



Concept rekenmethode voor PGS-15 inrichtingen als bedoeld in artikel 2.1 onder F van het Bevi

Opdrachtgever: Ministerie van VROM
Datum: 24 juli 2008
Uitvoerder: Centrum Externe Veiligheid (cev@rivm.nl)

Dit document beschrijft de concept rekenmethode voor PGS-15 inrichtingen. Deze rekenmethode is tot stand gekomen na overleg met inhoudelijk deskundigen. Deze rekenmethodiek is in het Directeurenoverleg Externe Veiligheid (DoEV) vastgesteld en zal op termijn worden voorgeschreven. Wij bevelen aan bij het uitvoeren van een QRA rekening te houden met deze nieuwe inzichten.

Inhoud

1.	PGS15 INRICHTINGEN ALS BEDOELD IN ARTIKEL 2.1 ONDER F BEVI	3
1.1	INLEIDING REKENMETHODE PGS 15	3
1.2	ONTWIKKELING BRAND: BRANDSCENARIO'S EN KANSEN	5
1.2.1	<i>Definitie</i>	5
1.2.2	<i>Kenmerken</i>	5
1.2.3	<i>Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening</i>	5
1.2.4	<i>Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang</i>	6
1.2.5	<i>Bepaling brandduur per brandbestrijdingssysteem</i>	8
1.3	PARAMETER: RESULTERENDE BRANDSNELHEID [KG/S]	10
1.3.1	<i>Definitie</i>	10
1.3.2	<i>Kenmerken</i>	10
1.3.3	<i>Bepaling maximum (oppervlaktebepaalde) brandsnelheid</i>	10
1.3.4	<i>Bepaling zuurstofbepaalde brandsnelheid</i>	11
1.3.5	<i>Bepaling resulterende brandsnelheid</i>	12
1.4	BEPALING MOLFRACTIE IN OPGESLAGEN PRODUCT VOOR BEREKENING VERBRANDINGSPRODUCTEN [MOL/MOL]	13
1.4.1	<i>Definitie</i>	13
1.4.2	<i>Kenmerken</i>	13
1.4.3	<i>Bepaling molfractie N, Cl, (F, Br) en S in opgeslagen product</i>	13
1.5	PARAMETER: BRONTERM TOXISCHE VERBRANDINGSPRODUCTEN [KG/S]	15
1.5.1	<i>Definitie</i>	15
1.5.2	<i>Kenmerken</i>	15
1.5.3	<i>Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]</i>	15
1.5.4	<i>Aan de hand van de gemiddelde molecuulformule $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ$ kan de emissie voor de toxische verbrandingsproducten NO_2, HCl en SO_2 als volgt worden berekend:</i>	15
1.6	PARAMETER: BRONTERM ONVERBRAND TOXISCH PRODUCT [KG/S]	16
1.6.1	<i>Definitie</i>	16
1.6.2	<i>Kenmerken</i>	16
1.6.3	<i>Bronsterkte en survivalfractie onverbrand toxisch product</i>	16
1.6.4	<i>Toxiciteit onverbrand toxisch product</i>	17
1.7	PARAMETER: BRONTERM TOXISCHE EMISSIES BIJ OVERSLAG IN OPEN LUCHT [KG/S]	18
1.7.1	<i>Definitie</i>	18
1.7.2	<i>Kenmerken</i>	18
1.7.3	<i>Kans op falen verpakking bij verlading in open lucht</i>	18
1.7.4	<i>Falen van een verpakking met zeer toxisch inhaleerbaar poeder [kg]</i>	18
1.7.5	<i>Falen van een verpakking met zeer toxische vloeibare stoffen [kg/s, plasverdamping]</i>	19
1.8	OVERIGE INVOERPARAMETERS IN SAFETI-NL	20
1.9	VOORBEELDBEREKENING	21
1.9.1	<i>Beschrijving van de opslag</i>	21
1.9.2	<i>Brandscenario's</i>	21
1.9.3	<i>Samenstelling van de opgeslagen stoffen</i>	22
1.9.4	<i>Brandsnelheid</i>	23
1.9.5	<i>Bronsterkte toxische verbrandingsproducten en onverbrande toxische stoffen</i>	24
1.9.6	<i>Dispersie</i>	25
1.9.7	<i>Resultaat risicoberekening in Safeti-NL</i>	25
1.10	BIJLAGE VERANTWOORDING	26

1. PGS15 inrichtingen als bedoeld in artikel 2.1 onder f Bevi

1.1 Inleiding rekenmethode PGS 15

In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor PGS 15-inrichtingen beschreven. PGS 15-inrichtingen zijn inrichtingen waar verpakte gevaarlijke stoffen worden opgeslagen. De opslag van containers geladen met gevaarlijke stoffen en de opslag van gasflessen wordt in andere hoofdstukken van de handleiding beschreven.

De berekeningen moeten worden uitgevoerd met het rekenpakket SAFETI-NL. De rekenmethode is een uitwerking van de in het Bevi gespecificeerde normen en daarmee heeft een berekende 10^{-6} contour consequenties voor de ruimtelijke omgeving. Om saneringsituaties te voorkomen moet ook de bronkant van deze 10^{-6} contour via de Wet milieubeheer geborgd zijn. Een "Bevi-QRA" moet dus altijd uitgaan van de vergunde situatie. Dit geldt ook voor de samenstelling van de opgeslagen stoffen, waarmee wordt gerekend.

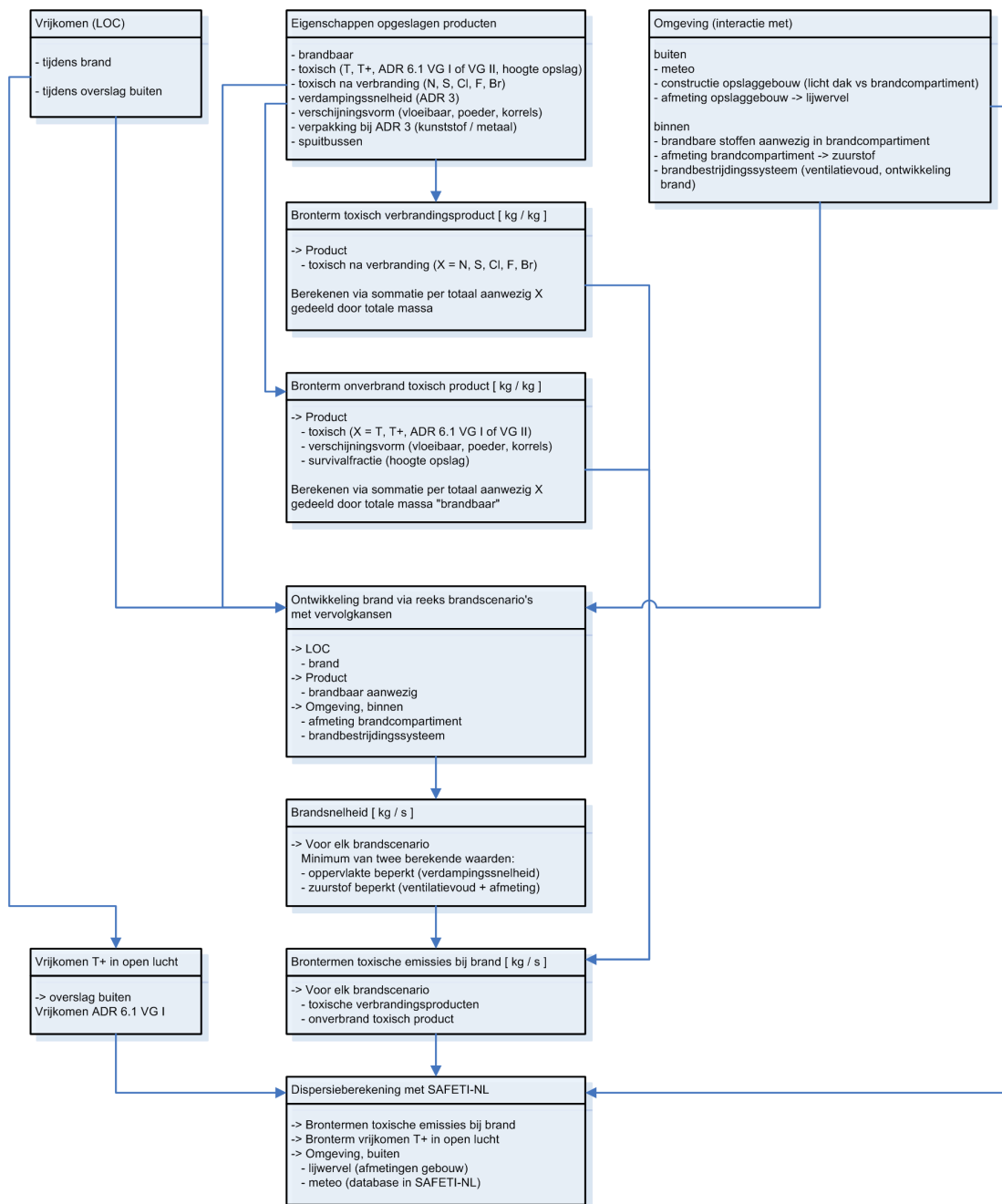
Het te berekenen risico van PGS 15-inrichtingen komt voort uit het bij een incident vrijkomen van toxische stoffen. Normaliter vindt de opslag en de overslag van gevaarlijke stoffen in PGS 15-inrichtingen binnen plaats. Het vrijkomen van toxische stoffen is dan verbonden met het falen van een opslagvoorziening door brand. Behalve dit brandscenario moet eventuele overslag van (zeer) toxische producten (ADR klasse 6.1 VG I) in de 'open' lucht expliciet in de risicoberekening worden meegenomen.

Het risico van een brand in een PGS 15-inrichting wordt dus bepaald door de volgende parameters:

1. Er moet een brand mogelijk zijn. In het brandcompartiment moet dus brandbaar materiaal aanwezig zijn. Zie de definitie van brandcompartiment in PGS 15 [PGS 2005b] en brandbare gevaarlijke stof in paragraaf 1.4.3 en in de verantwoording (1.1)
2. Er moet een toxische stof vrij kunnen komen bij brand. Dat kan op de volgende twee manieren.
 - Een opgeslagen toxisch product (ADR klasse 6.1 VG I of VG II) wordt deels onverbrand met de rookgassen meegevoerd.
 - Een opgeslagen product vormt bij brand toxische verbrandingsproducten.
3. De rookgassen moeten zich in de omgeving verspreiden. Vooral in het beginstadium van een brand vormen de toxische verbrandingsproducten een gevaar voor de omgeving, omdat er dan (door afkoeling aan de wanden en het dak van de opslagvoorziening) relatief koude verbrandingsgassen vrijkomen die laag bij de grond blijven hangen. Bij een meer ontwikkelde brand worden de verbrandingsgassen niet of nauwelijks meer afgekoeld en verspreiden deze hete gassen zich in verticale richting. Deze zgn. pluimstijging zorgt voor een aanzienlijke verdunning van de toxische concentraties op leefniveau. Bij buitenopslagen met een overkapping die verder grotendeels 'open' zijn, waarin de opgeslagen stoffen voornamelijk tegen de regen zijn beschermd, vindt nauwelijks afkoeling van verbrandingsgassen plaats en worden om deze reden in de rekenmethode niet meegenomen. Hetzelfde geldt voor buitenopslagen zonder overkapping.

Voor het berekenen van de emissie moet een bronterm worden bepaald. In deze rekenmethode wordt de snelheid van het vrijkomen van toxische stoffen gerelateerd aan de snelheid waarmee de opgeslagen stoffen verbranden. Het kwantificeren van de opgeslagen hoeveelheden gebeurt op massabasis (kg, ton) en daardoor worden fracties in de rekenmethode - tenzij expliciet anders aangegeven - ook op massabasis bepaald.

In het nu volgend stroomdiagram zijn de relaties tussen de stappen van de rekenmethodiek schematisch weergegeven. Deze stappen worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.



Figuur 1 Stroomdiagram berekening risico's PGS 15 opslagvoorziening

1.2 Ontwikkeling brand: brandscenario's en kansen

1.2.1 Definitie

Een brandscenario beschrijft een fase in de ontwikkeling van een brand en wordt gedefinieerd door een combinatie van factoren, die uiteindelijk de brandsnelheid bepalen.

De omvang van een brandscenario wordt bepaald door:

- Brandoppervlak (i.e. vloeroppervlak),
- Ventilatievoud van de ruimte per uur,
- Brandduur (i.e. blootstellingsduur, maximaal 30 minuten).

De (vervolg-)kans op optreden van een brandscenario wordt bepaald door:

- De grootte van het brandcompartiment;
- Het brandbestrijdingssysteem operationeel in het brandcompartiment. In het handboek brandbestrijdingssystemen [CPR 1993] zijn beschrijvingen te vinden van de voorkomende brandbestrijdingssystemen. In PGS-15 [PGS 2005b] zijn acht brandbeveiligingsinstallaties beschreven die momenteel als stand der techniek worden beschouwd, waaronder de (semi-) automatische monitorinstallatie (die in het genoemde handboek niet voorkomt).

Bij de brandbestrijdingssystemen wordt voor opslaghoeveelheden groter dan 10 ton met betrekking tot brandpreventie en bluswateropvang nader onderscheid gemaakt in drie beschermingsniveaus:

1. Beschermingsniveau 1 kenmerkt zich door een doelmatige detectie in geval van brand en een blussing die binnen korte tijd (semi-)automatisch wordt ingezet.
2. Beschermingsniveau 2 moet eveneens een beheersing en blussing van een brand mogelijk zijn door een goed voorbereide blusactie. In deze situaties wordt echter geaccepteerd dat de blusactie niet 'automatisch' wordt ingezet.
3. Beschermingsniveau 3 betreft situaties waarin de kans op een (omvangrijke) brand vanwege de aard van de opslagen stoffen klein wordt geacht. Verdergaande eisen met betrekking tot brandpreventie en bluswateropvang worden dan niet als een redelijkerwijs te verlangen maatregel beschouwd. Volstaan kan worden met maatregelen in de preventieve sfeer, die overigens ook gelden voor de beschermingsniveaus 1 en 2.

1.2.2 Kenmerken

In de rekenmethodiek wordt de mogelijke ontwikkeling van een brand gekwantificeerd aan de hand van een set van brandscenario's met steeds een (vervolg)kans van optreden, een bepaald brandoppervlak met een bijbehorende brandduur.

1.2.3 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

De scenario's voor brand in een opslagvoorziening en de bijbehorende frequenties zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Brand in een opslagvoorziening

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)		
	<i>bescherminingsniveau</i>	<i>1 en 2</i>	<i>3</i>
B.1 Vrijkomen van toxische verbrandingsproducten		$8,8 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-4}$
B.2 Vrijkomen van (zeer) toxische onverbrande stoffen tijdens de brand		$8,8 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-4}$

Opmerkingen:

- Het vrijkomen van toxische verbrandingsproducten is alleen relevant wanneer in de opslagruimte brandbare (gevaarlijke) stoffen zijn opgeslagen en de verpakte (gevaarlijke) stoffen de elementen stikstof, zwavel, chloor, fluor of broom bevatten. De stikstof-, zwavel of chloor(flour/broom)houdende stoffen hoeven zelf niet brandbaar te zijn.
- De brandfrequentie geldt per brandcompartiment. Voor opslagvoorzieningen die (nog) niet voldoen aan PGS-15 [PGS 2005b] (maar aan de CPR-15 richtlijn [CPR 1990 of CPR 1991]), geldt de frequentie per opslagruimte. Wanneer in de rest van dit hoofdstuk ergens “brandcompartiment” staat vermeld, kan dit voor opslagvoorzieningen conform CPR-15 als “opslagruimte” worden gelezen.
- Het beschermingsniveau wordt bepaald door de aard van de opgeslagen gevaarlijke stoffen. Indien stoffen onder een ‘hogere’ (strikter) beschermingsniveau worden opgeslagen dan voorgeschreven in PGS-15, geldt de brandfrequentie behorende bij het in PGS 15 voorgeschreven beschermingsniveau.

