan een warmtestralingsintensiteit van lager dan 40 kW/m² het langer dan 30 minuten duurt voordat deze drukvaten bezwijken.

Uit dezelfde onderzoeken blijkt dat indien onbeschermd atmosferische (stalen) tanks worden blootgesteld aan een warmtestralingsintensiteit van lager dan 10 kW/m² het langer dan 30 minuten duurt voordat deze atmosferische tanks bezwijken. Deze waarde kan ook gebruikt worden om andere kwetsbare objecten te beschermen (woningen, kantoorgebouwen, etc.).

Slotconclusie voor het warmtestralingscriterium

Op basis van de resultaten van de voornoemde onderzoeken kan overwogen worden om voor onbeschermd stalen drukvaten als criterium voor het falen van het drukvat door warmtestraling uit te gaan van een warmtestralingsintensiteit van 35 kW/m². Deze waarde sluit aan bij de Handleiding Risicoberekeningen Bevi¹³.

¹⁰ E-mail van de heer K. Meesters van 23 en 27 december 2011 aan de heer S. Mahesh.

¹¹ Op basis van het rekenkundig gemiddelde van de grootste aansluitingen.

¹² The assessment of the damage probability of storage tanks in domino events triggered by fire. G. Landucci et al.

Escalation threshold in the assessment of domino accidental events. V. Cozaani, et al.

The development of an inherent safety approach to the prevention of domino accidents. V. Cozani et al.

A study on domino effect in nuclear fuel cycle facilities. J. Bozzolan et al.

¹³ De kans op overlijden van personen is 100% bij blootstelling aan een warmtestralingsintensiteit van 35 kW/m².

Voor onbeschermdde atmosferische (stalen) tanks of drukvaten die niet van staal zijn vervaardigd, wordt voorgesteld om als warmtestralingscriterium voor het falen van deze onbeschermdde tanks een waarde van 10 kW/m² te hanteren. Een waarde die ook geldt voor de bescherming van kwetsbare objecten.

Datum
10 februari 2012

5. Samenvatting

De interne veiligheidsafstand is afhankelijk van een uitstromingscriterium en een warmtestralingscriterium.

Voor het uitstromingscriterium bevelen wij aan om voornamelijk kleine lekkages te beschouwen (geen breuk). In de onderstaande tabel wordt een voorstel gedaan voor de gatgrootte van dit uitstromingsscenario.

Waterinhoud drukvat, V (m ³)	Grootste aansluiting(en) (inch)	10% -grootste aansluiting ¹⁴ (mm)	Voorstel voor gatgrootte van uitstromingsscenario (mm)
0,15 m ³ < V ≤ 1,0 m ³	0,75	1,91	2,0
1,0 m ³ < V ≤ 5 m ³	0,75/1,25	2,54	2,5
5 m ³ < V ≤ 13 m ³	0,75/1,25/2,0	3,39	3,5
13 m ³ < V ≤ 100 m ³	2,0	5,09	5,0
100 m ³ < V ≤ 150 m ³	2,0/3,0	6,35	6,5
V > 150 m ³	3,0	7,62	7,5

Voor het warmtestralingscriterium zou overwogen kunnen worden om voor onbeschermdde stalen drukvaten als criterium voor het falen van het drukvat door warmtestraling uit te gaan van een warmtestralingsintensiteit van 35 kW/m²: deze waarde sluit aan bij de Handleiding Risicoberekeningen Bevi.

Voor onbeschermdde atmosferische stalen tanks of drukvaten die niet van staal zijn wordt voorgesteld om als warmtestralingscriterium voor het falen van deze onbeschermdde tanks een waarde van 10 kW/m² te hanteren. Een waarde die ook geldt voor de bescherming van kwetsbare objecten.

¹⁴ Op basis van het rekenkundig gemiddelde van de grootste aansluitingen.



bijlage

Gevelbranden

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11

F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Datum

10 februari 2012

Bijlage nummer	3
Horend bij	Briefrapport
Referentie	
Contactpersoon	ir. S. Mahesh

In deze bijlage worden de (deelproject)werkzaamheden beschreven voor gevelbranden die zijn uitgevoerd in het kader van het project Interne veiligheidsafstanden PGS 19, projectnummer E/620500/01. Concreet gaat het om een review van afbeelding 4-II uit de richtlijn PGS 19.

1. Algemeen

Voor gevallen waarbij een propaanreservoir is gelegen op een terrein in de omgeving van brandbare gebouwen¹, gebouwen met een brandbare inhoud of een andere brandbaar materiaal, dan dient het reservoir beschermd te worden tegen de stralingswarmte van een eventueel in brand geraken van deze objecten.

Hierbij zijn van belang de afstand van het reservoir tot een brandbaar object en de grootte van het warmte-uitstralende oppervlak van het brandende object dat vanaf het reservoir zichtbaar is.

Het warmte-uitstralende oppervlak wordt gevormd door onder meer de oppervlakken van ramen, deuren, houten schotten en houten wanden die bij brand kunnen leiden tot potentiële openingen in de gevel van het object en vanaf het reservoir zichtbaar zijn.

Het niet uitstralende oppervlak van een gevel wordt gevormd door het gedeelte van het geveloppervlak dat niet meebrandt, dat volgens NEN 6069 een brandwerendheid van minimaal 30 minuten heeft en vanaf het reservoir zichtbaar is.

