



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevi

Inleiding

Versie 3.3
1 juli 2015



Gemeente Breda

Bijlage 8 bij besluit
Z2018-008410-V1

V&L

Colofon

© RIVM 2015

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Helpdesk SAFETI-NL
SAFETI-NL@rivm.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave—3

1	Inleiding—4
1.1	Achtergrond—4
1.2	Doelgroep van de Handleiding—5
1.3	Leeswijzer—5
1.4	Informatie—6

Referenties—7

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Een kwantitatieve risicoanalyse (Quantitative Risk Assessment, hierna: QRA) wordt gebruikt om beslissingen te nemen over de aanvaardbaarheid van het risico¹ in relatie tot ontwikkelingen bij een bedrijf of in de omgeving van een inrichting of transportroute. De criteria voor de beoordeling van de aanvaardbaarheid van risico's voor een groot aantal categorieën van inrichtingen zijn vastgelegd in het Besluit externe veiligheid inrichtingen (hierna: Bevi) [1].

Om de resultaten van een QRA te kunnen gebruiken bij beslissingen, moeten deze verifieerbaar, reproduceerbaar en vergelijkbaar zijn. Daarom moeten QRA's op basis van dezelfde uitgangspunten, modellen en basisgegevens worden uitgevoerd. De Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen (CPR) heeft destijds een aantal rapporten uitgegeven waarin de methoden voor QRA-berekeningen zijn opgenomen, met name het 'Rode boek', het 'Gele boek', het 'Groene boek' en het 'Paarse boek'. Het 'Rode boek' beschrijft de methoden waarmee kansen worden bepaald en verwerkt [2]. In het 'Gele boek' zijn modellen opgenomen waarmee de uitstroming en de verspreiding van gevaarlijke stoffen in de omgeving kan worden bepaald [3]. Het 'Groene boek' beschrijft de effecten van de blootstelling aan toxische stoffen, warmtestraling en overdruk op de mens [4]. In het 'Paarse boek' zijn alle overige uitgangspunten en gegevens opgenomen die nodig zijn voor een QRA-berekening [5].

Met de publicatie van de gekleurde boeken was de QRA rekenmethode min of meer volledig vastgelegd. Om na te gaan in hoeverre QRA-berekeningen ook inderdaad eenduidig worden uitgevoerd, heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (hierna: RIVM) een benchmark studie uitgevoerd. In deze studie hebben verschillende adviesbureaus QRA berekeningen uitgevoerd volgens de standaardmethode. Het resultaat van de benchmark studie toonde aan dat nog steeds grote verschillen in rekenresultaten voorkomen [6]. Afhankelijk van de interpretatie van het adviesbureau en het gebruikte rekenpakket waren verschillen van honderden meters in de risicocontouren mogelijk. Met de introductie van het Bevi nam de noodzaak tot een grotere eenduidigheid in rekenresultaten toe. Dit heeft geleid tot een tweetal belangrijke keuzes.

- Voor het uitvoeren van de QRA-berekeningen voor inrichtingen die onder het Bevi vallen wordt één specifiek rekenpakket voorgeschreven. Dit betreft het rekenpakket SAFETI-NL van DNVGL [7].
- Het Paarse Boek wordt voor inrichtingen vervangen door een Handleiding Risicoberekeningen Bevi (hierna: Handleiding).

De combinatie van het rekenpakket SAFETI-NL en de onderhavige Handleiding vormen thans de rekenmethode voor het uitvoeren van een QRA in het kader van het Bevi, en worden verder aangeduid als "rekenmethodiek Bevi". In artikel 7 van de Regeling externe veiligheid inrichtingen (hierna: Revi) is de toepassing van deze rekenmethodiek voorgeschreven voor het vaststellen van het

¹ In de rekenmethodiek Bevi wordt onder risico verstaan: de kans op (acuut) overlijden ten gevolge van een ongeval met gevaarlijke stoffen. Onder effecten wordt verstaan: acute sterfte ten gevolge van blootstelling aan toxische stoffen, warmtestraling of overdruk.

plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor de inrichtingen die vallen onder het Bevi.

Bij het uitvoeren van QRA-berekeningen dient de rekenmethodiek Bevi te worden gevolgd. Deze rekenmethodiek is in beginsel toepasbaar op alle situaties die zich binnen de werkingssfeer van het Bevi kunnen voordoen. Bij de ontwikkeling van de rekenmethodiek Bevi is een aantal keuzes gemaakt. Hierbij heeft telkens een afweging plaatsgevonden tussen het zo eenduidig mogelijk maken van de rekenmethode, waarvoor parameters vastgelegd dienen te worden, en het mogelijk maken van locatiespecifieke modellering, waarvoor enige keuzevrijheid aan de gebruiker geboden moet worden. Het resultaat van deze afweging is dat, binnen het geboden kader van de rekenmethodiek, de gebruiker nog altijd de mogelijkheid heeft specifieke gegevens te wijzigen. Daarbij geldt wel de randvoorwaarde dat alle QRA-berekeningen te herleiden moeten zijn tot goed onderbouwde en volledige gedocumenteerde afwegingen en keuzes.

Het kan echter voorkomen dat de kenmerken of omstandigheden van een bepaalde specifieke situatie zo bijzonder zijn, dat, ondanks de geboden keuzevrijheid, de rekenmethodiek Bevi niet goed toepasbaar is. Voor die gevallen voorzien de artikelen 8b en 8c van de Revi in de mogelijkheid om verdergaand van de rekenmethodiek Bevi af te wijken. Op deze afwijkingsmogelijkheden wordt in module A nader ingegaan.

1.2 Doelgroep van de Handleiding

Deze Handleiding, die in combinatie met de documentatie bij SAFETI-NL moet worden gelezen, is met name bedoeld voor lokale overheden, maar ook voor medewerkers bij andere overheden. Ook kan de Handleiding een goed hulpmiddel zijn voor bedrijven en technische adviesbureaus bij het uitvoeren van berekeningen in het kader van het Bevi.

1.3 Leeswijzer

Deze Handleiding bestaat uit drie modules.

In module A wordt kort ingegaan op de wet- en regelgeving met betrekking tot externe veiligheid, voor zover van belang voor de toepassing van de rekenmethodiek Bevi. Tevens wordt beschreven in welke gevallen afwijking van de rekenmethodiek Bevi is toegestaan.

In module B zijn aanwijzingen en adviezen voor het berekenen van risicocontouren beschreven die relevant zijn voor alle categorieën van inrichtingen die vallen onder het Bevi. Dit betreft informatie over modelparameters en technische documentatie. Ook wordt in deze module ingegaan op de wijze van rapporteren.