1.2.4 Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang

Branden in opslagvoorzieningen kunnen zich afhankelijk van de omstandigheden op het moment van de brand (oorzaak van de brand, opgeslagen stoffen, wijze van opslag enz.) met een verschillende snelheid uitbreiden tot een grotere brand. Dit kan het beste tot uitdrukking worden gebracht door voor een brand in een opslagvoorziening verschillende brandscenario's te definiëren die elk een bepaalde kans van optreden hebben.

Een brandscenario wordt omschreven door de volgende drie grootheden:

- Brandduur: de brandduur wordt enerzijds bepaald door de omstandigheden tijdens de brand en anderzijds door de toegepaste brandbestrijding;
- Brandoppervlak: de grootte van het brandoppervlak wordt voor een belangrijk deel bepaald door de zuurstoftoevoer en is tevens afhankelijk van het brandbestrijdingssysteem. Op grond van deze gegevens is voor een aantal brandoppervlakken een kansverdeling opgesteld;
- Ventilatievoud: het verloop van een brand wordt mede bepaald door de hoeveelheid beschikbare zuurstof. Deze komt uit de lucht die in de opslagruimte aanwezig is en uit de lucht die via de ventilatieopeningen wordt aangevoerd. De mate van luchttoevoer wordt uitgedrukt in het ventilatievoud (aantal keren per uur dat de lucht in het gebouw wordt ververst). Met name de verbrandingssnelheid van de opgeslagen stoffen is hiervan afhankelijk.

In tabel 2 is per brandbestrijdingssysteem voor brandcompartimenten met een oppervlak tot 2.500 m² de (vervolg)kansen op brand van een bepaalde omvang en de ventilatievoud voor verschillende brandoppervlakken samengevat (de brandduur is verderop weergegeven in tabel 4).

Tabel 2 Ventilatievoud en (vervolg)kansen op brand van een bepaalde omvang per brandbestrijdingssysteem (als percentage van de totale brandkans, genoemd in tabel 1)

Brandbestrijdingssysteem	Ventilatievoud	Kans op brand van een bepaalde omvang				
		20 m ²	50 m ²	100 m ²	300 m ²	900 m ²
Beschermingsniveau 1						
1.1a Automatische sprinklerinstallatie	4 & ∞	45%	44%	10%	0,5%	0,5%
1.1b idem sprinklers in rekken	4 & ∞	63%	26%	10%	0,5%	0,5%
1.2 Automatische deluge installatie	4 & ∞	63%	26%	10%	0,5%	0,5%
1.3 Automatische blusgasinstallatie	4 & ∞	99%	-	-	0,5%	0,5%
1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie	∞	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie	∞	89%	9%	1%	0,5%	0,5%
1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie	4 & ∞	89%	9%	1%	0,5%	0,5%
1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge ^a	4 & ∞	35%	45%	10%	5%	5%
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval	∞	-	20%	30%	28%	22%
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer ^a	4 & ∞	-	20%	30%	25%	25%
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	4 & ∞	-	-	-	60%	40% ^b
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 6 min						
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	-	-	72%	28%
2.1b Idem NIET in kunststof	∞	-	20%	30%	28%	22%
2.1c Geen ADR klasse 3	∞	-	20%	30%	28%	22%
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min						
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	-	-	55%	45%
2.2b Idem NIET in kunststof	∞	-	-	-	78%	22%
2.2c Geen ADR klasse 3	∞	-	-	-	78%	22%
Beschermingsniveau 3						
	∞	-	-	-	78%	22%

a) De handbediende deluge-installaties 1.7 verschilt van 1.9 doordat er in geval van brand slechts een brandkraan moet worden opengedraaid. Bij deluge-installatie 1.9 (en 1.10) moet de watervoorziening met behulp van brandslangen nog gereed worden gemaakt.

b) Bij "Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer" geldt een maximaal opslagoppervlak van 500 m².

Opmerkingen:

- De in tabel 2 vermelde brandbestrijdingssystemen worden beschreven in het handboek brandbestrijdingssystemen [CPR 1993]. In PGS-15 [PGS 2005b] zijn 8 brandbeveiligingsinstallaties beschreven die momenteel als stand der techniek worden beschouwd, waaronder de (semi-)automatische monitorinstallatie (die in het genoemde handboek niet voorkomt).
- Het totaal aan bijdragen van de verschillende brandoppervlakken bedraagt altijd 100% van de relevante faalkans als gegeven in tabel 1.
- Bij de meeste brandbestrijdingssystemen onder beschermingsniveau 1 moet gerekend worden met een ventilatievoud van 4 en een onbeperkte ventilatievoud (∞). Wanneer de deuren gedurende de brandduur (zie tabel 4) gesloten zijn, bedraagt de ventilatievoud 4. Indien tijdens een brand de deuren niet sluiten, is de ventilatievoud onbeperkt. De kans dat deuren niet sluiten, is afhankelijk van het type deuren [VROM 1997]:
 - Automatische, bij brand zelfsluitende deuren: 0,02
 - Handbediende deuren 0,10.

Bij brandbestrijdingssystemen met een rook- en warmteafvoerinstallatie (rookluiken) zoals bij een automatische hi-ex outside air installatie en bedrijfsbrandweer met binnenaanval kan in geval van brand lucht (zuurstof) vrij toestromen, waardoor altijd sprake is van een onbeperkte ventilatievoud.

- Bij een brandscenario waarbij de ventilatievoud 4 is, bedraagt het brandoppervlak maximaal 300 m². Branden met een oppervlak groter dan 300 m² zijn namelijk altijd zuurstofbeperkt, omdat de aanwezigheid en toevoer van zuurstof kleiner is dan de zuurstofbehoefte van de brand.
- Indien aannemelijk kan worden gemaakt dat de ventilatieomstandigheden door bijvoorbeeld speciale voorzieningen afwijken van de volgens tabel 2 te hanteren ventilatievouden, mogen afwijkende (lagere) ventilatievouden worden gehanteerd. Indien een opslagvoorziening onder beschermingsniveau 3 bijvoorbeeld niet in directe verbinding staat met de buitenlucht en de deuren bij brand automatisch zelf sluiten, moet met een ventilatievoud 4 en ∞ worden gerekend (in plaats van alleen ∞).
- Bij opslagvoorzieningen kleiner dan 900 m² worden de vervolgekansen van de brandoppervlakken groter dan die van de betreffende opslagvoorziening opgeteld bij de kans op brand ter grootte van de opslagvoorziening. De vervolgekans voor het brandscenario in een 200 m² opslagvoorziening is bijvoorbeeld gelijk aan de som van de vervolgekansen voor 300 en 900 m².
- Een brand in een opslag voorzien van een (semi-)automatische monitorinstallatie veroorzaakt een verwaarloosbaar extern veiligheidsrisico: door een snel ingezette blusactie met een grote hoeveelheid water wordt de brand ofwel snel geblust, ofwel de blusactie faalt in zijn geheel waardoor er een volledige ontwikkeling van de brand plaats vindt. In het laatste geval treedt bij deze buitenopslagen pluimstijging op (waardoor op leefniveau geen letale effecten waarschijnlijk zijn). Dit geldt ook voor andere onoverdekte brandcompartimenten.
- Het maximale brandoppervlak is het oppervlak van het brandcompartiment of - indien de opslagvoorziening niet aan PGS-15 voldoet - de opslagruimte. Dit oppervlak betreft het vloeroppervlak van de gehele ruimte (en dus niet alleen het palletoppervlak): bij brand kunnen stellingen (stapelingen) namelijk instorten of omvallen en kan de inhoud uitstromen. Bij opslag van (onbrandbare) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken, mag van een kleiner maximaal brandoppervlak worden uitgegaan, namelijk het vloeroppervlak dat niet door deze stoffen wordt ingenomen.
- Het maximale brandoppervlak waarbij geen pluimstijging optreedt, bedraagt 900 m². Grotere brandoppervlakken dan 900 m² hoeven daarom niet te worden gemodelleerd.
- Wanneer spuitbussen en/of gaspatronen worden opgeslagen, gelden afwijkende brandscenario's. In die situatie worden slechts twee brandscenario's beschouwd, namelijk één met het kleinste brandoppervlak volgens tabel 2 en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. De vervolgekans bij het laatstgenoemde brandscenario is 1 – (vervolg)kans op het kleinste brandoppervlak.

Voor opslag van ADR klasse 3 stoffen in kunststof verpakking gelden afwijkende maximaal toegestane opslagoppervlakken (ten opzichte van tabel 2) zoals weergegeven in tabel 3. Bij brandbestrijdingssysteem 2.1b en 2.2b geldt een maximum waarde van 1.500 m² voor ADR klasse 3 stoffen in niet-kunststof verpakking.

Tabel 3 Maximaal toegestaan oppervlak bij opslag van ADR klasse 3 in kunststof verpakking

Brandbestrijdingssysteem ^c	1.1a en b	1.7	1.8	1.9	1.10	2.1a en 2.2a
Maximaal oppervlak	800 m ²	600 m ²	300 m ²	300 m ²	100 m ²	800 m ²

c) De nummers corresponderen met de brandbestrijdingssystemen uit tabel 2.

1.2.5 Bepaling brandduur per brandbestrijdingssysteem

In tabel 4 is per brandbestrijdingssysteem voor brandcompartimenten met een oppervlak tot 2.500 m² de brandduur en de ventilatievoud voor verschillende brandoppervlakken samengevat.

Tabel 4 Brandduur per brandbestrijdingssysteem

Brandbestrijdingssysteem brandoppervlak ventilatievoud	Brandduur [minuten]									
	20 m ²		50 m ²		100 m ²		300 m ²		900 m ²	
	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞
Beschermingsniveau 1										
1.1a Automatische sprinklerinstallatie	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.1b idem sprinklers in rekken	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.2 Automatische deluge installatie	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.3 Automatische blusgasinstallatie	5	-	-	-	-	-	30	-	-	30
1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie	-	10	-	10	-	10	-	30	-	30
1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie	10	30	10	30	10	30	30	30	-	30
1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge ^a	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer ^a	-	-	30	30	30	30	30	30	-	30
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	-	-	-	-	-	-	30	30	-	30 ^b
Beschermingsniveau 2 – inzettijd < 6 min										
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.1b Idem NIET in kunststof	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
2.1c Geen ADR klasse 3	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
Beschermingsniveau 2 – inzettijd < 15 min										
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2b Idem NIET in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2c Geen ADR klasse 3	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
Beschermingsniveau 3	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30

a) De handbediende deluge-installatie 1.7 verschilt van 1.9 doordat er in geval van brand slechts een brandkraan moet worden opgedraaid. Bij deluge-installatie 1.9 (en 1.10) moet de watervoorziening met behulp van brandslangen nog gereed worden gemaakt.

b) Bij "Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer" geldt een maximaal opslagoppervlak van 500 m².

Opmerkingen:

- De brandduur is gelijk aan de tijd die nodig is om de brand te blussen. Aan de brandduur wordt een maximum gesteld dat gelijk is aan de veronderstelde maximale blootstellingsduur van mensen in de omgeving, te weten 30 minuten.
- Bij een brandscenario waarbij de ventilatievoud 4 is, bedraagt het brandoppervlak maximaal 300 m².

1.3 Parameter: Resulterende brandsnelheid [kg/s]

1.3.1 Definitie

De brandsnelheid is de hoeveelheid uitgangproduct die per tijdseenheid verbrandt. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de verbranding volledig is; smeulende branden worden niet beschouwd. De brandsnelheid die voor de modellering wordt gehanteerd, is de minimum waarde van de oppervlaktebeperkte en de zuurstofbeperkte brandsnelheid (zie paragraaf 1.3.2).

1.3.2 Kenmerken

De brandsnelheid wordt bepaald per brandscenario. De brandscenario's zijn in bovenstaande paragrafen uitgewerkt. Bij het bepalen van de brandsnelheid worden twee regimes onderscheiden:

- De oppervlaktebeperkte brand. De hoeveelheid beschikbaar brandbaar materiaal bepaalt de brandsnelheid.
- De zuurstofbeperkte brand. De hoeveelheid toegevoerde zuurstof bepaalt de uiteindelijke brandsnelheid.

De brandsnelheid is ook afhankelijk van de verdampingssnelheid van de aanwezige stoffen. Zo dient bij het bepalen van de brandsnelheid rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van ADR klasse 3 stoffen en spuitbussen, die een hogere verdampingssnelheid hebben dan alle overige (gevaarlijke) stoffen.

De actuele brandsnelheid is daarmee een functie van:

- de oppervlakte van de brand,
- een mogelijke begrenzing door de zuurstoftoevoer,
- de fractie ADR klasse 3 stoffen in het brandcompartiment.

Het toegepaste brandbestrijdingssysteem en de fysieke dimensies van het brandcompartiment bepalen uiteindelijk de mogelijke combinaties en de kans op optreden van deze combinaties.

1.3.3 Bepaling maximum (oppervlaktebeperkte) brandsnelheid

Wanneer zuurstof geen beperkende factor is, is er sprake van een oppervlaktebeperkte brand. De brandsnelheid per m² vloeroppervlak zal in dat geval maximaal gelijk zijn aan de brandsnelheid B van de stof. De maximale brandsnelheid B_{max} is gelijk aan het product van de brandsnelheid en het brandoppervlak A:

$$B_{\max} = B \times A \quad (1)$$

waarin

B_{max} = maximale brandsnelheid [kg/s]

B = brandsnelheid [kg/m².s]

A = brandoppervlak [m²]

De brandsnelheid voor de meeste gevaarlijke vloeistoffen en vaste stoffen bedraagt gemiddeld 0,025 kg/m².s. Deze snelheid wordt ook voor de aanwezige, niet-gevaarlijke (aanverwante) stoffen aangehouden. Voor ADR klasse 3 stoffen (en spuitbussen) wordt een vier keer hogere brandsnelheid gehanteerd, namelijk 0,100 kg/m².s. In een QRA mag op basis van beschikbare specifieke gegevens een afwijkende brandsnelheid worden gehanteerd.

De gemiddelde brandsnelheid in een brandcompartiment met een aandeel aan ADR klasse 3 stoffen kan als volgt worden berekend:

$$B = 0,100 * \langle y \rangle + 0,025 * (1 - \langle y \rangle) \quad (2)$$

waarin

B = brandsnelheid [kg/m².s]

$\langle y \rangle$ = aandeel ADR klasse 3 stoffen [massa%]

Indien het aandeel aan ADR klasse 3 stoffen in een opslagvoorziening bijvoorbeeld 33 massa% is, bedraagt de gemiddelde brandsnelheid 0,050 kg/m².s.

1.3.4 Bepaling zuurstofbeperkte brandsnelheid

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof kleiner is dan de voor een oppervlaktebeperkte brand (met maximale brandsnelheid) benodigde hoeveelheid, is de brand zuurstofbeperkt. De brandsnelheid B_{O_2} wordt dan bepaald aan de hand van de beschikbare hoeveelheid zuurstof. Deze wordt - uitgaande van een gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen van $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ$ met een gemiddelde fractie werkzame stof $\overline{\%}_{actief}$ (i.e. bij niet 100% zuivere stoffen) - als volgt berekend:

$$B_{O_2} = \Phi_{O_2} * M_w / ZB \quad (3)$$

met

$$\Phi_{O_2} = 0,2 (1 + 0,5 * F) V / (24 * 1800) \quad (4)$$

en

$$ZB = \langle a \rangle + 0,25 \langle b \rangle - 0,5 \langle c \rangle - 0,25 \langle d \rangle + 0,1 \langle e \rangle + \langle f \rangle \quad (5)$$

waarin

B_{O_2} = brandsnelheid, uitgaande van een zuurstofbeperkte brand [kg/s];

Φ_{O_2} = beschikbare (of toegevoerde) hoeveelheid zuurstof [kmol/s];

M_w = molgewicht van het uitgangspunt $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ$ [kg/kmol];

ZB = Zuurstofbehoefte: benodigde hoeveelheid zuurstof voor de verbranding van 1 mol van de opgeslagen stof (stoffen) [mol/mol].