In dit onderzoek zijn 2 typen branden in een gebouw beschouwd, namelijk

1. Koolwaterstofbranden (hydrocarbonbrandkromme, HC Eurocode 1);
2. Cellulosenitratbranden (standaardbrandkromme volgens NEN 6069/A2).

Ad 1. Koolwaterstofbranden zijn relevant voor typische hete branden (onder meer materiaal waarbij koolwaterstoffen zijn betrokken). Dit zijn branden met een relatief snel temperatuursverloop. De temperatuur van de brand neemt in circa 5 minuten na de aanvang van de brand toe tot 900 á 935 °C ten opzichte van de omgevingstemperatuur, zodat er sprake is van een relatief hoge vuurbelasting. Voorbeelden van koolwaterstofbranden zijn branden waarbij brandbare vloeistoffen, zoals hexaan, bij zijn betrokken.

Ad 2. Cellulosenitratbranden zijn typerend voor minder hete branden (onder meer verpakkingsmateriaal van papier) waarbij de temperatuur minder snel stijgt

¹ Brandwerendheid is minder dan 30 minuten volgens NEN 6069.

dan bij een koolwaterstofbrand. In ongeveer 30 minuten na de aanvang van de brand neemt de temperatuur toe tot ca. 800 °C. Er is sprake van een relatief lage vuurbelasting.

Datum
10 februari 2012

Er is berekend op welke afstand van een gevelbrand een warmterstralingsbelasting van 10 kW/m² en 35 kW/m² optreedt .

2. Algemene aanpak voor de berekening van gevelbranden

De aanpak voor de modellering van gevelbranden is gebaseerd op de aanbevelingen uit de richtlijn PGS 2 "Methods for the calculation of physical effects" uit de Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen.

De volgende algemene uitgangspunten worden voor de berekening gehanteerd.

1. De gevel heeft een brandend oppervlak ($A[m^2]$) met een breedte ($B[m]$) en hoogte ($H[m]$).
 2. De gevel wordt als een vlakke straler gemodelleerd.
 3. De vlakke straler straalt met een vaste warmtestralingsintensiteit (Q_{bron}) die afhankelijk is van het type brand (koolwaterstof- of cellulosenitraat-brand).
 4. De vlamhoogte ($H_{vlam}[m]$) is maximaal $1,6 \cdot H$ (hoogte brandende gevel).
 5. De ontvanger bevindt zich op maaiveldhoogte en loodrecht vòòr de brandende gevel ($X[m]$).
 6. De warmtestralingsintensiteit bij de ontvanger ($q_{ontvanger}$) wordt berekend aan de hand van: $q_{ontvanger} = \tau \cdot F_{max} \cdot Q_{bron}$ [kW/m²] (1)
- τ : atmosferische transmissiviteit [-]
 F_{max} : maximale zichtfactor vanuit de ontvanger [-]
 Q_{bron} : warmtestralingsintensiteit van de vlakke straler [kW/m²]

Het bepalen van de atmosferische transmissiviteit (τ), de maximale zichtfactor (F_{max}) en de warmtestralingsintensiteit van een vlakke straler (Q_{bron}).

1. Atmosferische transmissiviteit (τ)

$$\tau = 2,02 \cdot (P_w \cdot X)^{-0,09} \quad (2)$$

- P_w [Pa]: partiële dampspanning van water bij omgevingstemperatuur (T_a) en relatieve luchtvochtigheid (RH)
- RH = 82%; $T_a = 282$ K (zie Handleiding Risicoberekeningen Bevi, HARI)
- P_w wordt berekend uit de partiële dampspanning van water in lucht (P_{ws})
- P_{ws} [Pa] = $[\text{EXP}(77,3450 + 0,0057 \cdot T_a - 7235/T_a)]/T_a^{8,2}$ (3)
- $P_w = (RH/100) \cdot P_{ws}$ (4)
- $P_{ws} = 1.133$ Pa $\rightarrow P_w = 931$ Pa.

2. Maximale zichtfactor ten opzichte van de ontvanger (F_{max})

Voor de notatie wordt figuur 6.A.10 uit de richtlijn PGS 1 gebruikt.

- $h_r = 1,6 \cdot H/B$ (5)
- $x_r = X/B$ (6)
- $A = 1/(h_r^2 + x_r^2)^{0,5}$ (7)
- $B = h_r/(1 + x_r^2)^{0,5}$ (8)
- $F_h = (1/2\pi) \cdot [\tan^{-1}(1/x_r) - A \cdot x_r \cdot \tan^{-1}(A)]$ (8)
- $F_v = (1/2\pi) \cdot [h_r \cdot A \cdot \tan^{-1}(A) - (B/h_r) \cdot \tan^{-1}(B)]$ (9)
- $F_{max} = (F_h^2 + F_v^2)^{0,5}$ (10)

3. De warmtestralingsintensiteit van de vlakke straler (Q_{bron})

- $Q_{\text{bron}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{vl}}^4 - T_{\text{a}}^4)$ [kW/m²] (11)
- ε = emissiefactor [-] = 1
- σ = constante van Stefan-Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-11}$ kW/m²·K⁴
- T_{vl} = temperatuur van de vlam (K)
- T_{a} = temperatuur van de omgeving (K)