In module C wordt voor de specifieke categorieën van inrichtingen die vallen onder het Bevi beschreven op welke wijze een QRA bedoeld voor de toetsing aan de normen uit het Bevi, moet worden berekend. Daarbij is aangesloten bij de aanwijzing van categorieën van inrichtingen die in het Bevi is aangehouden. Van belang is dat voor een aantal van deze categorieën de ontwikkeling van een geünificeerde rekenmethodiek nog niet is afgerond. Voor een aantal van deze categorieën kan wel worden verwezen naar andere documenten waarin informatie over het berekenen van de QRA is opgenomen. Binnen afzienbare termijn zal voor deze categorieën in deze handleiding een beschrijving van de geünificeerde rekenmethodiek worden opgenomen.

Onder de categorie Brzo inrichtingen vallen de grotere industriële vestigingen, waarbinnen een grote verscheidenheid aan activiteiten kan worden ontplooid [8]. De hoofdstukken over Brzo inrichtingen zijn gebaseerd op het Paarse boek [5] en beschrijven dan ook de standaard modellering voor al die activiteiten. Voor een aantal specifieke activiteiten voldeed deze algemene aanpak niet en is in de loop der jaren een specifiekere modellering uitgewerkt. Deze specifieke aanpak wordt per bedrijfscategorie in de module C uiteengezet. Het gaat daarbij vooral om de verschillen met de generieke "Brzo"-aanpak.

Op dit moment worden de bestaande rekenmethodieken voor specifieke categorieën geactualiseerd. Zodra een geactualiseerde rekenmethodiek is vastgesteld zal die in deze Handleiding worden opgenomen. Tot die tijd zal in deze Handleiding worden volstaan met een verwijzing naar een bestaande rekenmethodiek. In de bestaande rekenmethodieken is het te gebruiken rekenpakket niet gespecificeerd. Het gebruik van SAFETI-NL is voor deze specifieke categorieën toegestaan en wordt uiteraard aanbevolen.

1.4 Informatie

Hoewel de rekenmethodiek Bevi zo goed mogelijk is opgesteld, kunnen er in de praktijk situaties optreden waarin de toepassing hiervan tot vragen kan leiden. Daarom is er een Helpdesk (te benaderen via het e-mail adres safeti-nl@rivm.nl) ingericht voor het beantwoorden van vragen met betrekking tot deze Handleiding en het rekenpakket SAFETI-NL. Ook is er een website (http://www.rivm.nl/Onderwerpen/E/Externe_Veiligheid) waar relevante informatie wordt gepubliceerd.

Referenties

- [1] Besluit externe veiligheid inrichtingen.
- [2] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 4. Methods for determining and processing probabilities ('Rode boek'). Ministerie van VROM, 2005.
- [3] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 2. Methods for the calculation of physical effects ('Gele boek'). Ministerie van VROM, 2005.
- [4] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade ('Groene boek'). Ministerie van VROM, 2005.
- [5] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse ('Paarse boek'). Ministerie van VROM, 2005.
- [6] Ale BJM, Golbach GAM, Goos D, Ham K, Janssen LAM, Shield SR. Benchmark risk analysis models. RIVM rapport 610066015, 2001.
- [7] DNVGL. SAFETI-NL. Voor informatie zie http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/SAFETI_NL
- [8] Besluit risico's zware ongevallen



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevi

Module A

Versie 3.3
1 juli 2015

Colofon

© RIVM 2015

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Helpdesk SAFETI-NL
SAFETI-NL@rivm.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave—3

1	Juridisch kader—4
1.1	Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi)—4
1.2	Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi)—4
1.3	Gebruik van afwijkende invoergegevens en rekenmethodiek—4

1 Juridisch kader

1.1 Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi)

In het Bevi zijn risiconormen met betrekking tot de externe veiligheid opgenomen waaraan bedrijven met gevaarlijke stoffen moeten voldoen. Deze bedrijven verrichten soms risicovolle activiteiten in de nabijheid van personen of groepen personen. Het besluit wil die risico's beperken en zo de burgers een minimum beschermingsniveau bieden. Het verplicht gemeenten en provincies wettelijk bij het verlenen van milieuvergunningen en het maken van bestemmingsplannen rekening te houden met externe veiligheid. Dit betekent bijvoorbeeld dat woningen op een bepaalde afstand moeten staan van een bedrijf dat werkt met gevaarlijke stoffen.

1.2 Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi)

In de Revi zijn, ter uitvoering van het Bevi, regels gesteld met betrekking tot de aan te houden afstanden tussen het risicoveroorzakend bedrijf en de objecten die bescherming behoeven. Zo zijn er voor bepaalde categorieën inrichtingen vaste afstanden opgenomen en weergegeven in tabellen. Tevens wordt aangegeven vanaf welk punt en tot welk punt deze afstanden gelden. Voor de verantwoording van het groepsrisico is het invloedsgebied van belang en ook hier zijn regels voor opgenomen in de Revi. De regeling is tegelijk met het Bevi in werking getreden en sindsdien enkele malen gewijzigd. In artikel 7 van de Revi is de toepassing van de rekenmethodiek Bevi voorgeschreven voor het vaststellen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor de inrichtingen die vallen onder het Bevi.

1.3 Gebruik van afwijkende invoergegevens en rekenmethodiek

De rekenmethodiek Bevi is toepasbaar voor bijna alle situaties die zich binnen de werkingssfeer van het Bevi kunnen voordoen. Het kan voorkomen dat de kenmerken of omstandigheden van een bepaalde specifieke situatie zo bijzonder zijn, dat de rekenmethodiek Bevi niet of niet goed toepasbaar is. Voor die gevallen voorzien de artikelen 8b en 8c van de Revi in de mogelijkheid om in bepaalde omstandigheden van de rekenmethodiek af te wijken. Hieronder wordt deze afwijkmogelijkheid nader toegelicht.

De rekenmethodiek Bevi bevat modellen en vereenvoudigingen. Dit kan er in een enkel, bijzonder geval toe leiden dat het strikte opvolgen van de Handleiding leidt tot resultaten die logischerwijs niet kloppen. Artikel 8b van de Revi voorziet in de mogelijkheid om van de invoergegevens uit de Handleiding Risicoberekeningen af te wijken. In dat geval kan het bevoegd gezag bepalen dat van de verplichte invoergegevens uit de Handleiding mag worden afgeweken, zodat de invoergegevens kunnen worden toegespitst op de specifieke omstandigheden van het geval. De beslissing van het bevoegd gezag met betrekking tot het gebruik van afwijkende invoergegevens is geen besluit in de zin van de Algemene wet bestuursrecht. Wel wordt aanbevolen advies van het RIVM te vragen in voorkomende gevallen.