F = ventilatievoud van de ruimte per uur [-];

V = volume van de ruimte [m³];

0,2 = fractie zuurstof in de lucht;

24 = molair volume van lucht [m³/kmol];

1800 = toevoertijd van de zuurstof [s].

De letters $\langle a \rangle$, $\langle b \rangle$, $\langle c \rangle$, $\langle d \rangle$, $\langle e \rangle$ en $\langle f \rangle$ corresponderen met de bij de gemiddelde samenstelling weergegeven letters.

Voor situaties waarbij de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen niet kan worden bepaald (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), kan de hierboven beschreven werkwijze niet worden gevolgd. In die gevallen moet worden uitgegaan van een vast stikstof-, chloor- en zwavelgehalte van elk 10%. Verder moet met een zuurstofbehoefte van 6 mol

zuurstof per mol uitgangspaan worden gerekend.

1.3.5 Bepaling resulterende brandsnelheid

Om vast te stellen of er sprake is van een oppervlaktebeperkte of van een zuurstofbeperkte brand wordt eerst gekeken naar het betreffende ventilatievoud. Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$) is de brand altijd oppervlaktebeperkt. Wanneer het ventilatievoud eindig is, is de brand oppervlaktebeperkt tot aan een bepaald brandoppervlak. Bij grotere oppervlakken zal de brand zuurstofbeperkt zijn. Het omslagpunt wordt bepaald door B_{\max} te vergelijken met B_{O_2} :

- indien $B_{\max} \leq B_{O_2}$: brand is oppervlaktebeperkt
- indien $B_{\max} > B_{O_2}$: brand is zuurstofbeperkt

De resulterende brandsnelheid die wordt gebruikt voor het berekenen van de bronsterkte van de toxische verbrandingsproducten en onverbrande (zeer) toxische stoffen (zie paragraaf 1.5 en 1.6), is daarmee de minimum waarde van B_{\max} en B_{O_2} .

1.4 Bepaling molfractie in opgeslagen product voor berekening verbrandingsproducten [mol/mol]

1.4.1 Definitie

Bepaald wordt het aantal molen toxisch verbrandingsproduct dat bij een omzettingpercentage van 100% per mol verbrand product wordt meegevoerd in de rookgassen.

Het toxisch verbrandingsproduct is gedefinieerd als NO₂, HCl of SO₂ gevormd uit, de in het opgeslagen product aanwezige, stikstof (N), chloor (Cl) en zwavel (S). In de afleiding worden fluor en broom meegeteld als chloor.

1.4.2 Kenmerken

Het gaat om N-, Cl- (F-, Br-) en S-bevattende producten, die zelf brandbaar zijn of zijn opgeslagen in combinatie met (andere) brandbare producten.

1.4.3 Bepaling molfractie N, Cl, (F, Br) en S in opgeslagen product

De samenstelling van de opgeslagen verpakte gevaarlijke stoffen moet per brandcompartiment worden berekend door voor alle aanwezige stoffen na te gaan hoeveel stikstof, chloor (fluor, broom) en zwavel deze bevatten: de hoeveelheid stikstof in de aanwezige stoffen wordt berekend door voor iedere stof *i* met samenstelling C_iH_{ii}O_{iii}Cl_{iv}N_vS_{vi}Z afzonderlijk het aantal molen N te berekenen en het totaal te sommeren:

$$N = \sum (<v> * Q_i * \%_{actief(i)}) / M_{w(i)} \quad (6)$$

waarin

- N = aantal molen stikstof [mol];
 <v> = aantal stikstofatomen in de werkzame stof *i* [-];
 Q_{*i*} = opgeslagen hoeveelheid stof *i* [kg];
 %_{actief (*i*)} = gewichtsfractie werkzame stof *i* [-];
 M_{w (*i*)} = molgewicht stof *i* [kg/kmol].

De waarde <e> in de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ wordt als volgt verkregen:

$$<e> = N * \overline{M}_w / (Q_{totaal} * \overline{\%}_{actief}) \quad (7)$$

waarin

- \overline{M}_w = gemiddeld molgewicht^a van de opgeslagen stoffen [kg/mol];
 Q_{totaal} = totale hoeveelheid, in het brandcompartiment opgeslagen stoffen [kg];
 $\overline{\%}_{actief}$ = gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof in de opgeslagen stoffen [-].

Indien voor alle overige componenten zoals koolstof, waterstof, zuurstof, chloor, zwavel, fosfor etc. dezelfde werkwijze wordt gevolgd, wordt de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ van de opgeslagen stoffen verkregen. In paragraaf 1.9 is een voorbeeldberekening gegeven.

^a Het gemiddelde molgewicht is het molgewicht gecorrigeerd voor de hoeveelheid stof [in kmol].

Opmerkingen:

- Bij (sterk) wisselende samenstelling, zoals bij seizoensgebonden producten, volstaat uiteraard niet een momentopname, maar moet gedurende een jaar op meerdere tijdstippen de samenstelling worden vastgesteld. De uiteindelijk berekende risico's zijn bepalend voor de ruimtelijke ordening en daarom moeten de risicobepalende factoren wel goed in de Wm-vergunning zijn vastgelegd.
- Verpakte (gevaarlijke) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken (omdat zij min of meer inert zijn), hoeven niet te worden beschouwd. Stoffen die niet brandbaar zijn, maar bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur door ontleding of verdamping bij een brand betrokken kunnen raken, moeten wel worden beschouwd bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de aanwezige stoffen (althans indien brandbare stoffen in het opslagcompartiment aanwezig zijn). Niet-brandbare stoffen met een ontledingstemperatuur hoger dan 600°C of een dampspanning lager dan 23 mbar (bij 20°C) worden niet geacht bij brand betrokken te raken. Voor waterige oplossingen met een dampspanning lager dan 23 mbar waarbij de stoffendatabases aangeven dat deze bij verhitting kunnen ontleden, zoals zwavelzuur-oplossingen, wordt ervan uit gegaan dat oplossingen <25% niet bij een brand betrokken zullen raken. Voor deze categorie geldt het criterium ten aanzien van de ontledingstemperatuur hoger dan 600°C dus niet.
- Fluor en broom worden meegeteld als chloor: een stof als $C_{14}H_9O_2N_2ClF_2$ met een molmassa van 311 g/mol wordt bijvoorbeeld als $C_{14}H_9O_2N_2Cl_3$ beschouwd waarbij het oorspronkelijke molgewicht van 311 g/mol wordt gehanteerd (i.p.v. 344 g/mol).
- Voor verpakkingsmaterialen en andere hulpstoffen wordt aangenomen dat de molecuulformule gelijk is aan die van de verpakte (gevaarlijke) stoffen.
- Voor situaties waarbij het bepalen van het stikstof-, chloor- en zwavelgehalte op grote praktische problemen stuit (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), moet worden gerekend met een stikstof-, chloor- en zwavelgehalte van 10%.

1.5 Parameter: Bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

1.5.1 Definitie

De in de vorige paragraaf berekende aantallen molen toxisch verbrandingsproduct per mol verbrand product worden omgezet in emissies uitgedrukt als massadebiten.

1.5.2 Kenmerken

Omrekening op basis van molgewichten en omzettingspercentages.

1.5.3 Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

De berekende fractionele omzetting wordt vermenigvuldigd met brandsnelheid. Bij onbeperkte ventilatie is dat B_{\max} , bij eindige ventilatie is dat het minimum van B_{O_2} en B_{\max} .

Toxische verbrandingsproducten worden tijdens de brand gevormd indien de opgeslagen stoffen stikstof-, chloor/fluor/broom- of zwavelhoudende verbindingen bevatten. Bij de vorming van de toxische verbrandingsproducten wordt in de risicomethodiek alleen gekeken naar de vorming van NO_2 , HCl en SO_2 .

1.5.4 Aan de hand van de gemiddelde molecuulformule $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ$ kan de emissie voor de toxische verbrandingsproducten NO_2 , HCl en SO_2 als volgt worden berekend:

Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$):

$$\Phi_{NO_2} = B_{\max} * \overline{\%_{actief}} * \langle e \rangle * 46 * \eta_{NO_2} / M_w \quad (8)$$

$$\Phi_{HCl} = B_{\max} * \overline{\%_{actief}} * \langle d \rangle * 36,5 * \eta_{HCl} / M_w \quad (9)$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{\max} * \overline{\%_{actief}} * \langle f \rangle * 64 * \eta_{SO_2} / M_w \quad (10)$$

Bij eindige ventilatievoud (veelal $F = 4$):

$$\Phi_{NO_2} = \text{Min}(B_{\max}, B_{O_2}) * \overline{\%_{actief}} * \langle e \rangle * 46 * \eta_{NO_2} / M_w \quad (11)$$

$$\Phi_{HCl} = \text{Min}(B_{\max}, B_{O_2}) * \overline{\%_{actief}} * \langle d \rangle * 36,5 * \eta_{HCl} / M_w \quad (12)$$

$$\Phi_{SO_2} = \text{Min}(B_{\max}, B_{O_2}) * \overline{\%_{actief}} * \langle f \rangle * 64 * \eta_{SO_2} / M_w \quad (13)$$

waarin

$\text{Min}(B_{\max}, B_{O_2})$ = resulterende brandsnelheid, oppervlakte- of zuurstofbeperkt [kg/s];

η = omzettingspercentage [kmol/kmol];

46 / 36,5 / 64 = molgewicht van de verbrandingsproducten NO_2 , HCl en SO_2 [kg/kmol].

Het omzettingspercentage η voor stikstofhoudende verbindingen bij brand in NO_2 bedraagt 10%, voor chloor- en zwavelhoudende verbindingen in respectievelijk HCl en SO_2 is dit 100%.

1.6 Parameter: Bronsterm onverbrand toxisch product [kg/s]

1.6.1 Definitie

Bepaald wordt de gewichtsfractie onverbrand toxisch product die per hoeveelheid verbrand product wordt meegevoerd in de rookgassen.

Door deze gewichtsfractie te vermenigvuldigen met de uiteindelijke brandsnelheid wordt meteen de bronsterkte [kg/s] berekend.

1.6.2 Kenmerken

Het gaat om stoffen uit de ADR klasse 6.1, verpakkingsgroep I en II, opgeslagen in hoeveelheden groter dan 5 respectievelijk 50 ton. Bij kleinere hoeveelheden dan de (BRZO-)drempelwaarde is de bijdrage van onverbrande (zeer) toxische stoffen altijd te verwaarlozen ten opzichte van de bijdrage van toxische verbrandingsproducten.

Het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen wordt uitgedrukt als een survivalfractie *sf* en is afhankelijk van de verschijningsvorm van het product (vloeistof, poeder of granulaat), de opslaghoogte van de betreffende (zeer) toxische stoffen in een opslagvoorziening ($\leq 1,80$ of $> 1,80$ m) het brandbestrijdingssysteem en – in een aantal gevallen – van de grootte van de opslagvoorziening.

1.6.3 Bronsterkte en survivalfractie onverbrand toxisch product

De bronsterkte van de onverbrande (zeer) toxische stoffen Φ_{tox} (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I en II) wordt als volgt berekend:

Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$):

$$\Phi_{tox} = B_{max} * \text{massa } \% * \overline{\%}_{actief, tox} * sf \quad (14)$$

Bij eindige ventilatievoud (veelal $F = 4$):

$$\Phi_{tox} = \text{Min}(B_{max}, B_{O_2}) * \text{massa } \% * \overline{\%}_{actief, tox} * sf \quad (15)$$

waarin

Φ_{tox} = bronsterkte van onverbrande ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen [kg/s];

massa% = massa aandeel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II in een opslagvoorziening [-];

$\overline{\%}_{actief, tox}$ = gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof in de ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen [-];

sf = survivalfractie [-].

Tabel 5: Rekenwaarde voor de survivalfractie

Rekenwaarde voor de survivalfractie	Opslaghoogte toxische stoffen	
	≤ 1,80 m	> 1,80 m
Toxische vloeistoffen en poeders		
Beschermingsniveau 1		
- Alle brandbestrijdingssystemen m.u.v. 1.5 en 1.8 ^d		
- opslagen ≤ 300 m ²	10%	30%
- opslagen > 300 m ²	1%	10%
- Brandbestrijdingssysteem 1.5 en 1.8 ^d	1%	10%
Beschermingsniveau 2 of 3		
	1%	10%
Overige toxische vaste stoffen (granulaat)		
Beschermingsniveau 1, 2 of 3	1%	1%

d) De nummers corresponderen met de brandbestrijdingssystemen uit tabel 2.

Opmerkingen:

- Bij de berekeningen wordt per brandcompartiment uitgegaan van één survivalfractie (uit tabel 5) voor alle brandscenario's: 1%, 10% of 30%. Indien slechts een beperkt deel van de opgeslagen ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen hoger dan 1,80 meter wordt opgeslagen, moet voor al deze (zeer) toxische stoffen de survivalfractie behorende bij een opslaghoogte > 1,80 meter worden gehanteerd.
- Indien naast toxische vloeistoffen en poeders tevens toxische vaste stoffen (granulaat) worden opgeslagen, moet met een gewichtsgemiddelde survivalfractie worden gerekend. Bij een opslagvoorziening voorzien van een automatische sprinklerinstallatie (≤ 300 m²) waarbij tweederde van de aanwezige toxische stoffen uit granulaat bestaat, bedraagt de rekenwaarde voor de survivalfractie bij een opslaghoogte ≤ 1,80 meter bijvoorbeeld 4% (2/3*1% + 1/3*10%).
- Bij ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen met bijkomend gevaar klasse 3 wordt er van uitgegaan dat er geen onverbrand product vrijkomt.

1.6.4 Toxiciteit onverbrand toxisch product

Ten behoeve van risicoberekeningen wordt bij het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen per verpakkingsgroep met denkbeeldige voorbeeldstoffen gerekend. Voor ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I en II moet de onderstaande dosis-effect relaties worden gehanteerd:

- Verpakkingsgroep I: $Pr = -5,47 + \ln(C^2 \times t)$
- Verpakkingsgroep II: $Pr = -9,76 + \ln(C^2 \times t)$

waarin

C = concentratie [ppmv]

t = blootstellingsduur [min]

1.7 Parameter: Bronterm toxische emissies bij overslag in open lucht [kg/s]

1.7.1 Definitie

De bronterm voor de kwantificering van het vrijkomen van zeer toxische stof door beschadiging van de verpakking tijdens verlading in de open lucht.

1.7.2 Kenmerken

Bij laden en lossen in de buitenlucht kan de inhoud van een verpakking met een zeer toxisch inhaleerbaar poeder of vloeistof (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) bij een grotere valhoogte dan 1,80 meter of bij doorboring vrijkomen.

1.7.3 Kans op falen verpakking bij verlading in open lucht

De scenario's voor de verlading van zeer toxische stoffen (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) in de open lucht en de bijbehorende frequenties zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6 Scenario's voor de verlading van zeer toxische stoffen in de open lucht

Scenario	Frequentie (verpakkingseenheid ⁻¹)
V.1 Falen van een verpakking met een zeer toxisch inhaleerbaar poeder	1×10^{-5}
V.2a Falen van een verpakking met een zeer toxische vloeistof	$0,9 \times 10^{-5}$
V.2b Gelijktijdig falen van twee verpakkingen met een zeer toxische vloeistof	$0,1 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

- Verlading van ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen in een 'dock shelter' of hal wordt niet als verlading in de open lucht beschouwd.
- Een verpakkingseenheid is een doos of drum. Indien dozen of drums op een pallet staan voorzien van krimpfolie, spanbanden of ander bevestigingsmateriaal dan wordt dit als één verpakkingseenheid beschouwd.