Datum
10 februari 2012

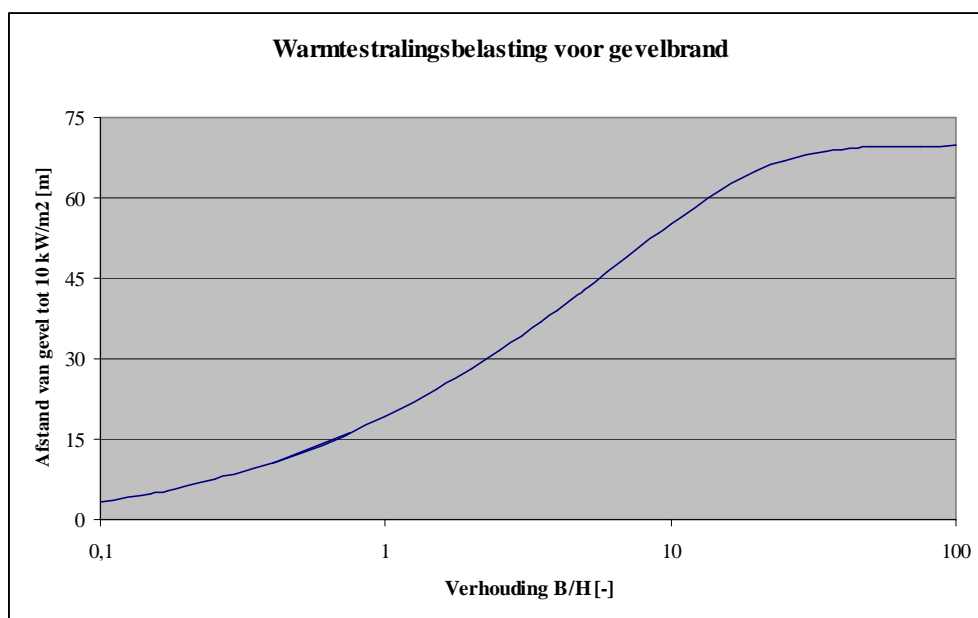
Voor koolwaterstofbranden geldt $T_{\text{vl}} \approx 1208$ K -> $Q_{\text{bron}} = 120$ kW/m²
Voor cellulosenitraatbranden geldt $T_{\text{vl}} \approx 945$ K -> $Q_{\text{bron}} = 45$ kW/m²

In het model wordt verder voor elk brandende geveoppervlak op een afstand X van de gevel de waarden voor F_{max} en τ berekend. Met de voornoemde formules en de waarde voor de bronstraler wordt dan op een afstand X de warmtestralingsbelasting berekend.

3. Warmtestralingsbelasting voor koolwaterstofbranden uit gebouwen

3.1 Warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² voor gevelbranden

De warmtestralingsberekeningen zijn uitgevoerd voor gevels met een opening² die overeenkomt met een standaardhoogte van 10 meter³ (H) en met variërende breedtes voor de opening in de gevel (B). Met het rekenmodel worden er dan afstanden berekend waar de warmtestralingsbelasting 10 kW/m² bedraagt. In figuur 1 is het resultaat van deze berekeningen vermeld.



Figuur 1. Warmtestralingsbelasting voor een gevelbrand. Er is uitgegaan van een koolwaterstofbrand en een standaard hoogte van 10 meter. Op de horizontale as is de verhouding tussen de breedte en de hoogte van de gevelopening (het warmtestralend oppervlak) vermeld. Op de verticale as is de afstand aangegeven voor een warmtestralingsbelasting van 10 kW/m².

² Een warmtestralend oppervlak.

³ De gemiddelde hoogte van opslagloodsen.

De afstand waarop de warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² (D) optreedt, kan voor een standaard hoogte van 10 meter en een willekeurige breedte van de opening (B) met de volgende formule⁴ worden berekend ($0,1 \leq [B/H] \leq 50$).

Datum
10 februari 2012

- $D_{\text{voor } 10 \text{ kW/m}^2} = a + b \cdot (B/H) \cdot \ln(B/H) + c \cdot (B/H)^2 \cdot \ln(B/H) + d \cdot (B/H)^{0,5}$ (12)
 - a = -4,2146
 - b = -0,6710
 - c = 0,0041
 - d = 23,4144

In tabel 1 zijn enkele waarden hiervoor gegeven.

Tabel 1. De warmtestralingsbelasting vanuit een gevelopening met een standaard hoogte van 10 meter en voor een koolwaterstofbrand.

Gevelopening[m ²]	Breedte [m]	B/H [-]	Afstand tot 10 kW/m ² [m]	Afstand tot 35 kW/m ² [m]
10	1	0,1	3,5	< 3
20	2	0,2	6,5	< 3
50	5	0,5	13	5
75	7,5	0,75	16	6
100	10	1,0	20	7
150	15	1,5	24	10
200	20	2,0	28	11
250	25	2,5	32	13
300	30	3,0	35	14
350	35	3,5	37	15
400	40	4,0	39	15
450	45	4,5	41	16
500	50	5,0	43	16
750	75	7,5	51	18
1.000	100	10	56	18
1.500	150	15	62	18
2.000	200	20	66	19
2.500	250	25	67	19
3.000	300	30	68	19
3.500	350	35	68,5	19
4.000	400	40	69	19
5.000	500	50	70	19
7.500	750	75	70	19
10.000	1.000	100	70	19

De afstanden en de tabelwaarden gelden onder de volgende voorwaarden.