In artikel 8c van de Revi wordt daarnaast de mogelijkheid geboden om, indien de rekenmethodiek Bevi vanwege specifieke omstandigheden van het geval niet passend is, gebruik te maken van een andere passende rekenmethodiek. Voorwaarden voor de toepassing van een andere rekenmethodiek is dat deze op

deugdelijke wijze is beschreven en reproduceerbare resultaten oplevert. Dat wil zeggen dat de rekenmethodiek transparant is en dat achteraf is na te gaan welke invoergegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd. De beoordeling van de andere rekenmethodiek vindt voor elke situatie afzonderlijk plaats.

Artikel 8d van de Revi regelt de generieke acceptatie van alternatieven die gelijkwaardig zijn aan SAFETI-NL.

Toepassing van een andere rekenmethodiek is pas mogelijk na goedkeuring door de minister van Infrastructuur en Milieu (hierna: IenM), die een besluit neemt nadat advies is ingewonnen bij het RIVM. Het besluit van de minister is een besluit in de zin van de Algemene wet bestuursrecht (hierna: Awb). Op het besluit tot goedkeuring van de rekenmethodiek, of de weigering daarvan, is titel 4.1 Beschikkingen, van de Awb van toepassing. In deze titel zijn regels opgenomen ten aanzien van onder meer de aanvraag tot goedkeuring, de beslistermijn en de voorbereiding van de goedkeuring dan wel de onthouding daarvan. Tegen de beschikking tot goedkeuring dan wel onthouding daarvan kan bezwaar en beroep worden ingesteld. Hoofdstukken 6 en 7 Awb met betrekking tot bezwaar en beroep zijn dan ook van toepassing op deze procedure.

Een aanvraag tot het gebruik van een andere rekenmethodiek moet worden gezonden aan de Minister van IenM, ter attentie van het RIVM, Centrum Veiligheid, Loket SAFETI-NL, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven. Een uitgebreide procedure voor het aanvragen en beoordelen van andere rekenmethodieken is te downloaden van de website van het RIVM.



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevi

Module B

Versie 3.3
1 juli 2015

Colofon

© RIVM 2015

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Helpdesk SAFETI-NL
SAFETI-NL@rivm.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave—3

1	Inleiding—5
2	Ontstekingsbronnen—6
2.1	Inleiding—6
2.2	Ontstekingsbronnen—6
3	Modelparameters—8
3.1	Inleiding—8
3.2	Modellering van de scenario's—8
3.3	QRA specifieke parameters—10
3.3.1	Positie van de uitstroming—10
3.3.1.1	Locatie van de uitstroming—10
3.3.1.2	Hoogte van de uitstroming ten opzichte van de omgeving—10
3.3.1.3	Hoogte van de uitstroming ten opzichte van het reservoir—10
3.3.1.4	Uitstroming uit reservoirs met een niet homogene inhoud—11
3.3.2	Richting van de uitstroming—11
3.3.3	Ruwheidslengte van de leiding—12
3.3.4	Drukverlies ten gevolge van kleppen en bochten—12
3.3.5	Uitstroom in een gebouw—12
3.3.6	Faaldruk van een BLEVE—12
3.3.7	Tijdsafhankelijke uitstroming—12
3.3.8	Tankput—13
3.3.9	Ruwheidslengte van de omgeving—14
3.3.10	Meteorologische weerstation en parameters—15
3.3.11	Verdeling binnen en buiten—16
3.3.12	Het modelleren van personen bij evenementen—17
3.3.13	Ontstekingsbronnen—17
3.4	Parameters specifiek voor een QRA in Nederland—18
3.4.1	Middelings tijd—18
3.4.2	Maximum uitstroomtijd en blootstellingsduur—18
3.4.3	Geblokkeerde uitstroming—18
3.4.4	Massa betrokken in een BLEVE—18
3.4.5	Ondergrondse tanks met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen—18
3.4.6	Gebeurtenissenboom ontvlambare stoffen—19
3.4.6.1	Instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas—19
3.4.6.2	Continue vrijzetting van een ontvlambaar gas—20
3.4.6.3	Instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas—20
3.4.6.4	Continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas—21
3.4.6.5	Vrijzetting van een ontvlambaar vloeistof—22
3.4.6.6	Kans op directe ontsteking, $P_{\text{directe ontsteking}}$ —23
3.4.6.7	Kans op vertraagde ontsteking, $P_{\text{vertraagde ontsteking}}$ —25
3.4.6.8	Fractie BLEVE (vuurbal)—25
3.4.6.9	Fractie explosie—25
3.4.6.10	Stoffen die zowel toxisch als ontvlambaar zijn—26
3.4.7	Explosie parameters—26
3.4.8	Hoogte voor de berekening van de effecten—26
3.4.9	Letaliteit—26
3.4.9.1	Blootstelling aan toxische stoffen—27

3.4.9.2 Ontvlambare stoffen - warmtestraling—27

3.4.9.3 Ontvlambare stoffen - overdruk—28

3.5 Stofspecifieke parameters—28

3.5.1 Probit waarden toxische stoffen—28

3.5.2 Inerte stoffen—29

3.5.3 Zuurstof—30

3.6 Mengsels—30

3.6.1 Vloeibare aardolieproducten K1/K2—30

3.6.2 Aardgas—31

3.6.3 Producten bij PGS 15 inrichtingen—31

3.6.4 Overige mengsels—31

4 Technische documentatie—32

4.1 Inleiding—32

4.2 Rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag Wm—32

5 Bijlage Verantwoording—37

5.1 Hoofdstuk 2 Ontstekingsbronnen—37

5.2 Hoofdstuk 3 Modelparameters—38

5.3 Hoofdstuk 4 Technische documentatie—48

Referenties—49

1 Inleiding

In deze module wordt ingegaan op de algemene invoergegevens die benodigd zijn om in het kader van de rekenmethodiek Bevi een QRA uit te voeren. De hieronder aangegeven aanwijzingen en adviezen zijn van belang bij de toepassing van het rekenpakket SAFETI-NL, maar kunnen ook relevant zijn bij het volgen van bestaande nog niet geünificeerde rekenmethoden (zie module C). Het betreft de inventarisatie van ontstekingsbronnen (hoofdstuk 2), de invoer in het rekenpakket SAFETI-NL (hoofdstuk 3) en de technische documentatie die nodig is voor het goed beoordelen van de QRA (hoofdstuk 4).