1.7.4 Falen van een verpakking met zeer toxisch inhaleerbaar poeder [kg]

De bronsterkte $\Phi_{V,1}$ voor het vrijkomen van het zeer toxische inhaleerbare poeder wordt als volgt berekend:

$$\Phi_{V,1} = 0,1 * p * \overline{\%_{actief}} * f_{<10\mu m} \quad (16)$$

waarin

- $\Phi_{V,1}$ = bronsterkte ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I [kg]
- $f_{<10\mu m}$ = fractie van de deeltjes met een diameter $\leq 10 \mu m$; deze fractie kan na inhalatie door mensen schade veroorzaken [-]
- p = verpakkingsgrootte[kg]. Deze primaire verpakking kan een kleinere hoeveelheid zijn dan de in tabel 6 genoemde verpakkingseenheid;
- 0,1 = aanname dat 10% van de verpakkingsinhoud zal vrijkomen [-]

De verspreiding van het inhaleerbare poeder wordt met het neutraal gas dispersie model berekend. Hierbij mag rekening gehouden worden met gebouwinvloed (lijwervel) op de dispersie.

Voor het modelleren van het vrijkomende inhaleerbare poeder kan gebruik worden gemaakt van de in paragraaf 1.6.4 vermelde dosis-effect relatie voor verpakkingsgroep I:

- Verpakkingsgroep I: $Pr = -5,47 + \ln (C^2 \times t)$

1.7.5 Falen van een verpakking met zeer toxische vloeibare stoffen [kg/s, plasverdamping]

Bij laden en lossen buiten kan de inhoud van een verpakking met een zeer toxische vloeistof (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) bij een grotere valhoogte dan 1,80 meter of bij doorboring vrijkomen. Daarbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij de berekening van de bronsterkte wordt ervan uitgegaan dat het vat volledig faalt, waarbij de vloeistof een plas op de bodem veroorzaakt.
- Er wordt uitgegaan van twee ongevalsscenario's, namelijk het falen van één vat en het gelijktijdig falen van twee vaten. Het scenario gelijktijdig falen van twee vaten zou kunnen optreden indien de lepels van een vorkheftruck de vaten doorboren. Aanname is dat de kans op gelijktijdig falen van twee tanks 10 x zo klein is als de kans op falen van één vat.
- Voor het vrijkomen van de toxische stof moet gebruik worden gemaakt van de dosis-effect relatie van de vrijgekomen stof.

1.8 Overige invoerparameters in SAFETI-NL

De scenario's moeten worden ingevoerd in SAFETI-NL. In aanvulling op Module B van de *Handleiding risicoberekeningen BEVI* gelden de volgende kanttekeningen:

- Alle brand- en verladingsscenario's bij een opslagvoorziening worden met SAFETI-NL versie 6.53.1 gemodelleerd met behulp van <user defined sources>. Het zogenaamde <warehouse model> in SAFETI-NL is nog niet geschikt voor dergelijke berekeningen en mag derhalve niet worden gebruikt. In een volgende versie van SAFETI-NL komt het <warehouse model> beschikbaar.
- De brontermen van NO₂, HCl en SO₂ worden als afzonderlijke scenario's ingevoerd. Dit leidt nabij de opslagruimte in principe tot een overschatting van het risico. Omdat in de praktijk vaak één stof bepalend is voor het risico (meestal NO₂), werkt deze benadering in de praktijk voldoende. Voor het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische producten geldt hetzelfde: indien deze bijdrage relevant is ten opzichte van die van de toxische verbrandingsproducten (zie tabel 13 verderop bij de verantwoording in paragraaf 1.6), komt er – afhankelijk van de verpakkingsgroep(en) - zelfs nog een vierde en eventueel een vijfde bronterm bij voor verpakkingsgroep I en II.
- Het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische producten kan gemodelleerd worden met behulp van door de helpdesk SAFETI-NL beschikbaar gestelde voorbeeldstoffen 'ADR 6.1 VG I' en 'ADR 6.1 VG II'.
- Bij de berekening van de dispersie dient rekening te worden gehouden met de door het gebouw optredende lijwervel. Dit wordt gedaan door de bron als "outdoor release" te modelleren inclusief "roof/lee effect". Voor de lengte en de breedte van deze bron wordt de wortel uit de (vloer)oppervlakte van het opslaggebouw genomen, voor de hoogte wordt de hoogte van het gebouw genomen. Er dient derhalve altijd van een vierkant gebouw te worden uitgegaan. Vanwege het vrijkomen van de rookgassen in de lijwervel van het gebouw, dient geen inmenging bij de bron te worden meegenomen: "Pre-Dilution Air Rates" = 0 kg/s. Andere voorgeschreven uitgangspunten zijn een "final temperature" van 50°C en bij <Building Size and Orientation> een "Building Angle" en "Wind Angle" van elk 0 graden.
- Voor in pandige opslagruimten die deel uitmaken van een groter gebouw moet rekening worden gehouden met de maximale afmetingen van het gebouw (en dus niet van de opslagruimte). Hierbij geldt dat er met 2.500 m² gerekend moet worden (50m x 50m), ook wanneer het oppervlak van het gebouw groter is dan 2.500 m². Hoe groter het gebouw, hoe groter namelijk de lijwervel (de recirculatiezone) waarbinnen de toxische verbrandingsproducten worden 'verdund'. Bij in pandige opslagruimten die deel uitmaken van een veel groter gebouw leidt dit echter tot een onderschatting van het risico.

1.9 Voorbeeldberekening

Dit voorbeeld dient uitsluitend ter illustratie van de rekenmethodiek.

1.9.1 Beschrijving van de opslag

In een opslagvoorziening van 600 m² (hoogte 6 meter), voorzien van een automatische hi-ex installatie met inside air worden de volgende gevaarlijke stoffen opgeslagen:

Tabel 7: Opgeslagen stoffen in de voorbeeldopslag

Stof	ADR klasse	Hoeveelheid [ton]	Molgewicht [kg/kmol]	Molecuulformule	massa% werkzame stof
ammonia 25%	8	50	17,0	NH ₃ ^e	25%
dichlobenil	9	100	172,0	C ₇ H ₃ Cl ₂ N	20%
ethanol	3	150	46,1	C ₂ H ₅ OH	100%
ethoprophos	6.1 vg I	200	242,4	C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₂	10%
TDI	6.1 vg II	250	174,2	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	100%
kryoliet	6.1 vg III	50	209,9	Na ₃ AlF ₆	100%
		Totaal 800			

e) Ammonia ("NH₄OH") is een oplossing van 25% ammoniak (NH₃) in water. Bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen wordt het water niet meegenomen.

Aan de opslaghoogte van de (zeer) toxische vloeistoffen Ethoprophos en TDI worden geen beperkingen gesteld. Verder is de loods voorzien van automatische, bij brand zelfsluitende deuren.

1.9.2 Brandscenario's

Vanwege het feit dat brandbare stoffen in de opslagvoorziening worden opgeslagen, is een brand mogelijk die externe veiligheidsrisico's veroorzaakt. De brandfrequentie voor deze 'beschermingsniveau 1'-opslagvoorziening is $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar (systeem 1.6; tabel 1). De vervolgskans op een brand met een omvang van 20, 50, 100, 300 en 600 m² bedraagt respectievelijk 89%, 9%, 1%, 0,5% en 0,5% (tabel 2). Volgens de tabellen 2 en 4 zijn de volgende brandscenario's van toepassing:

Tabel 8: Ventilatievoud, brandoppervlak, -duur en -frequentie

Ventilatievoud [-]	Brandoppervlak [m ²]	Brandduur [min]	Kans [per jaar]
Deur gesloten: 4	20	10	$0,89 * 0,98^f * 8,8 \times 10^{-4} = 7,68 \times 10^{-4}$
4	50	10	$0,09 * 0,98^f * 8,8 \times 10^{-4} = 7,76 \times 10^{-5}$
4	100	10	$0,01 * 0,98^f * 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
4	300	30	$0,01 * 0,98^f * 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
Deuren open: ∞	20	30	$0,89 * 0,02^f * 8,8 \times 10^{-4} = 1,57 \times 10^{-5}$
∞	50	30	$0,09 * 0,02^f * 8,8 \times 10^{-4} = 1,58 \times 10^{-6}$
∞	100	30	$0,01 * 0,02^f * 8,8 \times 10^{-4} = 1,76 \times 10^{-7}$
∞	300	30	$0,005 * 0,02^f * 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-6}$
∞	600 ^g	30	$0,005 * 0,02^f * 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-6}$
			Totaal = $8,80 \times 10^{-4}$

f) De kans dat de automatische bij brand zelfsluitende deuren niet functioneren en de deuren blijven openstaan, is 0,02 (VROM 1997).

g) Vanwege het feit dat de 50 ton kryoliet naar verwachting niet bij een brand betrokken zal raken (zie paragraaf 1.9.3), mag worden gerekend met een brandoppervlak van de opslagloods verminderd met het door kryoliet ingenomen vloeroppervlak.

1.9.3 Samenstelling van de opgeslagen stoffen

Met uitzondering van kryoliet zullen alle aanwezige stoffen naar verwachting bij een (beginnende) brand betrokken raken (totaal: 750 ton): omdat kryoliet pas bij temperaturen ver boven de 600°C ontleedt, hoeft deze stof namelijk niet te worden beschouwd bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opslagen stoffen. Ammonia (25%) heeft bij 20°C een dampspanning van 483 mbar en zal daarom wel bij brand betrokken kunnen raken (bij een oplossing van 25% zwavelzuur zou dit bijvoorbeeld niet het geval zijn).

De gemiddelde molecuulformule van de opgeslagen stoffen wordt als volgt berekend:

1. Bereken voor ieder element afzonderlijk het in opslag aanwezige aantal kilogrammen. Voor bijvoorbeeld stikstof (14,01 kg/kmol) gaat dat als volgt: ammonia, dichlobenil en TDI bevatten stikstof. 50.000 kg 25% ammonia met één N-atoom, een molgewicht van 17,0 kg/kmol en een fractie werkzame stof van 25% bevat volgens formule (6) 10.300 kg stikstof:

$$N = \sum (<v> * Q_i * \%_{actief(i)}) / M_{w(i)} = (1 * 50.000 * 25\%) / 17,0 = 734 \text{ kmol}$$

734 kmol stikstof komt overeen met 734*14,01 = afgerond 10.300 kg. Op dezelfde wijze kan worden berekend dat 100 ton dichlobenil met één N-atoom, een molgewicht van 172,0 kg/kmol en een fractie werkzame stof van 20% afgerond 1.600 kg stikstof bevat (1*100.000*20%*14,01/172,0) en 250 ton TDI 40.200 kg (2*250.000*100%*14,01 /174,2). Daarmee komt de totale in de opgeslagen stoffen aanwezige hoeveelheid stikstof op 52 ton. Op dezelfde wijze kan worden berekend dat 251 ton koolstof (C; 12,01 kg/kmol) aanwezig is, 33 ton waterstof (H; 1,008 kg/kmol), 101 ton zuurstof (O; 16,00 kg/kmol), 8 ton chloor (Cl; 35,45 kg/kmol), 5 ton zwavel (S; 32,06 kg/kmol) en 3 ton fosfor (P; 31,97 kg/kmol):

Tabel 9a: Aanwezige hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P [in ton]

	C	H	O	Cl	N	S	P
Ammonia (NH ₄ OH)	0,0	2,2	5,7	0,0	10,3	0,0	0,0
Dichlobenil C ₇ H ₅ Cl ₂ N	9,8	0,4	0,0	8,2	1,6	0,0	0,0
Ethanol C ₂ H ₅ OH)	78,2	19,7	52,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Ethoprophos (C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₂)	7,9	1,6	2,6	0,0	0,0	5,3	2,6
TDI (C ₉ H ₆ N ₂ O ₂)	155,2	8,7	45,9	0,0	40,2	0,0	0,0
Totaal	251	33	101	8	52	5	3

2. Voor het bepalen van de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fP_g is de gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof en het gemiddelde molgewicht nodig. De fractie werkzame stof $\overline{\%_{actief}}$ wordt verkregen door de hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P te sommeren en te delen door de totale hoeveelheid opgeslagen stoffen die bij de brand betrokken kunnen raken (alle stoffen behalve kryoliet): (251+33+101+8+52+5+3)/750 = 60,3%. Het gemiddelde molgewicht, gecorrigeerd voor de hoeveelheid stof in kmol, kan worden berekend door de hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P [in kg] te sommeren en te delen door de hoeveelheid uitgangproducten [in kmol], namelijk (251+33+101+8+52+5+3)×10³ / 5.600 = 80,5 kg/kmol (5.600 is de som van het aantal kmol ammonia (50×10³*25%/17,0), dichlobenil (100×10³*20%/172,0), ethanol (150×10³/46,1), ethoprophos (200×10³*10%/242,4) en TDI (250×10³/174,2).

3. De waarde $\langle e \rangle$ voor stikstof in de gemiddelde samenstelling $C_a H_b O_c Cl_d N_e S_f P_g$ kan met formule (7) worden afgeleid (met N in kmol):

$$\langle e \rangle = N * \bar{M}_w / (Q_{\text{totaal}} * \%_{\text{actief}}) = (52 / 14,01) * 80,5 / (750 * 60,3\%) = 0,66$$

De waarde $\langle a \rangle$ voor koolstof bedraagt $(251 / 12,01) * 80,5 / (750 * 60,3\%) = 3,72$ etc. Dit leidt uiteindelijk tot de volgende samenstelling: $C_{3,72} H_{5,74} O_{1,12} Cl_{0,04} N_{0,66} S_{0,03} P_{0,01}$. Het stikstof-, zwavel- en chloorgehalte kan als volgt worden berekend:

- stikstofgehalte = $0,66 * 14,01 * 60,3\% / 80,5 = 7,0\%$
- chloorgehalte = $0,04 * 35,45 * 60,3\% / 80,5 = 1,1\%$
- zwavelgehalte = $0,03 * 32,06 * 60,3\% / 80,5 = 0,7\%$

Het verwerken van de fractie werkzame stof ($\%_{\text{actief}}$) in de formule's (6) en (7) kan eventueel achterwege worden gelaten door te rekenen met een gecorrigeerde hoeveelheid aanwezige (100% werkzame) stof (Q_i).

1.9.4 Brandsnelheid

Zuurstofbeperkte brand

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof kleiner is dan de benodigde hoeveelheid zuurstof, is de brand zuurstofbeperkt. De brandsnelheid B_{O_2} kan met de formules (3) t/m (5) worden berekend:

$$B_{O_2} = \Phi_{O_2} * M_w / ZB \quad (3)$$

$$\Phi_{O_2} = 0,2 (1 + 0,5 * F) V / (24 * 1800) \quad (4)$$

$$ZB = \langle a \rangle + 0,25 \langle b \rangle - 0,5 \langle c \rangle - 0,25 \langle d \rangle + 0,1 \langle e \rangle + \langle f \rangle \quad (5)$$

Bij een ventilatievoud F van 4 per uur in een opslagvoorziening met een volume van 3600 m^3 ($600 \text{ m}^2 \times 6$ meter hoog) is de beschikbare of toegevoerde hoeveelheid zuurstof $\Phi_{O_2} 0,2 * (1 + 0,5 * 4) * 3600 / (24 * 1800) = 0,05 \text{ kmol/s}$. De zuurstofbehoefte ZB is $3,72 + (0,25 * 5,74) - (0,5 * 1,12) - (0,25 * 0,04) + (0,1 * 0,66) + 0,03 = 4,7 \text{ [mol/mol]}$. De brandsnelheid B_{O_2} waarbij de toevoer van zuurstof limiterend is, bedraagt volgens formule (3) $0,05 * 80,5 / 4,7 = 0,86 \text{ kg/s}$.

Oppervlaktebeperkte brand

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof groter is dan de benodigde hoeveelheid zuurstof, is zuurstof geen beperkende factor en is er sprake van een oppervlaktebeperkte brand. De maximale brandsnelheid B_{max} is gelijk aan het product van de verdampingssnelheid en het brandoppervlak A:

$$B_{\text{max}} = B * A \quad (1)$$

$$B = 0,100 * \langle y \rangle + 0,025 * (1 - \langle y \rangle) \quad (2)$$

De verdampingssnelheid B wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheid ADR klasse 3 stoffen volgens formule (2). Omdat alleen ethanol in deze stofcategorie valt, is het aandeel ontvlambare stoffen $\langle y \rangle 20 \text{ massa\%}$ ($150 \text{ ton} / 750 \text{ ton}$). Dit resulteert in een gemiddelde verdampingssnelheid van $0,040 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ($0,100 * 20\% + 0,025 * 80\%$).