- De brand duurt langer dan 3 minuten: de vuurlast in het gebouw is hoger dan 3 kg⁵ vurehout-equivalent/m²
- De brandwerendheid van het gebouw is minimaal 30 minuten.
- In de berekening wordt uitgegaan van de som van alle gevelopeningen in de te beschouwen gevel.

⁴ De waarden die met het rekenmodel zijn berekend zijn gefit met het programma TableCurve 2D (v5.01).

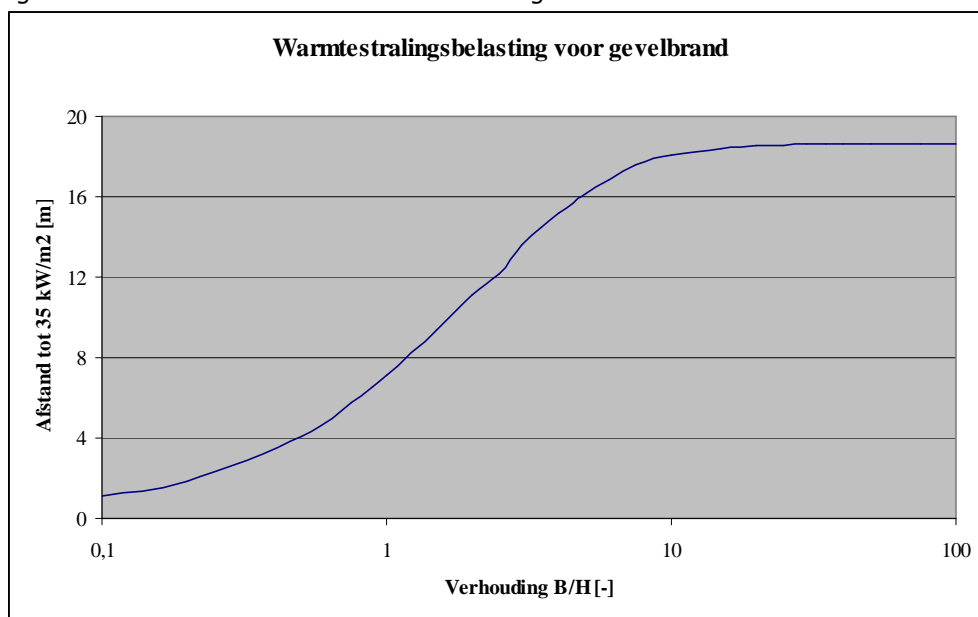
⁵ Is een indicatieve waarde en is gebaseerd op de Onderzoeksrapportage "Brandbeveiligingsconcept Beheersbaarheid van Brand". Oktober 1995.

- De berekende afstanden gelden ten opzichte van de grootste gevelopening.

Datum
10 februari 2012

3.2 Warmtestralingsbelasting van 35 kW/m² voor gevelbranden

De warmtestralingsberekeningen zijn uitgevoerd voor gevels met een opening⁶ die overeenkomt met een standaard hoogte van 10 meter (H) en met variërende breedtes voor de opening in de gevel (B). Met het rekenmodel worden er dan afstanden berekend waar de warmtestralingsbelasting 35 kW/m² bedraagt. In figuur 2 is het resultaat van deze berekeningen vermeld.



Figuur 2. Warmtestralingsbelasting voor een gevelbrand. Er is uitgegaan van een koolwaterstofbrand en een standaard hoogte van 10 meter. Op de horizontale as is de verhouding tussen de breedte en de hoogte van de gevelopening (warmte stralend oppervlak) vermeld. Op de verticale as is de afstand aangegeven voor een warmtestralingsbelasting van 35 kW/m².

De afstand waarop de warmtestralingsbelasting van 35 kW/m² (D) optreedt, kan voor een standaard hoogte van 10 meter en een willekeurige breedte van de opening (B) met de volgende formule⁷ worden berekend ($0,1 \leq [B/H] \leq 50$).

- $D_{\text{(voor 10 kW/m}^2\text{)}} = [a + c \cdot (B/H) + e \cdot (B/H)^2] / [(1 + b \cdot (B/H) + d \cdot (B/H)^2)]$ (13)
 - a = 0,2664
 - b = 0,4030
 - c = 8,7157
 - d = 0,0824
 - e = 1,5174

In tabel 1 zijn hiervoor enkele waarden gegeven.

⁶ Een warmtestralend oppervlak.