2 Ontstekingsbronnen

2.1 Inleiding

De aanwezigheid van personen en ontstekingsbronnen in de omgeving van de inrichting is van belang voor de berekening van het groepsrisico. Dit hoofdstuk geeft voorschriften met betrekking tot de bepaling van de ontstekingsbronnen. De mee te nemen bevolkingsgroepen in de QRA zijn beschreven in de Handreiking Verantwoordingsplicht Groepsrisico, hoofdstuk 16 [1].

2.2 Ontstekingsbronnen

Ontstekingsbronnen binnen de inrichting zijn van belang voor de berekening van zowel het plaatsgebonden risico als het groepsrisico, ontstekingsbronnen buiten de inrichting zijn alleen van belang voor de berekening van het groepsrisico¹. In de berekening van het groepsrisico wordt de vertraagde ontsteking veroorzaakt door de aanwezigheid van een ontstekingsbron. De vertraagde ontsteking wordt als volgt gemodelleerd:

$$P(t) = P_{\text{present}} \times (1 - e^{-\omega t})$$

met

$P(t)$	de kans van een ontsteking in het tijdsinterval 0 tot t (-)
P_{present}	de kans dat de bron aanwezig is wanneer de ontvlambare wolk passeert (-)
ω	de effectiviteit van de ontsteking (s^{-1})
t	tijd (s).

Tabel 1 geeft de kans van ontsteking bij een tijdsinterval van één minuut voor enkele categorieën.

¹ Voor het Plaatsgebonden Risico wordt aangenomen dat een ontvlambare wolk buiten de inrichting altijd ontsteekt bij de grootste wolkomvang, ongeacht de locatie van ontstekingsbronnen.

Tabel 1 Kans van ontsteking van een ontvlambare wolk in een tijdsinterval van één minuut voor een aantal bronnen

Brontype	Ontstekingsbron	Kans van ontsteking
Puntbron	Naburige procesinstallatie	0,5
	Fakkel	1,0
	Oven (buiten)	0,9
	Oven (binnen)	0,45
	Boiler (buiten)	0,45
	Boiler (binnen)	0,23
Lijnbron	hoogspanningskabel (per 100 m)	0,2
	Motorvoertuig, trein	zie opmerking 1
	Schip	0,5
Bevolkingsbron	Huishoudens (per persoon)	0,01
	Kantoren (per persoon)	0,01

Opmerkingen:

1. De kans van een ontsteking voor een snelweg of spoorweg in de nabijheid van een inrichting of transportroute wordt bepaald door de gemiddelde verkeersdichtheid en de ontstekingskans per voertuig. Als standaard waarden kan voor een snelweg gerekend worden met een gemiddelde snelheid van 80 km/h en 1500 motorvoertuigen per uur (ontstekingskans per motorvoertuig 0,4 in één minuut) en voor een spoorweg met een gemiddelde snelheid van 80 km/h en 8 treinen per uur (ontstekingskans per trein 0,8 in één minuut). Voor lokale wegen wordt aangenomen dat deze inbegrepen zijn in de ontstekingskans van de huishoudens en kantoren.
2. Op het terrein van de inrichting worden de ontstekingsbronnen ingevoerd als puntbronnen dan wel als lijnbronnen.

3 Modelparameters

3.1 Inleiding

In een risicoberekening met het QRA rekenpakket SAFETI-NL moet een aantal keuzes worden gemaakt en een groot aantal parameterwaarden worden ingevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft een aantal keuzes in de modellering en de parameters die van belang zijn in de risicoberekeningen. In de beschrijving wordt onderscheid gemaakt in drie typen parameters, namelijk:

- Categorie 1 Parameters die de gebruiker kan wijzigen om de berekening in overeenstemming te brengen met de bedrijfsspecifieke en locatiespecifieke omstandigheden. Dit zijn de QRA specifieke parameters en deze zijn beschreven in paragraaf 3.3.
- Categorie 2 Parameters die de gebruiker niet kan wijzigen, maar die kenmerkend zijn voor een QRA berekening in Nederland. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.4.
- Categorie 3 Parameters die stofs specifiek zijn. De gebruiker kan deze parameters niet wijzigen voor de standaard stoffen in SAFETI-NL. Voor stoffen die nog niet zijn opgenomen in SAFETI-NL dienen deze parameters bepaald te worden. De stofs specifieke parameters zijn beschreven in paragraaf 3.5.

Daarnaast zijn er nog parameters die de gebruiker niet kan wijzigen, maar die horen bij het rekenmodel, en parameters die niet van invloed zijn op de rekenresultaten, maar alleen de presentatie van (tussen-) resultaten bepalen. Deze parameters zijn beschreven in de documentatie van het rekenpakket.

3.2 Modellering van de scenario's

Voor de berekening moet gebruik worden gemaakt van de standaard scenario's in SAFETI-NL zoals gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Scenario's in SAFETI-NL

Scenario	SAFETI-NL
Instantaan falen	Catastrophic rupture
Leidingbreuk (korte leiding)	Line rupture
Leidingbreuk (lange leiding)	Long pipeline
Gat in reservoir	Leak
Gat in leiding	Leak
10 minuten uitstroming (reservoir)	Fixed duration
30 minuten uitstroming (schip)	Fixed duration
drukveiligheid	Relief valve
BLEVE (transportmiddel)	BLEVE (standalone model)
plasbrand	Pool fire (standalone model)

Opmerkingen:

1. SAFETI-NL biedt naast de standaard scenario's van Tabel 2 ook de optie een 'user defined source' in te voeren. Deze optie is alleen bedoeld voor uitzonderlijke gevallen waarin de standaard scenario's aantoonbaar onjuist zijn. In de rapportage dient dan expliciet vermeld te worden waarom de modellering met standaard scenario's niet correct is. Ook dient aangegeven te worden waar de 'user defined source' gegevens op gebaseerd zijn.
2. Bij het falen van een onderdeel, zoals een vat, kan nalevering plaatsvinden van andere systeemonderdelen die verbonden zijn met het vat. Wanneer de nageleverde hoeveelheid significant² is, dient in het scenario hiermee rekening te worden gehouden. Er zijn twee situaties te onderscheiden:
 - a. Wanneer de inhoud van het vat groter is dan de nageleverde hoeveelheid, wordt het scenario gemodelleerd door de inhoud van het vat te verhogen met de nageleverde hoeveelheid.
 - b. Wanneer de nageleverde hoeveelheid groter is dan de inhoud van het vat, wordt uitgegaan van de gecombineerde uitstroming, waarbij de bronterm van de nalevering wordt verhoogd om de initiële piek in rekening te brengen.
3. Wanneer bij het falen van een leiding uitgegaan moet worden van een verhoogd pompdebiet, wordt dit gemodelleerd door het verhogen van de *pumphead* tot het vereiste debiet is bereikt.
4. De effecten van maatregelen op de uitstroming, zoals het sluiten van kleppen, kunnen in rekening worden gebracht. Het sluiten van een klep na 120 s kan in rekening worden gebracht door voor dit scenario de inhoud van een vat te verlagen zodat de uitstroming na 120 seconden stopt.
5. Het vrijkomen van een mengsel van een toxische stof en een inerte stof, wordt standaard gemodelleerd met de bronterm van alleen de gevaarlijke stof. Dit kan dichtbij de bron tot een overschatting van het risico leiden. In bijzondere gevallen kan daarom een verbeterde modellering worden toegepast door een mengsel te definiëren.
6. Voor leidingbreuk biedt SAFETI-NL de keuze tussen het scenario 'line rupture' en 'long pipeline'. Standaard wordt gerekend met het scenario 'line rupture'. Alleen voor lange transportleidingen tussen twee units op een terrein kan gerekend worden met het scenario 'long pipeline'. In het scenario 'long pipeline' wordt de uitstroming berekend op basis van de inhoud van de leiding en een pompdebiet. Dit betekent dat de uitstroming uit een eventueel verbonden reservoir niet meegenomen wordt. Het scenario 'long pipeline' kan daarom alleen gebruikt worden wanneer het pompdebiet en de inhoud van de transportleiding bepalend zijn voor de uitstroming. Hierbij dient ook voldaan te worden aan de voorwaarde dat $L/D > 1000$, met L de (totale) leidinglengte en D de leidingdiameter.
7. Bij leidingbreuk vindt uitstroming plaats van beide kanten van de breuk. Hierbij zijn verschillende mogelijkheden:
 - a. Wanneer de uitstroming voornamelijk vanuit één zijde plaatsvindt, kan het scenario gemodelleerd worden als breuk van één leiding ('line rupture').

² Significant is hierbij meer dan 10% van de hoeveelheid die uit het falende onderdeel vrijkomt.

- b. Wanneer de breuk optreedt in een lange transportleiding, wordt automatisch de verschillende bijdragen van beide kanten van de breuk meegenomen in de berekening van de uitstroming.
- c. Wanneer de bijdragen van beide zijden van de leidingbreuk aan de uitstroming relevant³ zijn, moet gerekend worden met één effectieve leidingdiameter, waarvoor het uitstroomdebiet overeenkomt met het uitstroomdebiet van beide zijden opgeteld.

3.3 QRA specifieke parameters

De parameters in deze categorie kunnen gewijzigd worden om de berekening in overeenstemming te brengen met de specifieke omstandigheden van het bedrijf en de omgeving.

3.3.1 *Positie van de uitstroming*

Aan elk scenario is een positie van de uitstroming gekoppeld. De positie wordt bepaald door de locatie (x, y) en de hoogte (z) ten opzichte van de omgeving. Voor het uitstroomdebiet is ook de plaats van het gat in het vat van belang. Wanneer de inhoud van een reservoir niet homogeen is, zoals in een distillatiekolom, dienen meerdere uitstroombposities te worden gemodelleerd.

3.3.1.1 Locatie van de uitstroming

De locatie (x, y) van de uitstroming wordt bepaald door de locatie van een reservoir of de leiding. De locatie wordt gelijkgesteld aan het midden van het reservoir.

Om voor lange transportleidingen een representatieve risicocontour op te kunnen stellen, dienen faallocaties te worden geselecteerd die zich op een regelmatige afstand van elkaar bevinden. Het aantal dient voldoende hoog te zijn om te garanderen dat de risicocontour niet significant verandert, wanneer het aantal faallocaties wordt verhoogd. Een aanvaardbare initiële afstand tussen twee faallocaties is 50 meter.

3.3.1.2 Hoogte van de uitstroming ten opzichte van de omgeving

De hoogte van de uitstroming (z) ten opzichte van de omgeving wordt bepaald door de locatie van het vat of de leiding. De hoogte wordt gelijkgesteld aan de locatie van de leiding dan wel de onderkant van het vat, met een minimum hoogte van één meter. Alleen voor ondergrondse leidingen en vaten wordt uitgegaan van een hoogte van 0 meter.

3.3.1.3 Hoogte van de uitstroming ten opzichte van het reservoir

De uitstroming vindt plaats aan de onderzijde van het reservoir. Dit betekent dat de uitstroming gemodelleerd wordt vanuit de vloeibare fase, indien aanwezig, met een vloeistofkolom gelijk aan de maximum vloeistofkolom bij de gegeven vulgraad.

³ Relevant is meer dan 10% van het uitstroomdebiet en uitstroomhoeveelheid van één zijde.

Een uitzondering vormt het scenario instantaan falen voor atmosferische tanks. Voor dit scenario moet voor de hoogte van de vloeistofkolom een waarde van 0 m worden gehanteerd.

3.3.1.4 Uitstroming uit reservoirs met een niet homogene inhoud

In proces- en reactorvaten kunnen verschillende stoffen aanwezig zijn in verschillende fases. Zo kan een distillatiekolom een toxische stof in de gasfase bevatten, terwijl een al dan niet gevaarlijk oplosmiddel in de vloeibare fase aanwezig kan zijn. In een dergelijk geval worden de scenario's op de volgende standaard wijze gedefinieerd:

- instantane uitstroming
De volledige inhoud van het reservoir komt instantaan vrij. Het scenario wordt gemodelleerd als hetzij het vrijkomen van de totale inhoud aan toxisch gas, hetzij het vrijkomen van de totale inhoud aan oplosmiddel. Hierbij moet gekozen worden voor de uitstroming die leidt tot de grootste 1% letaliteitsafstand voor weerklassse D5.
- 10 minuten uitstroming
De volledige inhoud van het reservoir komt in 10 minuten vrij. Het scenario wordt gemodelleerd als hetzij het vrijkomen van de totale inhoud aan toxisch gas in 10 minuten, hetzij het vrijkomen van de totale inhoud aan oplosmiddel in 10 minuten. Hierbij moet gekozen worden voor de uitstroming die leidt tot de grootste 1% letaliteitsafstand voor weerklassse D5.
- 10 mm gat
Twee verschillende locaties worden gemodelleerd, namelijk de top van het reservoir en de bodem. De faalfrequentie wordt verdeeld over deze uitstroompunten.