De maximale brandsnelheid B_{max} is bij een brandoppervlak van 20 m^2 bedraagt $0,040 * 20 = 0,80 \text{ kg/s}$. Bij een brandoppervlak van $50, 100$ en 300 m^2 loopt deze snelheid op tot respectievelijk $2, 4$ en 12 kg/s . De brandsnelheid B_{O_2} waarbij de toevoer van zuurstof limiterend is ($0,86 \text{ kg/s}$) ligt (net) hoger dan de maximale brandsnelheid bij 20 m^2 , maar lager dan die bij 50 m^2 . Bij een brand van 22 m^2 zijn B_{max} en B_{O_2} aan elkaar gelijk. Dit betekent dat vanaf 22 m^2 $B_{\text{max}} > B_{O_2}$ en de brand zuurstofbeperkt wordt.

1.9.5 Bronsterkte toxische verbrandingsproducten en onverbrande toxische stoffen

Toxische verbrandingsproducten

Bij een brand in een opslagvoorziening waarin verpakte gevaarlijke stoffen met een gemiddelde samenstelling van $C_{3,72}H_{5,74}O_{1,12}Cl_{0,04}N_{0,66}S_{0,03}P_{0,01}$ worden opgeslagen, komen onder andere stikstofdioxide (NO_2), zwaveldioxide (SO_2) en zoutzuurgas (HCl) vrij. Bij een brandoppervlak van 50 m^2 worden bijvoorbeeld de volgende bronsterkten berekend (formule 8 t/m 13):

Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$):

$$\Phi_{NO_2} = B_{\max} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle e \rangle} * 46 * \eta_{NO_2} / M_w = 2 * 60,3\% * 0,66 * 46 * 10\% / 80,5 = 0,046 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{HCl} = B_{\max} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle d \rangle} * 36,5 * \eta_{HCl} / M_w = 2 * 60,3\% * 0,04 * 36,5 * 100\% / 80,5 = 0,023 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{\max} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle f \rangle} * 64 * \eta_{SO_2} / M_w = 2 * 60,3\% * 0,03 * 64 * 100\% / 80,5 = 0,028 \text{ kg/s}$$

Bij ventilatievoud 4 is de brand zuurstofbeperkt :

$$\Phi_{NO_2} = B_{O_2} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle e \rangle} * 46 * \eta_{NO_2} / M_w = 0,86 * 60,3\% * 0,66 * 46 * 10\% / 80,5 = 0,020 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{HCl} = B_{O_2} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle d \rangle} * 36,5 * \eta_{HCl} / M_w = 0,86 * 60,3\% * 0,04 * 36,5 * 100\% / 80,5 = 0,010 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{O_2} * \overline{\%_{\text{actief}} * \langle f \rangle} * 64 * \eta_{SO_2} / M_w = 0,86 * 60,3\% * 0,03 * 64 * 100\% / 80,5 = 0,012 \text{ kg/s}$$

Voor de andere oppervlakken zijn de bronsterkte weergegeven in tabel 10.

Onverbrande (zeer) toxische stoffen

Ten gevolge van 'niet-optimale' verbrandingscondities komt een deel van de opgeslagen onverbrand vrij. Alleen bij opslag van toxische stoffen (ADR klasse 6.1, verpakkingsgroep I en II) kan deze bijdrage risicorelevant zijn. Van de opgeslagen ADR klasse 6.1 stoffen die bij brand betrokken kunnen raken, valt ethoprophos in verpakkingsgroep I en TDI in verpakkingsgroep II. Het aandeel van beide stofcategorieën in de opslagvoorziening bedraagt voor ethoprophos en TDI respectievelijk 27 massa% (200/750) en 33 massa% (250/750). De fractie werkzame stof is bij ethoprophos 10% en TDI 100%.

Omdat er in de opslagvoorziening geen beperkingen zijn gesteld aan de maximale opslaghoogte voor de genoemde ADR klasse 6.1 stoffen, wordt voor alle brandscenario's een survivalfractie van 10% gehanteerd (uitgaande van een opslaghoogte > 1,80 meter; zie tabel 5).

Bij een brandoppervlak van opnieuw 50 m^2 worden bijvoorbeeld de volgende bronsterkten berekend voor het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen (formule 14 en 15). Voor de andere oppervlakken zijn de bronsterkte weergegeven in tabel 10.

Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$):

$$\text{VG I: } \Phi_{T+} = B_{\max} * \text{massa \%} * \overline{\%_{\text{actief, tox}}} * sf = 2 * 27\% * 10\% * 10\% = 0,005 \text{ kg/s}$$

$$\text{VG II: } \Phi_{T+} = B_{\max} * \text{massa \%} * \overline{\%_{\text{actief, tox}}} * sf = 2 * 33\% * 100\% * 10\% = 0,067 \text{ kg/s}$$

Bij ventilatievoud 4 is de brand zuurstofbeperkt :

$$\text{VG I: } \Phi_{T+} = B_{O_2} * \text{massa \%} * \overline{\%_{\text{actief, tox}}} * sf = 0,86 * 27\% * 10\% * 10\% = 0,002 \text{ kg/s}$$

$$\text{VG II: } \Phi_{T+} = B_{O_2} * \text{massa \%} * \overline{\%_{\text{actief, tox}}} * sf = 0,86 * 33\% * 100\% * 10\% = 0,029 \text{ kg/s}$$

In tabel 10 zijn per brandscenario alle relevante QRA parameters samengevat.

Tabel 10: Resultaten scenario's voor brand in een opslagvoorziening

Oppervlak [m ²]	Ventilatie -voud	Duur [min]	Kans [jaar ⁻¹]	Brandsnelheid [kg/s]	Bronsterkte [kg/s]				
					NO ₂	SO ₂	HCl	VG I ^h	VG II ^h
20	4	10	7,68E-04	0,80	0,018	0,011	0,009	0,002	0,027
50	4	10	7,76E-05	0,87	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
100	4	10	8,62E-06	0,87	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
300	4	30	8,62E-06	0,87	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
20	∞	30	1,57E-05	0,80	0,018	0,011	0,009	0,002	0,027
50	∞	30	1,58E-06	2,00	0,046	0,028	0,023	0,005	0,067
100	∞	30	1,76E-07	4,00	0,091	0,056	0,045	0,011	0,133
300	∞	30	8,80E-08	12,00	0,274	0,169	0,136	0,032	0,400
600	∞	30	8,80E-08	24,00	0,548	0,338	0,271	0,064	0,800

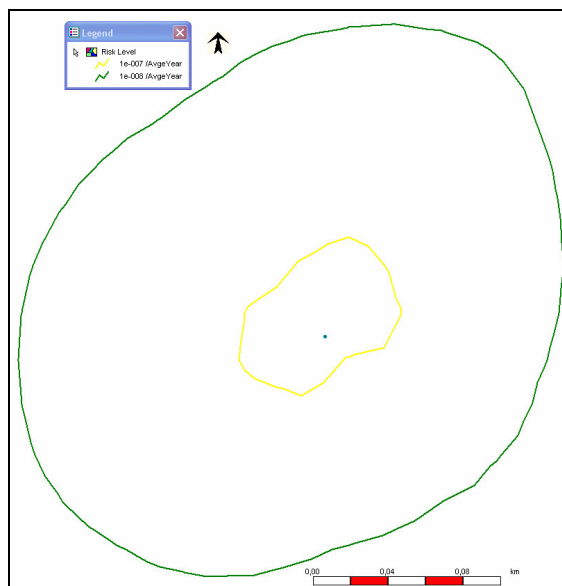
h) VG = verpakkingsgroep.

1.9.6 Dispersie

Bij de berekening van de dispersie moet rekening worden gehouden met de door het gebouw optredende lijwervel. Volgens paragraaf 1.8 moet worden uitgegaan van een vierkant gebouw, hetgeen neerkomt op een gebouw met een afmeting van 24,5 bij 24,5 meter (600 m²). Voor de hoogte wordt de hoogte van het gebouw genomen: 6 meter.

1.9.7 Resultaat risicoberekening in Safeti-NL

De scenario's zijn ingevoerd in Safeti-NL. De resultaten voor het plaatsgebonden risico zijn in figuur 2 weergegeven: de opslag van verpakte gevaarlijke stoffen leidt in dit voorbeeld niet tot een PR 10⁻⁶ contour.



Figuur 2: Plaatsgebonden risico voorbeeldberekening.

1.10 Bijlage verantwoording

1.1 Inleiding

De PGS-15 risicomethodiek is een actualisatie van de door TNO opgestelde rekenmethodiek uit 1991 en 1997 [Molag 1991, VROM 1997]. Aanpassing was nodig vanwege de totstandkoming van de PGS-15 richtlijn [PGS 2005b].

Bij de inwerkingtreding van de PGS-15 is een aantal nieuwe stofcategorieën onder de richtlijn voor de opslag van verpakte gevaarlijke stoffen gekomen, namelijk:

- containers geladen met gevaarlijke stoffen;
- gasflessen;
- spuitbussen en gaspatronen;
- ADR klasse 4 stoffen: brandgevaarlijke vaste stoffen (4.1), voor zelfontbranding vatbare stoffen (4.2) en stoffen met gevaar van ontwikkeling van brandbare gassen in contact met water (4.3) en
- organische peroxiden (beperkt toegelaten hoeveelheid in zogenaamde 'limited quantities').

De rekenmethodiek voor deze stofcategorieën wordt hieronder nader toegelicht, met uitzondering van de opslag van gasflessen en containers geladen met gevaarlijke stoffen. Deze worden in een ander hoofdstuk van de Handleiding risicoberekeningen Bevi beschreven.

Spuitbussen

Spuitbussen en gaspatronen (in het vervolg: spuitbussen) die betrokken raken bij een brand kunnen gaan rocketeren, ongeacht of de inhoud bestaat uit een inerte of (licht) ontvlambare stof. De spuitbus gedraagt zich hierbij als een voortgestuwd projectiel. Inslag van zo'n spuitbus kan leiden tot domino-effecten hetgeen resulteert in uitbreiding van het oorspronkelijke incident. Bij gescheiden opslag van spuitbussen zal een eventueel aangebrachte gaasafscheiding weliswaar de rocketerende spuitbussen tegenhouden, maar geen brandoverslag kunnen voorkomen.

Voor spuitbussen geldt in het algemeen dat indien deze onder PGS-15 condities worden opgeslagen er geen externe risico's zijn te verwachten: de risico's blijven beperkt tot de opslagruimte en de directe omgeving van het brandende opslaggebouw ('gevelbrand'). Dit geldt echter niet voor die situatie waarin de spuitbussen of gaspatronen stikstof-, chloor- en/of zwavelhoudende verbindingen bevatten. In dat geval kunnen tevens toxische verbrandingsproducten vrijkomen.

De scenario's bij een brand in een opslagvoorziening waarin spuitbussen gescheiden van andere gevaarlijke stoffen zijn opgeslagen, zijn afwijkend ten opzichte van de scenario's weergegeven in tabel 2: mocht het blussysteem een beginnende brand waarbij (enkele) spuitbussen met een (licht) ontvlambare stof betrokken zijn, niet kunnen doven dan zal de brand zich kunnen uitbreiden tot de gehele brandcompartiment. Vandaar dat slechts twee brandscenario's worden beschouwd, namelijk één met het kleinste brandoppervlak volgens tabel 2 en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. In tegenstelling tot andere stofcategorieën is het maximum brandoppervlak voor de opslag van spuitbussen geen 900 m², maar 2500 m². Voor de bepaling van de bronsterkte kan de aanpak beschreven in paragrafen 1.4 en 1.5 worden gehanteerd, waarbij de brandsnelheid 0,100 kg/m².s bedraagt.

Bij opslag van alleen spuitbussen met een inert drijfgas is een brandscenario dat externe veiligheidsrisico's veroorzaakt niet waarschijnlijk. Wanneer deze spuitbussen samen met andere gevaarlijke stoffen zijn opgeslagen, vormen deze spuitbussen eveneens geen extra risico met

betrekking tot branduitbreiding en kan de aanpak voor overige gevaarlijke stoffen worden gehanteerd.

Aanstekers

(Gas)aanstekers dienen volgens PGS-15 als spuitbussen opgeslagen te worden. Voor aanstekers geldt dat er - net als bij spuitbussen - geen externe veiligheidsrisico's te verwachten zijn: de risico's blijven beperkt tot de opslagruimte en de directe omgeving van het brandende opslaggebouw ('gevelbrand'). Het is niet aannemelijk dat bij brand alle in de aanstekers aanwezige vloeibare gassen gelijktijdig wegstromen en een omvangrijke BLEVE plaatsvindt. Wel heeft een onderzoek van de VROM Inspectie in 2003 naar de aanwezigheid van gassen in containers in de Rotterdamse haven uitgewezen dat een deel van de gasaanstekers kan lekken.

Gevaarlijke stoffen klasse 4.1, 4.2 en 4.3

De opslag van verpakte gevaarlijke stoffen vallend onder ADR klasse 4 komt in Nederland maar bij een zeer beperkt aantal (opslag)bedrijven voor: hoogstens enkele tientallen palletplaatsen bij grote opslagbedrijven en nog veel kleinere hoeveelheden bij eindgebruikers (zoals metaalhoudende poeders in de metaalindustrie). Hierbij gaat het voornamelijk om brandgevaarlijke vaste stoffen (4.1). Voor zelfontbranding vatbare stoffen (4.2) en stoffen met gevaar van ontwikkeling van brandbare gassen in contact met water (4.3) komen slechts sporadisch voor.

Vanwege het feit dat het veelal om beperkte hoeveelheden gaat, hoeft deze stofcategorie niet apart te worden beschouwd. Daarbij speelt ook een rol dat klasse 4 stoffen een sterk heterogene stofcategorie vormen, waarvoor het niet mogelijk is generieke faalscenario's te definiëren. Daar waar de risico's niet uitsluitend bepaald worden door het vrijkomen van toxische verbrandingsproducten, wordt ervan uitgegaan dat aanvullende maatregelen zijn getroffen:

Voorbeelden:

- Bij de opslag van ontplofbare stoffen in niet-explosieve toestand (uit klasse 4.1) kunnen maatregelen worden getroffen zoals het regelmatig omkeren van de verpakking (om een goede bevochtiging te garanderen), het beperken van de opslagduur (logboek bijhouden) en het aanbrengen van explosieluiken. In combinatie met opslag in een ADR goedgekeurde verpakking wordt hierdoor geen extra risico waarschijnlijk geacht.
- Bij de opslag van klasse 4.2 stoffen zou bijvoorbeeld gedacht kunnen worden aan het maximaliseren van de opslaghoogte aan de waarde waarop een UN-verpakking bij valtesten wordt beproefd.
- Bij de opslag van klasse 4.3 stoffen wordt er van uit gegaan dat indien deze vrijkomen ze niet in contact kunnen komen met (grote hoeveelheden) water anders dan vocht in de lucht. Hierdoor kunnen weliswaar (een beperkte hoeveelheid) brandbare gassen worden gevormd, maar zal de onderste explosiegrens ten gevolge van ventilatie zeker niet worden bereikt. Een gasexplosie is in die situatie dan ook niet waarschijnlijk.

De te hanteren brandfrequentie voor de opslag van ADR klasse 4 stoffen is afhankelijk van het vereiste beschermingsniveau en varieert per subklasse (4.1, 4.2 en 4.3), verpakkingsgroep (I, II en III) en opslaghoeveelheid (< 2,5 ton, 2,5 tot 10 ton en > 10 ton) en kan worden bepaald aan de hand van het in PGS-15 voorgeschreven beschermingsniveau (tabel 10, pagina 55). Voor ADR klasse 4.1 verpakkingsgroep I ('maatwerk') geldt een brandfrequentie van $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar.