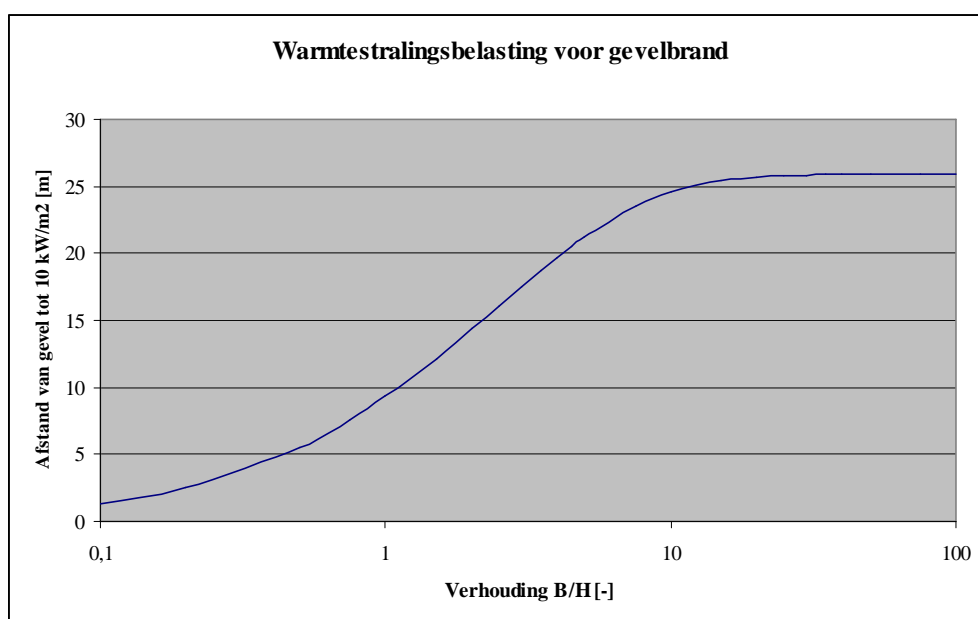
⁷ De waarden uit het rekenmodel zijn gefit met het programma TableCurve 2D (v5.01).

4. Warmtestralingsbelasting voor cellulosenitraatbranden uit gebouwen

Datum
10 februari 2012

4.1 Warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² voor gevelbranden

De warmtestralingsberekeningen zijn uitgevoerd voor gevels met een opening⁸ die overeenkomt met een standaard hoogte van 10 meter⁹ (H) en met variërende breedtes voor de opening in de gevel (B). Met het rekenmodel worden er dan afstanden berekend waar de warmtestralingsbelasting 10 kW/m² bedraagt. In figuur 3 is het resultaat van deze berekeningen vermeld.



Figuur 3. Warmtestralingsbelasting voor een gevelbrand. Er is uitgegaan van een standaardbrandkromme en een standaard hoogte van 10 meter. Op de horizontale as is de verhouding tussen de breedte en de hoogte van de gevelopening vermeld. Op de verticale as is de afstand aangegeven voor een warmtestralingsbelasting van 10 kW/m².

De afstand waarop de warmtestralingsbelasting van 10 kW/m² (D) optreedt, kan voor een standaard hoogte van 10 meter en een willekeurige breedte van de opening (B) als volgt worden berekend¹⁰ (maximale verhouding [B/H] = 50).

- $D_{\text{(voor 10 kW/m}^2\text{)}} = [a + c \cdot (B/H) + e \cdot (B/H)^2] / [(1 + b \cdot (B/H) + d \cdot (B/H)^2)]$ (14)
 - a = 0,3300
 - b = 0,4106
 - c = 12,006
 - d = 0,0410
 - e = 1,0489

In tabel 2 zijn enkele waarden hiervoor gegeven.

⁸ Een warmtestralend oppervlak.

⁹ De gemiddelde hoogte van opslagloodsen.

¹⁰ De rekenwaarden uit het model zijn gefit met het programma TableCurve 2D (v5.01).

Tabel 2. De warmtestralingsbelasting vanuit een gevelopening met een standaard hoogte van 10 meter en voor een standaardbrand.

Gevelopening[m ²]	Breedte [m]	B/H [-]	Afstand tot 10 kW/m ² [m]
10	1	0,1	< 3
20	2	0,2	< 3
50	5	0,5	5,5
75	7,5	0,75	7,5
100	10	1,0	9,5
150	15	1,5	12
200	20	2,0	14,5
250	25	2,5	16
300	30	3,0	17,5
350	35	3,5	19
400	40	4,0	20,5
450	45	4,5	21
500	50	5,0	21,5
750	75	7,5	23,5
1.000	100	10	24,5
1.500	150	15	25,5
2.000	200	20	26
2.500	250	25	26
3.000	300	30	26
3.500	350	35	26
4.000	400	40	26
5.000	500	50	26
7.500	750	75	26
10.000	1.000	100	26

De afstanden en de tabelwaarden gelden onder de volgende voorwaarden.

- De brand duurt langer dan 8 minuten: de vuurlast in het gebouw is hoger dan 8 kg¹¹ vurehout-equivalent/m²
- De brandwerendheid van het gebouw is minimaal 30 minuten.
- In de berekening wordt uitgegaan van de som van alle gevelopeningen in de te beschouwen gevel.
- De berekende afstanden gelden ten opzichte van de grootste gevelopening.

4.2 Warmtestralingsbelasting van 35 kW/m² voor gevelbranden

Een warmtestalingsbelasting van 35 kW/m² treedt op een kortere afstand op van de gevel dan een warmtestralingsbelasting van 10 kW/m². Er geldt voor gelijk blijvende gevelstralers dat de warmtestralingsbelasting bij een ontvanger voornamelijk bepaald wordt door de waarde van de maximale zichtfactor en de afstand en in mindere mate door de atmosferische transmissiviteit.