In sommige gevallen is het realistischer te rekenen met een mengsel met gemiddelde eigenschappen in plaats van de afzonderlijke stoffen. Dit moet van geval tot geval beoordeeld worden.

Vaten met een homogeen mengsel (gas/gas of vloeistof/vloeistof) dienen doorgerekend te worden als een mengsel met gemiddelde eigenschappen.

3.3.2 *Richting van de uitstroming*

De richting van de uitstroming is standaard horizontaal⁴ met uitzondering van ondergrondse transportleidingen en ondergrondse reservoirs: hiervoor is de richting van de uitstroming standaard verticaal.

In voorkomende gevallen kan afgeweken worden van de standaard uitstroombichting. In het bijzonder wordt met verticale uitstroming gerekend in het geval van bovengrondse leidingen die verticaal lopen.

⁴ In het rekenpakket SAFETI-NL is een horizontale uitstroming altijd met de wind mee

3.3.3 *Ruwheidslengte van de leiding*

De ruwheidslengte van de leiding is een maat voor de interne ruwheid van de leiding en bepaalt de weerstand in de leiding. De waarde voor de ruwheidslengte is standaard gelijk aan 45 μm .

3.3.4 *Drukverlies ten gevolge van kleppen en bochten*

In de berekening wordt standaard geen rekening gehouden met drukverlies in een leiding ten gevolge van de aanwezigheid van kleppen, verbindingen en bochten.

3.3.5 *Uitstroom in een gebouw*

Bij uitstroming in een gebouw dient gerekend te worden met de wijze waarop de stof via de ventilatie naar buiten komt (*In building release*) en met de invloed van het gebouw op de verspreiding (*roof/lee effect*). Hierbij moet gerekend worden met de volgende uitgangspunten:

- Wanneer het ventilatiedebiet kleiner is dan het (dampvormig) uitstroomdebiet, moet aangenomen worden dat het gebouw niet intact blijft en moet het scenario worden gemodelleerd alsof de volledige uitstroming buiten plaatsvindt zonder gebouwinvloeden.
- Voor de modellering van het “roof/lee” effect wordt uitgegaan van een vierkant gebouw (lengte = breedte = $\sqrt{\text{oppervlak}}$) en wordt de hoek van de windrichting en de hoek van het gebouw gelijkgesteld aan nul.

3.3.6 *Faaldruk van een BLEVE*

Aangenomen wordt dat een BLEVE van een stationaire tank ontstaat ten gevolge van opwarming van de inhoud van de tank. De condities waarbij de BLEVE optreedt, zijn in dat geval anders dan de opslagcondities. Daarom biedt het rekenpakket de mogelijkheid de faaldruk en -temperatuur van de BLEVE apart voor een scenario in te voeren⁵.

Voor stationaire tanks is de faaldruk voor de BLEVE gelijk aan $1,21 \times$ de openingsdruk (absoluut) van de veiligheidsklep. Indien geen veiligheidsklep aanwezig is, moet uitgegaan worden van falen bij de testdruk van de tank.

Voor LPG ketelwagens wordt uitgegaan van een faaldruk van 20,5 bar absoluut als default. Voor LPG tankauto's wordt uitgegaan van een faaldruk van 24,5 bar absoluut als default.

3.3.7 *Tijdsafhankelijke uitstroming*

SAFETI-NL rekent standaard met een constant uitstroomdebiet voor een reservoir (of een korte leiding), namelijk het debiet bij het begin van de uitstroming ($t = 0$ s). Het rekenpakket biedt de mogelijkheid uit te gaan van een ander uitstroomdebiet. Gekozen kan worden voor een debiet op een bepaald tijdstip, een debiet gemiddeld over een bepaald tijdsinterval, en een tijdsafhankelijk debiet. In het laatste geval wordt de uitstroming verdeeld in een aantal tijdssegmenten met gelijke massa, en wordt voor elk segment een gemiddeld debiet gekozen.

⁵ In te voeren met de parameter *Burst Pressure – Fireball (Gauge)*

De berekening met SAFETI-NL moet standaard uitgevoerd worden met een constant uitstroomdebiet.

- Voor een reservoir en korte pijpleiding is het uitstroomdebiet gelijk aan het uitstroomdebiet bij het begin van de uitstroming ($t = 0$ s)⁶.
- Voor een lange pijpleiding is het uitstroomdebiet gelijk aan het uitstroomdebiet gemiddeld over de periode 0 – 20 seconden.

In uitzonderlijke gevallen mag afgeweken worden van bovenstaande benadering. Dit betreft met name situaties waarbij de uitstroomduur groter is dan 50 s en het uitstroomdebiet in de periode van 0 s tot 1800 s aanzienlijk vermindert. In een dergelijke situatie kan gerekend worden met een tijdsafhankelijke uitstroming, waarbij ten minste vijf segmenten worden gedefinieerd⁷.

Opmerking:

1. In de standaard berekening (geen 'Time Varying Release') stroomt de gehele inhoud van het reservoir uit. Bij de 'Time Varying Release' berekent het model welk gedeelte van de inhoud achterblijft in het reservoir, afhankelijk van de locatie van het gat ten opzichte van de onderkant van het reservoir. Dit kan ertoe leiden dat de uitgestroomde hoeveelheid aanzienlijk lager is voor een 'Time Varying Release' in vergelijking met een standaard berekening, met name bij grote opslagen van gassen onder (bijna) atmosferische druk.

3.3.8 Tankput

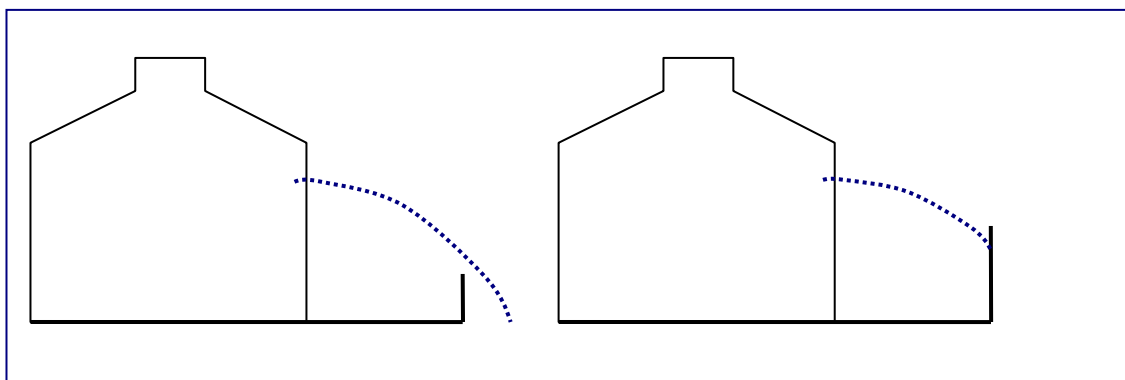
Bij invoer van de gegevens van de tankput dient rekening gehouden te worden met de volgende gegevens.