Organische peroxiden

Gezien de beperkte toegelaten hoeveelheid (1.000 kg), de verpakkingsgrootte (uitsluitend zgn. 'limited quantities') en het type peroxide (type C t/m F zonder temperatuurbeheersing) in een PGS-15 opslagruimte hoeft deze stofcategorie niet apart te worden beschouwd.

Brandbare gevaarlijke stoffen

Ten aanzien van brandgevaar kunnen de opgeslagen (gevaarlijke) stoffen worden onderverdeeld in brandbare en niet-brandbare (gevaarlijke) stoffen:

Brandbare stoffen

1. onvlambare stoffen (ADR klasse 3)
2. brandbare stoffen

Niet-brandbare stoffen

3. stoffen die bij brand kunnen ontleden of verdampen
4. onbrandbare stoffen (die niet bij brand betrokken raken)

Tabel 11: voorbeeldstoffen per 'brandgevaar'-categorie

Categorie	Voorbeelden
1 onvlambare stoffen	aceton, ethanol, isopropylalcohol, styreen, toluen en hydrazine
2 brandbare stoffen	TDI, MDI, fenol, aniline, naftaleen o-cresol en glycol; ADR klasse 4 stoffen zoals zwavel, aluminiumpoeder en calciumfosfide; organische peroxiden zoals dibenzoylperoxide,
3 stoffen die bij brand kunnen ontleden of verdampen	oxiderende stoffen zoals natriumnitrat, kaliumpermanganaat, natriumchloraat en waterstofperoxide; oleum, per, tri, natriumhydroxide en kaliumcyanide; oplossingen zoals ammonia (25%), 50% salpeterzuur, zoutzuur (36%) en 50% zwavelzuur; chloorbleekloog, broom
4 onbrandbare stoffen	kryoliet (Na_3AlF_6), natriumcarbonaat (soda) verdunde (waterige) oplossingen (<25%) met een dampspanning < 23 mbar salpeterzuur, zoutzuur en zwavelzuur

Een brandbare gevaarlijke stof is een gevaarlijke stof, gevaarlijke afvalstof of brandbaar bestrijdingsmiddel die of dat met lucht van normale samenstelling en druk onder vuurverschijnselen blijft reageren, nadat de bron die de ontsteking heeft veroorzaakt, is weggenomen. Het gaat daarbij dus niet alleen om (licht) onvlambare stoffen. Een niet-brandbare stof blijft derhalve niet onder vuurverschijnselen reageren, nadat de bron die de ontsteking heeft veroorzaakt, is weggenomen.

Voor vele stoffen is bijvoorbeeld in het Chemiekaartenboek onder het kopje 'directe gevaren' aangegeven of zij wel of niet brandbaar (brandgevaarlijk) zijn. Voor stoffen die niet in het Chemiekaartenboek zijn opgenomen, kan bij de leverancier informatie worden opgevraagd of kunnen de brandeigenschappen worden bepaald aan de hand van vergelijkbare stoffen (die wel in het Chemiekaartenboek zijn opgenomen).

De bovenstaande indeling in vier 'brandgevaar'-categorieën is bedoeld om de bevoegd gezagen kritisch naar het gevaar van de opgeslagen verpakte gevaarlijke stoffen te laten kijken en niet overall standaard uit te gaan van een brand die externe veiligheidsrisico's veroorzaakt. Aangezien de indeling enige ruimte laat voor interpretatie zoals ontbrekende informatie omtrent ontledingstemperatuur (hoger of lager dan 600°C), hoe om te gaan met moeilijk brandbare stoffen etc.), wordt aangeraden bij twijfel ten aanzien van het brandgevaar advies in te winnen bij de regionale brandweer.

Bij opslag van uitsluitend niet-brandbare (gevaarlijke) stoffen – zijnde categorie 3 en 4 – zal weliswaar bijna altijd (een kortdurende) brand kunnen uitbreken, maar wordt een brandscenario dat externe veiligheidsrisico's veroorzaakt niet aannemelijk geacht. Daarbij wordt er van uit gegaan dat er geen andere goederen gezamenlijk met deze gevaarlijke stoffen worden opgeslagen

die het (brand)risico van de opslag verhogen, zoals grote hoeveelheden verpakkingsmateriaal (zie toelichting met betrekking tot aanverwante stoffen in PGS-15 voorschrift 3.1.1).

Wanneer zowel niet-brandbare (gevaarlijke) stoffen, alsmede brandbare (gevaarlijke) stoffen – vallend in categorie 1 en 2 – worden opgeslagen, is een brandscenario dat externe veiligheidsrisico's veroorzaakt waarschijnlijk. In dat geval moeten alle aanwezige stoffen - ook niet-gevaarlijke 'aanverwante' stoffen - worden beschouwd ongeacht de verhouding brandbaar / niet-brandbaar. Weliswaar zal bij een toenemend aandeel brandbare stoffen (ten opzichte van niet-brandbare stoffen) een groter deel van de aanwezige niet-brandbare stoffen bij de brand betrokken kunnen raken, maar om de methodiek zo eenvoudig mogelijk te houden, is ervoor gekozen hier verder geen rekening mee te houden.

Onoverdekte brandcompartimenten

Bij onoverdekte opslagcompartimenten zal in geval van brand snel sprake zijn van pluimstijging, waardoor de in de hete rook aanwezige toxische verbrandingsproducten tot grote hoogte stijgen. Door verdunning zullen geen letale concentraties in de omgeving van de opslagvoorziening worden bereikt (tenzij een blusactie direct wordt ingezet en de pluim wordt gekoeld): de mate van pluimstijging is afhankelijk van de grootte van het brandoppervlak, de verbrandingswarmte en de windsnelheid. Bij grotere brandoppervlakken is bijna altijd sprake van pluimstijging. Kleinere brandoppervlakken (ca. 20 m²) zijn vanuit oogpunt van externe veiligheid niet relevant. Vandaar dat onoverdekte opslagcompartimenten niet in een QRA hoeven te worden beschouwd.

Hetzelfde geldt voor buitenopslagen met een overkapping die verder grotendeels 'open' zijn, waarbij de opgeslagen stoffen voornamelijk tegen de regen zijn beschermd: vanwege geringe brandwerendheid (<< 30 minuten) zal na aanvang van de brand snel pluimstijging optreden: vanwege het feit dat het meestal om 'lichte' dakconstructies gaat, zullen de hete verbrandingsgassen tot die tijd nauwelijks worden afgekoeld en zich daarom niet in de omgeving van de opslagvoorziening kunnen verspreiden.

Wanneer bij een opslagruimte in geval van brand sprake is van pluimstijging (en deze derhalve niet in een QRA hoeft te worden beschouwd), zal de pluimstijging niet of nauwelijks worden beïnvloed door de lijwervel van een nabijgelegen gebouw: alleen bij benedenwindse ligging van de opslagruimte en wanneer het een beperkte brand betreft (geringe hoeveelheid vrijkomende warmte) zouden de rookgassen kunnen worden opgemengd in de lijwervel van het naastgelegen gebouw. Omdat de letale effecten van een dergelijk scenario beperkt zijn, worden gebouwinvloeden in dergelijke situaties niet beschouwd.

1.2 Ontwikkeling brand: brandscenario's en kansen

1.2.3 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

De basisfaalfrequentie van $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar is gebaseerd op vier grote representatieve branden in de periode 1975-1987 onder 350 bedrijven in Nederland waar bestrijdingsmiddelen werden opgeslagen: $4/(13 \times 350) = 8,8 \times 10^{-4}$. In 2006 heeft het RIVM nader onderzoek gedaan of er recentere casuïstiek voor branden bij PGS-15 inrichtingen beschikbaar is. Daartoe zijn o.a. het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), het Nederlands Instituut voor Fysieke Veiligheid Nibra (NIFV), verschillende verzekeringsmaatschappijen en overkoepelende organisaties, ondernemersorganisaties (VNO-NCW, Deltalinqs) en leden van de Vereniging van Inspectieinstellingen voor Veiligheid en Brandveiligheid (VIVB) benaderd.

Uit dit onderzoek blijkt dat nergens in Nederland ongevalgegevens van opslagen met verpakte gevaarlijke stoffen centraal worden geregistreerd. Het Centraal Bureau voor de Statistiek houdt wel gegevens bij over het aantal branden in opslagen met 'chemische stoffen' (enkele tientallen per jaar), maar kan geen duidelijke definitie van 'chemische stoffen' geven. De verzekeringsmaatschappijen registreren alle branden in Nederland waarbij de schade meer dan € 1 miljoen bedraagt (ongeveer honderd per jaar). Beide sets aan gegevens zijn te weinig specifiek en dus niet bruikbaar voor het vaststellen van een kans op brand in een opslagvoorziening.

Er is altijd veel discussie over de kans op een brand in een opslag met verpakte gevaarlijke stoffen. De kans op een beginnende brand van ongeveer één keer per 1000 jaar per opslagruimte wordt betwist. Deze faalkans zou te pessimistisch zijn, omdat de opslagvoorzieningen tegenwoordig veiliger zijn. Wat echter wordt vergeten, is dat binnen de faalkans ook zeer kleine branden (20 m²) worden meegeteld, die in de meeste gevallen zeer snel worden geblust en niet in het nieuws zullen komen. De categorie kleine branden is volgens de risicomethodiek verreweg het grootst. De kans op een grote uitslaande brand van 300 m² of meer is bij de meest voorkomende brandbestrijdingssystemen al een factor 100 kleiner, namelijk één keer in de 100.000 jaar.

Omdat dus nergens in Nederland systematische registratie van branden plaatsvindt voor dit type opslagbedrijven en vanwege het feit dat in andere Europese landen zoals België hogere brandkansen worden gehanteerd [Aminal 2004a], is de huidige basisfaalfrequentie van $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar bij gebrek aan recentere faalcijfers gehandhaafd (net als de 5x lagere faalfrequentie voor de opslag van minder brandgevaarlijke stoffen).

Brandfrequentie per brandcompartiment

De in tabel 1 weergegeven frequenties voor brand in een opslagvoorziening gelden per brandcompartiment en niet per opslaggebouw. Voor opslagvoorzieningen die (nog) niet voldoen aan PGS-15 (maar aan de CPR-15 richtlijn), geldt de frequentie per opslagruimte.

De keuze voor een brandkans per brandcompartiment die overigens ook in Vlaanderen wordt toegepast [AMINAL 2004b], is een logische voor opslagvoorzieningen die voldoen aan PGS-15: in PGS-15 wordt in de toelichting bij voorschrift 3.2.3.1 vermeld dat een opslagruimte als een brandcompartiment wordt gezien. Dit houdt in dat de opslagruimte een weerstand tegen branddoorslag en -overslag (WBDBO) van ten minste 60 minuten moet bezitten en dat de wanden, het dak en de draagconstructie van deze ruimte minimaal 60 minuten brandwerend moeten zijn uitgevoerd. Tussen geschakelde brandcompartimenten moeten voorzieningen aanwezig zijn die ervoor zorgen dat het falen van het ene brandcompartiment niet mag leiden tot het bezwijken van de draagconstructie van het andere brandcompartiment. Dit betekent dat het niet uitmaakt of meerdere brandcompartimenten samen één opslaggebouw vormen of los van elkaar staan.

Verder zijn belangrijke brandoorzaken zoals brandstichting, kortsluiting en blikseminslag niet gerelateerd aan de grootte van de opslagvoorziening. Vanwege de beperkte casuïstiek met betrekking tot branden heeft de CPR-RE commissie in 2001 geconcludeerd dat de brandfrequentie niet nader kan worden gedifferentieerd naar oppervlakte [CPR-RE 2001]. Daarmee is bijvoorbeeld de kans op brand in een opslagvoorziening van 300 m² gelijk aan die in een opslagruimte van 2500 m².

Andere argumenten voor de keuze van een brandkans per brandcompartiment in plaats van per opslaggebouw zijn:

- De opslagcapaciteit van een gebouw met verschillende brandcompartimenten is groter dan bij opslag in één brandcompartiment met meerdere opslagvakken, omdat er geen scheidingen door middel van open ruimten gecreëerd hoeven te worden. Hierdoor vinden er - in het algemeen - relatief meer handelingen met gevaarlijke stoffen plaats met bijbehorende hogere kans op een initiële brand.
- Indien wordt uitgegaan van een brandkans per opslaggebouw met N brandcompartimenten dan bedraagt de kans op brand $8,8 \times 10^{-4}/N$ per brandcompartiment per jaar. Wanneer het gebouw wordt uitgebreid met nogmaals N brandcompartimenten dan bedraagt de kans per brandcompartiment $8,8 \times 10^{-4}/2N$ per jaar, hetgeen niet logisch is. Eenzelfde redenering kan worden gevoerd voor het (hypothetische) geval dat indien één van de N brandcompartimenten wordt afgebroken of niet meer wordt gebruikt voor de opslag van gevaarlijke stoffen. De kans op brand voor de overige compartimenten neemt dan toe (en daarmee mogelijk ook het risico).

Door het hanteren van een faalfrequentie per brandcompartiment kan het plaatsgebonden risico toenemen bij opsplitsing in verschillende brandcompartimenten, terwijl dit een veiliger situatie oplevert: door het opsplitsen van een opslagruimte in meerdere brandcompartimenten neemt namelijk de kans op een brand toe, maar het effect ervan door een kleiner maximaal brandoppervlak af. In die gevallen zou er geen stimulans zijn om in veiligheid te investeren.

Berekeningen tonen echter aan dat dit alleen geldt bij opsplitsing van grote opslagvoorzieningen in twee brandcompartimenten (zie tabel 12). Bij opsplitsing in meer dan twee compartimenten of bij opsplitsing van kleinere opslagvoorzieningen is dit niet het geval: bij opsplitsing van grote opslagvoorzieningen neemt namelijk wel de kans op brand toe, maar neemt het effect ervan niet af, omdat uitsluitend met brandoppervlakken ≤ 900 m² wordt gerekend.

Tabel 12: Invloed van opdeling van een opslaggebouw in meerdere brandcompartimenten op het plaatsgebonden risico (uitgaande van een gemiddeld stikstofgehalte van 5%).

Opslagconfiguratie	PR 10 ⁻⁶	PR 10 ⁻⁷	PR 10 ⁻⁸
Automatisch sprinklerinstallatie - 2500 m²			
- 1x 2500 m ²	-	35 m	50 m
- 2x 1250 m ²	30 m	35 m	45 m
- 3x 833 m ²	-	-	60 m
- 5x 500 m ²	-	-	55 m
Automatische sprinklerinstallatie - 600 m²			
- 1x 600 m ²	-	20 m	30 m
- 2x 300 m ²	-	15 m	35 m
- 4x 150 m ²	-	20 m	35 m
Automatische hi-ex inside-air installatie - 2500 m²			
- 1x 2500 m ²	-	35 m	50 m
- 2x 1250 m ²	-	30 m	45 m
- 5x 500 m ²	-	-	55 m

Opslagconfiguratie	PR 10 ⁻⁶	PR 10 ⁻⁷	PR 10 ⁻⁸
Beschermingsniveau 3 - 2500 m²			
- 1x 2500 m ²	85 m	265 m	495 m
- 2x 1250 m ²	105 m	335 m	555 m
- 5x 500 m ²	75 m	165 m	270 m
Beschermingsniveau 3 - 600 m²			
- 1x 600 m ²	80 m	250 m	470 m
- 2x 300 m ²	90 m	180 m	275 m
- 4x 150 m ²	45 m	60 m	80 m

Wanneer een opslaggebouw in meerdere brandcompartimenten is opgesplitst, is het beter mogelijk brandbare en niet-brandbare gevaarlijke stoffen in verschillende brandcompartimenten onder te brengen. Vanwege het feit dat een brand in een compartiment met uitsluitend niet-brandgevaarlijke stoffen geen externe veiligheidsrisico's veroorzaakt, zal een aantal compartimenten (mogelijk) niet meer in een QRA hoeven worden beschouwd. Hierdoor zullen de risico's bij opsplitsing in meerdere opslagruimten in bijna geen enkele situatie meer toenemen.