Uit diverse modelberekeningen blijkt dat de afstand waarop een warmtestralingsbelasting van 35 kW/m² optreedt ongeveer een factor 12,5 lager ligt dan de afstand voor een warmtestralingsbelasting van 10 kW/m². Uit deze berekeningen blijkt dat voor de beschouwde gevelopeningen ($0,1 \leq B/H \leq 50$) de

¹¹ Is een indicatieve waarde en is gebaseerd op de Onderzoeksrapportage "Brandbeveiligingsconcept Beheersbaarheid van Brand". Oktober 1995. .

afstand voor een warmtestralingsbeslating van 35 kW/m^2 altijd kleiner zal zijn dan 3 meter.

Daarom bevelen wij aan een minimale afstand van 3 meter aan te houden tussen een gebouw waarin een brand volgens de standaardbrankromme kan optreden en een object dat blootgesteld wordt aan een warmtestralingsbelasting van maximaal 35 kW/m^2 .

Datum
10 februari 2012

5. Berekening warmtestralingsbelasting van 10 kW/m^2 of 35 kW/m^2 voor een andere hoogte dan de standaard hoogte van 10 meter

Met formule 12 en 13 of de waarden uit tabel 1 en 2 kunnen voor andere hoogtes van een gevelopening de afstand voor de warmtestralingsbelasting van 10 kW/m^2 of 35 kW/m^2 worden berekend. Hiervoor gelden de volgende rekenregels.

1. $H_{\text{gevelopening}} \neq H_{\text{standaard van 10 meter}}$.
2. Bereken de waarde $(B/H_{\text{gevelopening}})$.
3. Substitueer deze waarde in de voornoemde vergelijking.
4. Bereken met vergelijking 12 of 13 de afstand (D) voor de warmtestralingsbelasting van respectievelijk 10 kW/m^2 en 35 kW/m^2 .
5. Bepaald de verhouding tussen de hoogte van de relevante gevelopening en de standaard hoogte $(H_{\text{gevelopening}}/H_{\text{standaard van 10 meter}})$.
6. De afstand voor warmtestralingsbelasting van 10 kW/m^2 of 35 kW/m^2 bedraagt dan $D_{H_{\text{gevelopening}}} = (H_{\text{gevelopening}}/H_{\text{standaard van 10 meter}}) \cdot D$ [m].
7. Voor alle gevallen geldt: indien de berekende afstanden kleiner zijn dan 3 meter dan geldt als minimale afstand 3 meter¹² voor de 10 en 35 kW/m^2 -contour.
8. Indien de hoogte van een gevelopening ($H_{\text{gevelopening}}$) kleiner is dan 1 meter, dan in de berekening uitgaan van een hoogte van 1 meter.

Voorbeeld:

Een gebouw waarin brandbare stoffen zijn opgeslagen, heeft een gevelopening met een breedte van 20 meter en een hoogte van 5 meter. De vraag is welke afstand tot objecten moet worden aangehouden om brandoverslag te voorkomen (10 kW/m^2 -contour).

- $B = 20$ meter, $H_{\text{gevelopening}} = 5$ meter $\rightarrow B/H_{\text{gevelopening}} = 4$.
- Bereken de afstand voor deze waarde met behulp van formule 12 of maak gebruik van tabel 1 $\rightarrow D = 39$ meter.
- De verhouding $H_{\text{gevelopening}}/H_{\text{standaard van 10 meter}}$ bedraagt $0,5 (= 5/10)$.
- De afstand voor warmtestralingsbelasting van 10 kW/m^2 voor een gevelopening met een breedte van 20 meter en een hoogte van 5 meter bedraagt dan: $D_{H_{\text{gevelopening}}} = 0,5 \cdot 39 = 19,5$ [m].

6. Vergelijken van de rekenresultaten met afbeelding 4-II

Alleen de rekenresultaten uit paragraaf 3.1 zijn te vergelijken met afbeelding 4-II, omdat voor beide situaties wordt uitgegaan van een hete brand in een gebouw en een warmtestralingsbelasting van 10 kW/m^2 . Afbeelding 4-II is volgens onze beschouwing te conservatief. Indien het oppervlak van de gevelopening kleiner is dan 15 m^2 , dan moet volgens afbeelding 4-II (voor de situatie 100% gevelopeningen) een afstand van minimaal 7,5 meter worden aangehouden. Volgens

¹² In verband met de betrouwbaarheid van de rekenresultaten. Op afstanden korter dan 3 meter worden andere effecten van de uitslaande vlam relevant, zoals de effecten van vlamtongen. Deze aspecten zijn niet verdisconteerd in de huidige rekenmethodiek.

onze berekening geldt deze afstand als het stralende geveloppervlak ca 25 m² is. Ook voor grotere gevelopeningen blijken de afstanden uit afbeelding 4-II groter uit te vallen dan de afstanden uit onze modelberekeningen.

Datum
10 februari 2012

In afbeelding 4-II zijn grafieken gegeven waarbij wordt uitgegaan van het geveloppervlak en het percentage gevelopeningen. Wij stellen voor om alleen uit te gaan van de gevelopening van de relevante gevel. Het voordeel van deze aanpak is dat volstaan kan worden met één grafiek en dat de afstand geldt ten opzichte van de gevelopening in plaats van de gehele gevel.