- Standaard wordt verondersteld dat de tankput niet faalt⁸, dat wil zeggen dat de inhoud van de tankput voldoende groot is om de volledige inhoud van het reservoir te bevatten.
- De hoogte van de tankput is een belangrijke parameter; het rekenpakket veronderstelt dat de vloeistof buiten de tankput terecht komt wanneer de hoogte van de tankput kleiner is dan de berekende hoogte van de vloeistofdruppels ter plaatse van de rand van de tankput (zie Figuur 1).
- Voor een continue uitstroming moet voor de grootte van de tankput het werkelijk oppervlak van de tankput te worden ingevoerd, voor een instantane uitstroming $1,5 \times$ het oppervlak.
- De eigenschappen van de ondergrond bepalen de verspreiding van de vloeistofplas en de plasverdamping. Standaard waarden zijn in het model aanwezig voor verschillende typen ondergrond.

⁶ Dit betekent dat het veld *Time Varying Release* niet is aangevinkt.

⁷ De optie *Multiple Rates* is aangevinkt.

⁸ De keuze *Bund cannot fail* is geselecteerd voor de parameter *Bund Failure*



Figuur 1 Het effect van de hoogte van de tankput. Links is de druppeltrajectorie hoger dan de tankputwand, waardoor een onbeperkte plas buiten de bund ontstaat. Rechts is de tankput hoog genoeg om de vloeistof binnen de tankput te houden.

3.3.9 Ruwheidslengte van de omgeving

De ruwheidslengte is een (kunstmatige) lengtemaat die de invloed van de omgeving op de windsnelheid aangeeft. De standaard ruwheidslengte van de omgeving is 0,3 meter. De ruwheidslengte kan aangepast worden op basis van de beschrijvingen in Tabel 3.

Tabel 3 Ruwheidslengte voor verschillende terreinen

Korte terreinbeschrijving	Ruwheidslengte
Open water, ten minste 5 km	0,0002 m
Moddervlakten, sneeuw; geen begroeiing, geen obstakels	0,005 m
Open, vlak terrein; gras, enkele geïsoleerde objecten	0,03 m
Lage gewassen; hier en daar grote obstakels, $x/h > 20$	0,10 m
Hoge gewassen; verspreide grote obstakels, $15 < x/h < 20$	0,25 m
park, struiken; vele obstakels, $x/h < 15$	0,5 m
Bezaaid met grote obstakels (voorstad, bos)	1,0 m
Stadscentrum met hoog- en laagbouw	3,0 m

Opmerkingen:

1. x is een typische afstand tussen obstakels bovenwinds en h de typische hoogte van de obstakels.
2. Ruwheidslengtes van één meter en hoger zijn ruwe schattingen; de aërodynamische ruwheidslengte houdt geen rekening met de verspreiding rond grote obstakels.
3. Een typische ruwheidslengte voor een industrieterrein is één meter.
4. De ruwheidslengte op een bepaalde locatie kan verkregen worden met behulp van het programma "roughness_map" [2]. Dit programma is gebaseerd op data uit 1995 – 1997. De gemiddelde ruwheidslengte voor een QRA kan als volgt berekend worden.
 - a. Ga uit van een vierkant gebied rond de inrichting ter grootte van de 10^{-6} contour met een minimum van 100 x 100 m.
 - b. Kies de resolutie gelijk aan het gebied, zodat er één gemiddelde waarde wordt gegenereerd.
 - c. Kies de evaluatiehoogte gelijk aan 50 meter.

- d. Selecteer de keuzes "Reduce number of roughness classes" en "Add orographic roughness" niet.

3.3.10 Meteorologische weerstation en parameters

Het meteorologisch weerstation dat qua ligging representatief is voor de inrichting moet worden gekozen. De gebruiker heeft de keuze uit de weerstations zoals gegeven in Tabel 4. Figuur 1 laat een kaart van Nederland met de weerstations uit Tabel 4 zien.

Tabel 4 Meteorologische weerstations

Naam					
Beek	Eelde	Hoek van Holland	Rotterdam	Twente	Volkel
Deelen	Eindhoven	IJmuiden	Schiphol	Valkenburg	Woensdrecht
Den Helder	Gilze-Rijen	Leeuwarden	Soesterberg	Vlissingen	Ypenburg
Nederland ⁹					

Standaardwaarden voor een aantal meteorologische parameters zijn te vinden in Tabel 5. De waarden zijn jaargemiddelden.

Tabel 5 Standaardwaarden voor een aantal meteorologische parameters

Parameter	Standaardwaarde dag	Standaardwaarde nacht
Omgevingstemperatuur	12 °C	8 °C
Temperatuur bodem/tankput	9,8 °C	9,8 °C
Watertemperatuur	9,8 °C	9,8 °C
Luchtdruk	101550 N/m ²	101550 N/m ²
Luchtvochtigheid	76,5%	86,3%
Globale straling	0,25 kW/m ²	0 kW/m ²
Fractie van een etmaal	0,44 (8:00 – 18:30)	0,56 (18:30 – 8:00)
Menghoogte	Opmerking 1	

Opmerkingen:

1. De standaardwaarden van de menghoogte zijn in het model opgenomen, namelijk 1500 meter voor weerklassen B3, 300 meter voor weerklassen D1,5, 500 meter voor weerklassen D5 en D9, 230 meter voor weerklassen E5 en 50 meter voor weerklassen F1,5.

⁹ Het weerstation 'Nederland' geeft de gemiddelde statistiek weer van de 18 weerstations; dit weerstation kan niet gebruikt worden voor QRA berekeningen.



Figuur 2 Meteostations in Nederland

3.3.11 Verdeling binnen en buiten

De verdeling van de bevolking over binnen en buiten is gegeven in Tabel 6. Deze waarden zijn van toepassing op woon- en industriegebieden, tenzij andere informatie beschikbaar is. Met betrekking tot recreatiegebieden is het type recreatie bepalend voor de verdeling bevolking binnen en buiten.

Tabel 6 Verdeling bevolking binnen en buiten gedurende de dag en de nacht.