1.2.4 Bepaling vervolggans brandoppervlak per brandbestrijdingssysteem

Maximaal brandoppervlak 900 m²

Indien in een opslagruimte aantoonbaar voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat product of bluswater naar naastgelegen vakken kan uitstromen, is het niet aannemelijk dat binnen 30 minuten na aanvang van de brand deze zodanig is geëscaleerd dat de brand een oppervlak van 1.500 en 2.500 m² (i.e. brandscenario's uit de CPR-15 rekenmethodiek [VROM 1997]) omvat zonder dat pluimstijging optreedt. Ook kunnen branden zich binnen een omvangrijke opslagruimte verplaatsen (dus niet alleen uitbreiden), waardoor het totale brandoppervlak niet dat van de gehele opslagruimte zal omvatten. Om deze redenen hoeft een brand met een oppervlak groter dan 900 m² in dat geval niet in een QRA te worden beschouwd. Bij de opslag van spuitbussen wordt een dergelijk snelle branduitbreiding wel realistisch geacht.

1.3 Resulterende brandsnelheid

1.3.3 Bepaling maximum (oppervlaktebeperkte) brandsnelheid

Brandsnelheid en stikstofgehalte (stikstofhoudende) ADR klasse 3 stoffen

Voor stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen is nagegaan of een lagere brandsnelheid dan 0,100 kg/m².s zou kunnen worden gehanteerd. Daartoe is gebruik gemaakt van de stoffendatabase SERIDA met veel voorkomende gevaarlijke stoffen in Nederland. Van de 130 stoffen met een vlampunt ≤ 60°C in deze database zijn er 16 stikstofhoudend. De brandsnelheid voor deze stoffen is weergegeven in tabel 8. De brandsnelheid van 12 van deze stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen ligt tussen de 0,010 en 0,080 kg/m².s en bedraagt gemiddeld 0,038 kg/m².s (van 4 stoffen waren geen gegevens beschikbaar of konden de brandsnelheden niet worden bepaald). Vanwege de grote spreiding in brandsnelheden wordt de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval een voldoende conservatieve waarde geacht voor de brandsnelheid van stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen: 0,080 kg/m².s (0,038 + 2x 0,021; zie tabel 8). Om te voorkomen dat in een QRA met drie verschillende brandsnelheden moet worden gerekend (0,025, 0,080 en 0,100 kg/m².s), is de waarde van 0,100 kg/m².s voor alle ADR klasse 3 stoffen gehandhaafd.

Tabel 8: Brandsnelheid stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen

Stof	Brandsnelheid [kg/m ² .s]
Hydrazine	0,011
Ethyleendiamine	0,057
Acetonitrile	0,031
Aziridine	??
Acrylonitril	0,042
Allylamine	0,055
Propyleenimine	0,060
Methylisocyanat	0,033
Nitromethane	0,013
Methacrylonitril	??
Diethylamine	??
Nitroethane	0,022
Nitropropane	0,030
2-Methylpyridine	??
Triethylamine	0,080
Hydrogencyanide	0,022
Gemiddelde (± std. dev)	0,038 (± 0,021)

In een QRA mag op basis van beschikbare specifieke gegevens een afwijkende brandsnelheid worden gehanteerd. De brandsnelheid kan als volgt worden berekend:

$$B = H_c / \{ 1000 * (H_{vap} + (T_b - T) * C_p) \} \quad (17)$$

waarin

H_c = Verbrandingswarmte [J/kg]

H_{vap} = Verdampingswarmte [J/kg]

T_b = Kookpunt [°C]

T = Omgevingstemperatuur [°C]

C_p = Soortelijke warmte [J/kg.°C]

1.4 Bepaling molfractie opgeslagen product voor berekening toxische verbrandingsproducten

1.4.3 Bepaling molfractie N, Cl (F,Br) en S in opgeslagen product

Verpakte (gevaarlijke) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken, hoeven niet te worden beschouwd bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen. Stoffen die niet brandbaar zijn, maar bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur door ontleding of verdamping bij een brand betrokken kunnen raken, moeten wel worden beschouwd (althans indien brandbare stoffen in het opslagcompartiment aanwezig zijn). Voor ontleding wordt een ontledingstemperatuur van 600°C als criterium gehanteerd, overeenkomstig de maximale temperatuur bij een beginnende brand [Purser 1991]: bij een beginnende brand loopt de temperatuur op tot 400 - 600°C; bij een meer ontwikkelde brand 600 tot 900 à 1.200°C.

Voor verdamping wordt een dampspanning (bij 20°C) van 23 mbar als criterium gehanteerd, overeenkomstig de dampspanning van water. Oplossingen met een hogere dampspanning worden geacht nog wel betrokken te kunnen raken bij brand, beneden deze waarde niet.

Enkele veel voorkomende zuur-oplossingen met een dampspanning lager dan 23 mbar (zoals zwavelzuur) kunnen bij verhitting ontleden. Hoewel stofdatabanken meestal aangeven dat dit bij nagenoeg elke verdunning kan optreden, wordt het niet aannemelijk geacht dat bij zeer verdunde oplossingen de opgeloste stoffen in relevante hoeveelheden bij een brand betrokken zullen raken. Vandaar dat vanuit pragmatisch oogpunt een grens wordt gesteld van 25%. Voor waterige oplossingen met een dampspanning lager dan 23 mbar wordt er van uit gegaan dat oplossingen <25% niet bij een brand betrokken zullen raken. Voor deze categorie geldt het criterium ten aanzien van de ontledingstemperatuur hoger dan 600°C dus niet.

Voor situaties waarbij van een vast stikstofgehalte van 10% wordt uitgegaan (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), kan formule (5) niet worden gehanteerd, omdat de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen niet bekend is. In die gevallen mag worden gerekend met een zuurstofbehoefte van 6 mol zuurstof per mol uitgangproduct, overeenkomstig de gemiddelde samenstelling van de 25 meest verkochte bestrijdingsmiddelen in 1987, namelijk $C_{3,6}H_{5,3}O_{0,4}Cl_{0,8}N_{0,9}S_{1,3}X$ [Molag 1990]. Het 1,5% stikstof criterium dat tot op heden wordt gehanteerd, is ook op deze samenstelling gebaseerd (molmassa 163 g/mol en fractie werkzame stof 20%).

Het stikstofgehalte van 10% is een beleidsmatige keuze bepaald op basis van een onderzoek van Tebodin waarbij stikstofgehalten in opslagvoorzieningen zijn geïnventariseerd [Noordende van 't, 2006]. Uit dit onderzoek bleek dat bij slechts een beperkt aantal opslagvoorzieningen het stikstofgehalte hoger lag 10%.

1.5 Bronterm toxische verbrandingsproducten

1.5.3 Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten

Omzettingpercentage stikstofhoudende verbindingen in NO₂ (en HCN)

Het gehanteerde omzettingpercentage in de risicomethodiek CPR-15 bedrijven [VROM 1997] voor stikstofhoudende verbindingen naar NO_x (de som van alle gevormde stikstofhoudende componenten in de verbrandingsgassen, zoals NO, NO₂, N₂O, NH₃ en HCN), is gebaseerd op een literatuuronderzoek van het RIVM uit 1995 [Laheij 1995]. Daarbij werd een gemiddeld omzettingpercentage van ongeveer 10% gevonden met een maximum van 35% voor ammoniumnitraat. Vanwege onzekerheden met betrekking tot niet-verbrande uitgangproducten en andere (stikstofhoudende) verbrandingsproducten, is destijds een toeslag gekozen van 25% bovenop de gemiddelde waarde van 10%. Dit resulteerde in het huidige omzettingpercentage van 35%.

In het kader van de herziening van de rekenmethodiek is het omzettingpercentage voor stikstofhoudende verbindingen van 35% geëvalueerd, waarbij ook nadrukkelijk naar HCN is gekeken (welke net als NH₃ geen stikstofoxide is, maar bij het onderzoek uit 1995 wel min of meer als zodanig is beschouwd). Daartoe is een uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn verschillende experts in binnen- en buitenland geraadpleegd [Matthijssen 2007].

In tabel 13 zijn de resultaten van het onderzoek samengevat, waarbij per (deel)onderzoek steeds de *hoogste* gerapporteerde omzettingpercentages zijn beschouwd. Verder zijn alleen die onderzoeken meegenomen die zijn uitgevoerd in het kader van de grote internationale onderzoeksprojecten zoals COMBUSTION en TOXFIRE, halverwege de jaren '90, of die zijn uitgevoerd door onderzoekers bij gerenommeerde onderzoeksinstituten zoals het RISØ (Denemarken), HSL (HSE, Engeland), TNO (Nederland) en Ineris (Frankrijk).

Tabel 13: Samenvatting gerapporteerde omzettingpercentages

	NO ₂	HCN
Aantal onderzoeken	32	21
Gemiddeld omzettingpercentage (van de hoogste gerapporteerde waarden)	6,2 %	6,2 %

De omzettingpercentages van 6% voor zowel NO₂ als HCN liggen in de buurt van de waarden die door andere Europese landen worden gehanteerd voor stikstofhoudende verbindingen bij brand:

Tabel 14: Omzettingpercentage stikstofhoudende verbindingen bij brand in omliggende landen

Land	NO _x (%)	HCN (%)	NO _x + HCN (%)
België (AMINAL)	-	-	10 ^e
Denemarken (RISØ)	-	-	< 10 ^f
Engeland (HSE)	5	5	10
Frankrijk (INERIS)	20	20	40

e: Het gaat om een voorgestelde waarde;

f: RISØ beschouwt een waarde van 10% wordt als "highly conservative";

Frankrijk (INERIS) wijkt wat gekozen omzettingpercentage betreft af van Engeland, Denemarken en mogelijk ook België, maar heeft zijn NO_x en HCN conversies *afgeleid* en niet zoals de anderen daadwerkelijk gemeten: INERIS heeft op basis van verbrandingsproeven aangetoond dat bij stikstofhoudende verbindingen 60% van de stikstof wordt omgezet in N₂. Conservatief is aangenomen dat de overige 40% in gelijke mate wordt omgezet in NO_x en HCN.

Omdat het niet waarschijnlijk is dat én hoge NO_x én hoge HCN-omzettingspercentages tegelijkertijd voorkomen (onder zuurstofrijke omstandigheden wordt vooral NO_x gevormd en onder zuurstofarme condities vooral HCN), mogen de – op basis van de hoogst gerapporteerde waarden verkregen gemiddelde – NO_x en HCN conversies niet zomaar worden opgeteld. Wel kunnen beide componenten bij bepaalde brandcondities tegelijkertijd aanwezig zijn, maar het percentage zal (veel) lager zijn dan de som van beide maxima (12,4%).

Om die reden is een waarde van 10% vastgesteld voor het totale omzettingspercentage van stikstofhoudende verbindingen naar NO_x en HCN. Dit percentage komt overeen met de waarde die door de geraadpleegde (inter)nationale experts als voldoende conservatief wordt beschouwd.

De vrijkomende stikstofhoudende toxische verbrandingsproducten worden gemodelleerd als NO_2 . Hoewel HCN giftiger is dan NO_2 , zijn de effecten van het vrijkomen van HCN nauwelijks groter doordat grotere giftigheid wordt gecompenseerd door een lagere molmassa en daarmee een lagere bronsterkte (zie formule 8 en 11). In tabel 15 is dit aangetoond aan de hand van een opslagvoorziening met beschermingsniveau 3:

Tabel 15: PR 10^{-6} afstanden voor een beschermingsniveau 3 opslagvoorziening van 2500 m² bij modellering als NO_2 alsmede HCN (stikstofgehalte 15%)

Omzettingspercentage	Bronsterkte NO_2 300 / 900 m²	Bronsterkte HCN 300 / 900 m²	PR 10^{-6} afstand
10% N → NO_2	0,369 / 1,108 kg/s	-	270 m
10% N → HCN	-	0,217 / 0,650 kg/s	280 m
6,2% N → NO_2 & 6,2% N → HCN	0,229 / 0,687 kg/s	0,134 / 0,403 kg/s	235 m

1.6 Vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen tijdens brand

Survival fractie (fractie onverbrand product)

Aan experts van de HSE (Engeland) en RISØ (Denemarken) is gevraagd hoe zij tegen de huidige – van het vlampunt afhankelijke - survivalfractie aankijken. Vanuit beide instituten is aangegeven dat met name de opslaghoogte van (zeer) toxische stoffen bepalend is voor de hoeveelheid onverbrand product dat vrijkomt (en niet zo zeer het vlampunt). Uit onderzoek [Atkinson 1992, 1994a en 1994b] blijkt dat hoge survivalfracties worden gemeten wanneer vloeibare en poedervormige organofosforverbindingen (pesticiden) vanuit hoge palletplaatsen in de vlammen op grondniveau terechtkomen. Een belangrijk deel van deze kleine deeltjes of druppels bereikt de grond niet en wordt direct met de warme rookgassen weggevoerd. Dit verschijnsel treedt bij lagere opslaghoogte en grotere deeltjes (granulaat) veel minder op. Om die reden wordt vanuit de genoemde instituten dan ook aanbevolen de opslaghoogte van (zeer) toxische stoffen te beperken.

Een andere, in de hierboven vermelde literatuur genoemde parameter die van invloed is op de survivalfractie, is de ventilatievoud: bij zuurstofbeperkte branden is de survivalfractie hoger dan bij oppervlaktebeperkte branden (waarbij voldoende zuurstof aanwezig is).

Omdat de onderbouwing van de huidige survivalfractie van 2 en 10% niet meer te achterhalen is en de geraadpleegde experts afraden een rekenwaarde te hanteren die van het vlampunt afhangt, is de huidige rekenmethode aangepast door rekening te houden met de opslaghoogte en ventilatievoud:

- Voor de opslaghoogte wordt onderscheid gemaakt in lage en hoge palletplaatsen, waarbij overeenkomstig PGS-15 1,80 meter als onderscheidend criterium wordt gehanteerd (zijnde de beproefde valhoogte voor UN-goedgekeurde verpakkingen; bijlage 3 pagina 69): toxische stoffen die op grondniveau of één palletplaats hoger worden opgeslagen worden derhalve als ‘laag’ beschouwd, de palletplaatsen daarboven als ‘hoog’.
- Ten aanzien van de ventilatievoud wordt onderscheid gemaakt in zuurstof- en oppervlaktebeperkte branden. Bij de ‘beschermingsniveau 1’-brandbestrijdingssystemen waarbij in de methodiek met een ventilatievoud van 4 en ∞ wordt gerekend (zie tabel 2 en 4), is nagegaan welk aandeel van de brandscenario's zuurstofbeperkt is (zie tabel 16). De brandscenario's bij opslagvoorzieningen $\leq 300 \text{ m}^2$ zijn grotendeels zuurstofbeperkt, dit in tegenstelling tot grotere opslagvoorzieningen waarbij de brand grotendeels oppervlaktebeperkt is. Dit komt omdat de beschikbare hoeveelheid zuurstof bij een kleinere opslagvoorziening kleiner is en daarmee het (minimum) oppervlak van de zuurstofbeperkte brand. Als gevolg hiervan zullen steeds meer scenario's zuurstofbeperkt worden. Om die reden is voor de genoemde brandbestrijdingssystemen nader onderscheid gemaakt in de grootte van de opslagvoorziening.

Voorbeeld:

Bij een 100, 300 en 900 m² opslagvoorziening met automatische sprinklerinstallatie is het aandeel van de brandscenario's welke zuurstofbeperkt zijn respectievelijk 98%, 54% en 11% (zie tabel 16). Wanneer er geen beperkingen zijn gesteld aan de opslaghoogte van de aanwezige (zeer) toxische stoffen, moet bij de 100 en 300 m² opslagen volgens tabel 5 met een survivalfractie van 10% worden gerekend en bij de 900 m² opslagvoorziening met 1%.