Hoewel afbeelding 4-II ook indirect toegepast kan worden voor branden met een lagere vuurbelasting (bijvoorbeeld cellulosenitraatbrand volgens een standaardbrandkromme), blijkt dit in de praktijk omslachtig en ingewikkeld te zijn. In de huidige richtlijn PGS 19 ontbreken hiervoor de rekenregels. Daarom wordt voorgesteld om hiervoor een aparte afbeelding te gebruiken, zoals in deze bijlage is aangegeven.

Aanvullend op afbeelding 4-II kan overwogen worden om in de nieuwe richtlijn PGS 19 ook afstanden voor een warmtestralingsbelasting van 35 kW/m² ten gevolge van gevelbranden te beschouwen. In deze bijlage zijn daarvoor aanbevelingen gedaan.

7. Samenvatting

Op basis van onze berekeningen leiden wij af dat afbeelding 4-II conservatief is voor de aan te houden veiligheidsafstanden.



bijlage

Fysieke veiligheidsmaatregelen

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11

F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Datum

10 februari 2012

Bijlage nummer	4
Horend bij	Briefrapport
Referentie	
Contactpersoon	ir. S. Mahesh

In deze bijlage worden de werkzaamheden beschreven die betrekking hebben op het geven van voorstellen voor fysieke veiligheidsmaatregelen met als doel de veiligheidsafstanden in knelpuntsituaties te kunnen reduceren. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het project Interne veiligheidsafstanden PGS 19, projectnummer E/620500/01.

1. Algemeen

Fysieke veiligheidsmaatregelen zijn bedoeld om een propaanreservoir te beschermen tegen de omgeving (reservoir met propaan of andere brandbare vloeistof, kwetsbare objecten, etc.) en vice versa, indien er niet kan worden voldaan aan de veiligheidsafstanden of uit ruimte gebrek.

Wij geven in deze bijlage voorstellen voor het treffen van fysieke veiligheidsmaatregelen. De veiligheidsmaatregelen zullen globaal en kwalitatief worden beschreven. In dit onderzoek wordt een beperkt aantal (maximaal 5) fysieke veiligheidsmaatregelen uitgewerkt die uit oogpunt van brandveiligheid het meest effectief zijn. Bij de keuze van de fysieke veiligheidsmaatregelen laten wij meewegen in hoeverre deze veiligheidsmaatregelen overeenstemmen met de huidige stand der techniek.

2. Aanpak voor en de keuze van de maatregelen

2.1 Algemene aanpak voor de keuze van veiligheidsmaatregelen

De algemene aanpak bij het treffen van fysieke veiligheidsmaatregelen is dat het treffen van maatregelen aan de bron (hoogste prioriteit) de voorkeur heeft boven het treffen van maatregelen bij de ontvanger (laagste prioriteit). Zodoende hebben bronmaatregelen de voorkeur. Er kunnen zowel passieve als actieve maatregelen worden getroffen.

Verder zijn de volgende aspecten relevant voor het maken van een keuze voor een veiligheidsmaatregel¹.

- De technische integriteit van de fysieke veiligheidsmaatregel moet tijdens de gebruiksduur zijn geborgd.
 - o De veiligheidsmaatregel moet van onbrandbaar materiaal zijn vervaardigd.

¹ M. Molag. Onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen ter voorkoming van een warme BLEVE van een autogas tankauto. TNO rapport 2006-A-R0307/B. december 2006.

- o De veiligheidsmaatregel moet bestand zijn tegen de inwerking van propaan.
- o Brandwerendheid: indien de veiligheidsmaatregel wordt aangebracht op een reservoir dan moet het een brandwerendheid hebben van minimaal 60 minuten. Voor dragende constructies geldt een brandwerendheid van minimaal 120 minuten.
- o De veiligheidsmaatregel moet bestand zijn tegen bluswerkzaamheden.
- o De veiligheidsmaatregel moet aan de volgende duurzaamheidseisen voldoen.
 - Weer- en omgevingscondities: de veiligheidsmaatregel dient bestand te zijn tegen alle in Nederland heersende weercondities (vorst, regen, temperatuurswisselingen) en tegen invloed van UV-licht.
 - Bestendigheid tegen externe impact (botsen).
 - Corrosie bestendigheid.
- De fysieke veiligheidsmaatregel moet altijd goed bereikbaar zijn (voor het uitvoeren van inspecties, etc.).

2.2 *Algemene fysieke veiligheidsmaatregelen*

Wij hebben een aantal algemene fysieke veiligheidsmaatregelen getoetst aan de voorgenoemde criteria. Op basis van de analyse die wij hebben uitgevoerd, komen in principe de volgende fysieke veiligheidsmaatregelen in algemene zin in beeld voor de beschouwde situatie (propaanreservoir).

- Brandbeschermende bekleding
- Brandbeschermde verflaag
- Gronddekking van het reservoir
- Watersproei-installatie (sprinklers/waterschermen)
- Brandmuren
- Brandschermen
- Keerwanden/-wallen

2.3 *Specifieke fysieke veiligheidsmaatregelen*

Wij hebben de fysieke veiligheidsmaatregelen die in paragraaf 2.2 zijn genoemd vervolgens getoetst aan de specifieke criteria voor de propaanopslag, dat wil zeggen dat bij een calamiteit een object beschermd moet worden tegen een mogelijke fakkelbrand. In dat geval komen dan de volgende fysieke veiligheidsmaatregelen in beeld.

- Sprinklerinstallatie²;
- Hittewerende bekleding³;
- Gronddekking van een reservoir (ondergronds of interpen)⁴;
- Brandmuren⁵;
- Hittewerende verflaag⁶.

² T.A. Roberts. Linkage of a known level of LPG tank surface water coverage to the degree of jet-fire protection provided. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17. 2004.

³ G. Landucci, et al. Modeling the performance of coated LPG tanks engulfed in fires. *Journal of Hazardous Materials*. 2009.

⁴ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen PGS 18. Distributiedepots voor LPG.

⁵ S.Mahesh. Advies inzake onderzoeksvragen Evaluatie Vuurwerkbesluit. Kenmerk 101/09 CEV Mah/sij-2353. 14 april 2009.

⁶ Deze maatregel is alleen effectief, indien het te beschermen object fysiek niet in contact komt met een plas- of fakkelbrand. In de praktijk komt het er op neer dat deze maatregel alleen toegepast kan worden voor solitaire

Toelichting:

- *Sprinklerinstallatie*: een sprinklerinstallatie is effectief bij het koelen van (plasbranden en) fakkelbranden. Er moeten wel specifieke eisen worden gesteld aan de dimensionering van de sprinklerinstallatie.
- *Hittewerende bekleding*: er zijn diverse hittewerende bekledingsmaterialen bekend waarvan de werking is gebaseerd op basis van epoxy- en cementachtige materialen. Deze hittewerende bekledingen kunnen bescherming bieden tegen plasbranden én fakkelbranden en worden in de (petro)chemische industrie met succes toegepast.
- *Gronddekking van het reservoir*: het voldoende ondergronds aanleggen van een reservoir zal het reservoir beschermen tegen de invloeden van een plas- en fakkelbrand. Het interpen van een reservoir zal het reservoir ook beschermen tegen de invloeden van een plas- en fakkelbrand. Er dienen wel specifieke eisen (o.m. dikte gronddekking, etc.) gesteld te worden aan de dimensionering van de terp. De terp moet robuust zijn ontworpen, zodat de terp niet kan wegspoelen door de inwerking van de fakkel of bij bluswerkzaamheden.
- *Brandmuren*: deze fysieke veiligheidsmaatregel is heel effectief om een propaanreservoir te beschermen tegen plasbranden en fakkelbranden. Er dienen wel eisen gesteld te worden aan het materiaal waarvan de muur is vervaardigd. Daarnaast zullen specifieke eisen moeten worden gesteld aan de dimensionering van de brandmuur (dikte, lengte en hoogte van de muur).
- *Hittewerende verflaag*: Er wordt hiervoor verf gebruikt met een opschuimend effect. De laagdikte van deze opgebrachte verflaag bedraagt enkele micrometers. Deze verflaag is kwetsbaar voor krassen, etc. waardoor de beschermende functie verloren kan gaan en van beperkte aard is. De hittewerende verflaag geeft een beperkte bescherming tegen plasbranden en geen bescherming tegen fakkelbranden. Daarom is deze maatregel alleen effectief, indien het te beschermen object fysiek niet in contact komt met een plas- of fakkelbrand. In de praktijk komt het er op neer dat deze maatregel alleen toegepast kan worden voor solitaire propaanreservoirs die beschermd moeten worden tegen de warmtestraling van een brandbaar object in de omgeving.
- *Waterschermen*: waterschermen zijn niet effectief gebleken bij fakkelbranden. Door de hoge impuls van de fakkel, zal de fakkel dwars door het waterscherm heen dringen en het propaanreservoir direct belasten.
- *Brandschermen*⁷: zijn niet effectief bevonden voor het afschermen van een fakkelbrand, omdat door het toepassen van bijvoorbeeld gaas slechts een gedeelte van de straling kan worden gereduceerd en bovendien direct vlamcontact mogelijk is tussen de fakkel en het reservoir.
- *Keerwallen/-wanden*: in beginsel kunnen keerwallen of keerwanden een fakkel weren, maar daardoor ontstaat een plas die in de richting van het propaanreservoir kan toestromen en tot nadelige gevolgen kan leiden. Daarom zijn keerwallen en keerwanden geen effectieve fysieke veiligheidsmaatregelen.

propaanreservoirs en die beschermd moeten worden tegen de warmtestraling van een brandbaar object in de omgeving.

⁷ Rapport Onderbouwing van het model opgesteld voor de berekening van de bij een houtbrand optredende warmtestralingsniveaus. Ministerie van VROM. 28 mei 2004.

De effectiviteit van de vijf aanbevolen fysieke veiligheidsmaatregelen voor deze specifieke situatie is niet in dit onderzoek beschouwd, omdat dat geen deel uitmaakt van de onderzoeksopdracht.

3. Samenvatting

Uit een globale inventarisatie van ons blijkt dat er vijf fysieke veiligheidsmaatregelen vooralsnog in aanmerking komen voor het beschermen van propaanreservoirs tegen mogelijke gevolgen van fakkelbranden.

Het betreft de volgende fysieke veiligheidsmaatregelen.

- Sprinklerinstallatie;
- Hittewerende bekleding;
- Gronddekking van een reservoir (ondergronds of interpen);
- Brandmuren;
- Hittewerende verflaag;

De effectiviteit van deze vijf veiligheidsmaatregelen valt buiten de scope van dit onderzoek en is daarom niet beschouwd.