Bij alle overige brandbestrijdingssystemen onder beschermingsniveau 1, 2 en 3 zijn de brandscenario's altijd oppervlaktebeperkt (onbeperkte ventilatie).

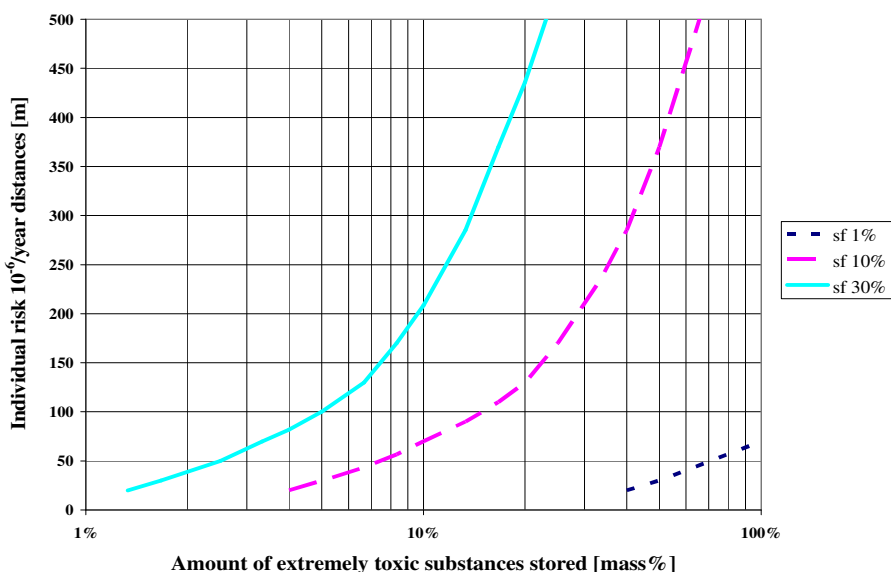
Tabel 16: Aandeel zuurstofbeperkte brandscenario's bij verschillende omvang van het brandcompartiment voor een tweetal brandbestrijdingssystemen (met automatische, bij brand zelfsluitende deuren)

Omvang brandcompartiment	Brandscenario's die zuurstofbeperkt zijn (bij ventilatievoud 4)	Aandeel zuurstofbeperkte scenario's t.o.v. basis faalkans	
		Sprinkler installatie	Hi-ex inside air-installatie
100 m ²	20, 50 en 100 m ²	$0,98 * (1) = 98\%$	$0,98 * (1) = 98\%$
300 m ²	50, 100 en 300 m ²	$0,98 * (1 - 0,45) = 54\%$	$0,98 * (1 - 0,89) = 11\%$
600 m ²	100 en 300 m ²	$0,98 * (1 - (0,45+0,44)) = 11\%$	$0,98 * (1 - (0,89+0,09)) = 2\%$
900 m ²	100 en 300 m ²	$0,98 * (1 - (0,45+0,44)) = 11\%$	$0,98 * (1 - (0,89+0,09)) = 2\%$
1500 m ²	300 m ²	$0,98 * (1 - (0,45+0,44+0,10)) = 1\%$	$0,98 * (1 - (0,89+0,09+0,01)) = 1\%$
2500 m ²	300 m ²	$0,98 * (1 - (0,45+0,44+0,10)) = 1\%$	$0,98 * (1 - (0,89+0,09+0,01)) = 1\%$

Ten aanzien van de rekenwaarde voor de survivalfractie is aangesloten bij de waarden die de HSE in haar Safety Report Assessment Guide [HSE 2002] vermeldt, namelijk 10% en 30%. Voor de situaties waarin de risico's kleiner zijn, wordt een survivalfractie van 1% gehanteerd.

Risicobijdrage onverbrand product

Het voorbeeld in figuur 3 van een 2.500 m² opslagruimte voorzien van een automatische sprinklerinstallatie laat zien dat bij ADR klasse 6.1 verpakingsgroep I stoffen de risicoafstand als gevolg van het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen (bij brand) vanaf een bepaalde opgeslagen hoeveelheid (drempelwaarde) snel oploopt. Voor verpakingsgroep II geldt overigens hetzelfde, alleen ligt de drempelwaarde veel hoger (zie tabel 17).



Figuur 3: Risicobijdrage van onverbrande ADR klasse 6.1 verpakingsgroep I stoffen bij een survivalfractie van 1, 10 en 30% (100% werkzame stof) van een 2.500 m² opslagruimte voorzien van een automatische sprinklerinstallatie (PR 10⁻⁶ toxische verbrandingsproducten = 50 m).

Uit het consequentieonderzoek PGS-15 inrichtingen [Riedstra 2008] is gebleken dat het aandeel van ADR klasse 6.1 verpakingsgroep I stoffen in een opslagvoorziening bij BRZO-bedrijven in Nederland beperkt is: hoogstens enkele procenten met enkele uitschieters tot (incidenteel) 25 massa%. Vandaar dat in veel situaties de bijdrage van onverbrande (zeer) toxische stoffen te verwaarlozen is ten opzichte van de bijdrage van de toxische verbrandingsproducten.

In tabel 17 is voor een viertal veel voorkomende brandbestrijdingssystemen berekend vanaf welke drempelwaarde de bijdrage van onverbrande toxische stoffen te verwaarlozen is en dus niet in een QRA hoeft te worden beschouwd. De drempelwaarden voor verpakkingsgroep I en II in tabel 17 gelden voor een survivalfractie van 10% en zuivere stoffen (fractie werkzame stof 100%). In een voorbeeldberekening op de volgende pagina is aangegeven hoe de drempelwaarde bij andere waarden voor de survivalfractie dan 10% en/of afwijkende percentages werkzame stof kan worden berekend.

Tabel 17: Drempelwaardentabel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I en II stoffen bij een survivalfractie van 10%. Wanneer de aanwezige hoeveelheid (zeer) toxische stoffen beneden de drempelwaarde ligt, mag de bijdrage van onverbrand product worden verwaarloosd.

Type opslagvoorziening <i>Stikstofgehalte</i>	Verpakkingsgroep I			Verpakkingsgroep II ^g		
	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Automatische sprinklerinstallatie ^h						
- brandsnelheid 0,025 kg/m ² s	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
- brandsnelheid 0,050 kg/m ² s	<2%	<2,5%	<3%	<17%	<21%	<25%
Automatische hi-ex inside-air inst. ^h						
- brandsnelheid 0,025 kg/m ² s	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
- brandsnelheid 0,050 kg/m ² s	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
Beschermingsniveau 2						
- brandsnelheid 0,025 kg/m ² s	<1%	<2%	<3%	<8%	<15%	<20%
Beschermingsniveau 3						
- brandsnelheid 0,025 kg/m ² s	<1%	<1,5%	<2%	<10%	<13%	<15%

g: Aan de hand van de dosis-effectrelatie kan worden afgeleid dat de drempelwaarden voor verpakkingsgroep II een factor 8½ hoger liggen dan die voor verpakkingsgroep I.

h: Bij de in de tabel vermelde waarden is uitgegaan van automatische, bij brand zelfsluitende deuren.

Bij andere waarden voor de survivalfractie dan 10% en/of afwijkende percentages werkzame stof kan de drempelwaarde worden afgeleid op basis van formule 14 en 15 (waarbij de bronsterkte Φ_{T+} gelijk moet blijven) en de in tabel 17 vermelde waarden.

Voorbeeld:

Bij een opslagvoorziening voorzien van een automatische sprinklerinstallatie (met stikstofgehalte 15% en brandsnelheid 0,050 kg/m²s) mag de bijdrage van onverbrand product - uitgaande van een survivalfractie van 10% - worden verwaarloosd bij een aandeel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen van kleiner dan 3 massa% (en <25 massa% bij verpakkingsgroep II). Wanneer de survivalfractie 1% zou bedragen, worden deze drempelwaarden met een factor 10 verhoogd: voor verpakkingsgroep I en II respectievelijk 30 en "250" massa% (een waarde > 100% betekent dat de bijdrage van onverbrand product altijd is te verwaarlozen). Bij een survivalfractie van 30% worden de drempelwaarden respectievelijk 1 en 8,3 massa% (een factor 3 lager t.o.v. de waarde in tabel 17). Indien de fractie werkzame stof 50% bedraagt in plaats van 100%, komen de drempelwaarden voor verpakkingsgroep I en II bij een survivalfractie van 10% een factor 2 hoger te liggen, namelijk respectievelijk 6 en 50 massa%.

Toxiciteit

De dosis-effect relaties van de voorbeeldstoffen voor verpakkingsgroep I en II in paragraaf 1.6.4 zijn gebaseerd op LC₅₀-waarden voor het inademen van stof en nevels (zie tabel 18), waarbij ten behoeve van verpakkingsgroep I (LC₅₀-waarden (rat, 4h) < 0,2 mg/l) uitsluitend zogenaamde 'brongegevens' uit SERIDA zijn gehanteerd (en geen afgeleide LC₅₀-waarden):

Tabel 18: Toxiciteitgegevens ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen uit SERIDA

Naam	UN nr	LC ₅₀ rat (blootstellingsduur) [mg/m ³]	LC ₅₀ human, 30 min [mg/m ³]		
			Berekend of afgeleid LC ₅₀ /probit/PGS1	Alle waarden	Waarden < 141
Acrylaldehyde	1092	300 (0,5 hr)	75 / 298 / 304	304	--
Tetracarboonylnickel	1259	67 (0,5 hr)	17 / 17 / nvt	17	17
2-hydroxy-2-methylpropionitrile (acetoncyanhydrine)	1541	70 (2 hr)	35 / 35 / nvt	35	35
hydrogen cyanide	1613	180,2 (0,5 hr)	45 / 115 / 114	114	114
Tetraethyllead	1649	850 (1 hr)	301 / 298 / 300	300	--
hydrogen fluoride	1790	1063 (1 hr)	376 / 784 / 802	802	--
Hexachlorocyclopentadiene	2646	18,18 (4 hr)	13 / 13 / nvt	13	13
Carbofuran	2757	43 (4 hr)	30 / 30 / nvt	30	30
1-(tricyclohexylstannyloxy)-1H-1,2,4-triazole	2788	20 (4 hr)	14 / 14 / nvt	14	14
Mevinphos	3018	131 (1 hr)	46 / 46 / nvt	46	46
N',N'-dimethylcarbamoyl(methylthio) methylenamine N-methylcarbamate	-	170 (1 hr)	60 / 60 / nvt	60	60
Monocrotophos	-	63 (4 hr)	45 / 44 / nvt	45	45
			Gemiddelde waarde	148	42

De variatie in LC₅₀-waarde (humaan, 30 min) in tabel 18 is groot. Een aantal stoffen heeft een LC₅₀-waarde die hoger is dan de waarde behorende bij de verpakkingsgroep I drempelwaarde voor stof en nevels van 0,2 mg/l (namelijk 141 mg/m³). Daarom zijn alleen die stoffen beschouwd met een LC₅₀-waarde (humaan, 30 min) lager dan 141 mg/m³. Hiervoor is de gemiddelde waarde als rekenwaarde gehanteerd: 42 mg/m³ (0,06 mg/l).

Dit leidt conform PGS-1 [PGS 2005a] tot de volgende dosis-effect relatie per verpakkingsgroep:

Tabel 19 LC₅₀-rekenwaarden en dosis-effect relaties per verpakkingsgroep (voorbeeldstof)

VG	LC ₅₀ (rat, 4h) criterium		Rekenwaarde		Probitwaarde 'a'	
	dampen [mg/l]	stof en nevels [mg/l]	LC ₅₀ (rat, 4h) [mg/l]	LC ₅₀ (humaan, 30 min) [mg/m ³]	a [mg/m ³]	a [ppmv]
I	V ≥ 10 × LC ₅₀ en LC ₅₀ ≤ 1.000 ml/m ³	LC ₅₀ < 0,2	0,06	42	-5,86	-5,47
II	V ≥ LC ₅₀ en LC ₅₀ ≤ 3.000 ml/m ³	0,2 < LC ₅₀ < 2	0,5	354	-10,14	-9,76
III	niet relevant	niet relevant	-	-	-	-

Indien in een QRA aannemelijk kan worden gemaakt dat de LC₅₀-waarden van de aanwezige (zeer) toxische stoffen afwijken van de rekenwaarde in tabel 19, mag een afwijkende LC₅₀-waarde worden gehanteerd. Hiervoor kan een aanvraag worden ingediend bij de SAFETI-NL helpdesk die vervolgens door de toetsgroep probitrelaties moet worden goedgekeurd.

1.7 Verlading van (zeer) toxische stoffen in de open lucht

Bij laden en lossen in de buitenlucht kan de inhoud van een verpakking met een zeer toxisch inhaleerbaar poeder (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) bij een grotere valhoogte dan 1,80 meter of door doorboring vrijkomen. In de methodiek wordt geen nader onderscheid gemaakt in faalfrequentie voor situaties waarbij de valhoogte wel of niet groter is dan 1,80 meter. In beide gevallen geldt de frequentie uit tabel 6.

Referenties

- Aminoal 2004a – Handboek kanscijfers, AMINAL 2004.
- Aminoal 2004b – Richtlijn betreffende de aanpak van magazijnbranden in veiligheidsrapporten, Aminoal 22 december 2004.
- Atkinson 1992 – Exposure of organophosphorus pesticides to turbulent diffusion flames, Atkinson GT, Jagger SF, J. Loss Prev. Process Ind. Vol 5, No 5 (1992) p271-277.
- Atkinson 1994a – Assessment of hazards from warehouse fires involving toxic materials, Atkinson GT, Jagger SF, Fire Safety Journal Vol 22 (1994) p107-123.
- Atkinson 1994b – Plume Seeding Mechanisms in Warehouse Fires, Atkinson GT, Jagger SF et al, EC Industrial Fires workshop, Cadarche May 17-18th 1994.
- CPR 1990 – Opslag bestrijdingsmiddelen in emballage (CPR 15-3), Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen.
- CPR 1991 – Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afvalstoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage opslag van grote hoeveelheden (CPR 15-2), Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen.
- CPR 1993 – Handboek brandbestrijdingssystemen (CPR-15 supplement). Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen.
- CPR-RE 2001 – Verslag CPR-RE vergadering van 18 september 2001.
- HSE 2002 – Safety Report Assessment Guide: Chemical Warehouses – Hazards, HSE version 6 June 26th 2002 (<http://www.hse.gov.uk/comah/sragcwh/index.htm>).
- Laheij 1995 – Studie naar de gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen, RIVM rapport 610066003, december 1995.
- Matthijssen 2007 – Omzettingpercentage van stikstofhoudende verbindingen naar NOx en HCN bij brand, RIVM notitie d.d. 25 juli 2007 (kenmerk 191/07 CEV Rie/sij – 1145).
- Molag 1990 – Individueel en groepsrisico opslag bestrijdingsmiddelen voor verschillende brandbestrijdingssystemen, Molag M. en Blom-Bruggeman J.M., VROM DGM, publicatierreeks milieubeheer 1990/9.
- Molag 1991 – Onderzoek naar de gevaren van de opslag van bestrijdingsmiddelen, Molag M. en Blom-Bruggeman J.M., TNO rapport 90-424, september 1991.
- Noordende van 't 2006 – Voorkomen 1,5% stikstof in opslagvoorzieningen met gevaarlijke stoffen, Tebodin rapport 35898 d.d. 1 september 2006.
- PGS 2005a – Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen ('Groene boek'), VROM 2005.
- PGS 2005b – Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, richtlijn voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid, VROM 2005
- Purser 1991 – Purser DA, The relationship of small scale toxicity test data to full scale fire hazard. Fire Research Station, UK 1991.
- Riedstra 2008 – Consequentieonderzoek rekenmethodiek PGS-15 bedrijven, RIVM notitie d.d. 15 april 2008.
- VROM 1997 – Risico-analyse methodiek CPR-15 bedrijven, 1997.