	Binnen	Buiten
Dag	0,93	0,07
Nacht	0,99	0,01

Opmerking:

1. In het rekenpakket wordt voor de volledige bevolking dezelfde verdeling over binnen en buiten aangehouden. Dit betekent dat wanneer er een locatie is met een afwijkende verdeling binnen/buiten, zoals een recreatiegebied, specifiek bepaald moet worden hoe de bevolking het beste ingevoerd kan worden.

Voorbeeld: Op een recreatieterrein zijn overdag 100 mensen aanwezig, die allen buiten zijn. De risico's worden bepaald door blootstelling aan toxische stoffen en op het terrein is voor het bepalende scenario de (gemiddelde) sterftekans buiten gelijk aan P_{letaal} . Het aantal slachtoffers op het recreatieterrein is dus gelijk aan $100 \times P_{\text{letaal}}$ personen. De populatie op het recreatieterrein kan dan ingevoerd worden als N_{eff} personen met de standaard verdeling 0,93 binnen en 0,07 buiten, waarbij N_{eff} berekend wordt uit het berekende aantal slachtoffers op het recreatieterrein:

$$100 \times P_{\text{letaal}} \text{ personen} = (0,93 \times 0,1 \times P_{\text{letaal}} + 0,07 \times 1 \times P_{\text{letaal}}) \times N_{\text{eff}} \text{ personen.}$$

Dit geeft $N_{\text{eff}} = 600$.

3.3.12 *Het modelleren van personen bij evenementen*

Personen die slechts een gedeelte van het jaar (of van de dagperiode) aanwezig zijn, zoals in recreatiegebieden of bij evenementen, moeten worden meegenomen in de berekening wanneer de bijdrage aan het groepsrisico relevant is. Het meenemen van dergelijke groepen wordt in SAFETI-NL gedaan door verschillende rijen te definiëren voor de tijdsperiodes met verschillende aantallen aanwezigen, rekening houdend met de gewenste nauwkeurigheid.

Voorbeeld: In de omgeving van een bedrijf ligt een woonwijk en een recreatieplas. Bij de recreatieplas zijn in de drie zomermaanden overdag gemiddeld 200 personen aanwezig gedurende acht uur; 's nachts en buiten de zomermaanden zijn er (vrijwel) geen bezoekers.

In SAFETI-NL wordt dit gemodelleerd door uit te gaan van drie rijen, namelijk:

- Eén dagrij met factor 0,08. De aanwezige populatie is de woonwijk (dag) en de recreanten.
- Eén dagrij met factor 0,36. De aanwezige populatie is de woonwijk (dag).
- Eén nachtrij met factor 0,56. De aanwezige populatie is de woonwijk (nacht).

De factor 0,08 voor de dagrij wordt berekend uit de periode dat de personen aanwezig zijn bij de recreatieplas, namelijk drie maanden per jaar (3/12) en acht uur per dag (8/24).

3.3.13 *Ontstekingsbronnen*

Voor de berekening van het plaatsgebonden risico moeten de ontstekingsbronnen op het terrein van de inrichting ingevoerd worden, terwijl voor de berekening van het groepsrisico zowel de ontstekingsbronnen binnen als buiten de inrichting ingevoerd moeten worden.

De hoogte van de ontstekingsbron is geen invoerparameter; de locatie van een ontstekingsbron wordt vergeleken met de ontlambare wolk op één meter hoogte. Dit betekent dat er geen ontsteking plaatsvindt wanneer er op één meter hoogte geen ontlambare wolk aanwezig is. Ook zal een flare op grote hoogte, die is ingevoerd als ontstekingsbron, leiden tot ontsteking van een wolk op één meter hoogte. Bij het invoeren van ontstekingsbronnen moet daarom overwogen worden of de aanwezige ontstekingsbronnen inderdaad kunnen leiden tot ontsteking van een wolk. Hierbij is een deskundig oordeel nodig. Dit

geldt met name voor een kraker waar verschillende fracties met verschillende dichtheden kunnen vrijkomen, die lichter of zwaarder zijn dan lucht.

Ingevoerde populatie wordt in SAFETI-NL automatisch als ontstekingsbron meegenomen met de parameters zoals beschreven in paragraaf 2.2.

3.4 Parameters specifiek voor een QRA in Nederland

De parameters in deze categorie kunnen niet gewijzigd worden.

3.4.1 *Middelingstijd*

Dispersiemodellen gaan uit van een middelingstijd die nodig is om de maximale concentratie en de pluimbreedte te berekenen. De standaardwaarden voor de middelingstijd t_{av} zijn:

- ontvlambare stoffen $t_{av} = 18,75$ s
- toxische stoffen $t_{av} = 600$ s

3.4.2 *Maximum uitstroomtijd en blootstellingsduur*

De maximum uitstroomduur is gelijk aan 1800 s. Dit geldt ook voor de maximum tijdsduur van de plasverdamping. Aangenomen wordt dat na 1800 s ingrijpen succesvol is.

De blootstellingsduur is voor warmtestraling maximaal 20 s. Voor toxische stoffen is de blootstellingsduur niet begrensd; de mogelijkheid van evacuatie wordt niet meegenomen in de QRA.

3.4.3 *Geblokkeerde uitstroming*

De uitstroming kan geblokkeerd worden door het bodemoppervlak en objecten in de directe nabijheid. In de QRA wordt voor een uitstroming buiten gerekend met een ongehinderde uitstroming.

3.4.4 *Massa betrokken in een BLEVE*

De massa betrokken in de BLEVE is gelijk aan de dampfase + $3 \times$ de flashfractie¹⁰ bij de faaldruk, met een maximum van de volledige systeeminhoud.

3.4.5 *Ondergrondse tanks met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen*

Voor ondergrondse LPG tanks wordt aangenomen dat een BLEVE niet kan optreden. Dit wordt in SAFETI-NL ingevoerd door uit te gaan van de standaard faalfrequentie (5×10^{-7} per jaar voor instantaan falen) en het veld *Ignore Fireball* Risks aan te vinken. Hierdoor wordt in de gebeurtenissenboom de tak met BLEVE uitgeschakeld (zie Figuur 5). Dit betekent dat voor LPG tanks met een inhoud van 10 ton of meer de effectieve faalfrequentie voor instantaan vrijkomen gelijk is aan $2,5 \times 10^{-7}$ per jaar, voor LPG tanks met een inhoud tussen één en 10 ton gelijk aan $3,25 \times 10^{-7}$ per jaar, en voor LPG tanks met een inhoud kleiner dan één ton gelijk aan $4,3 \times 10^{-7}$ per jaar. Voor het

¹⁰ De flash fractie is de massa die verdampt wanneer het systeem zonder interactie met de omgeving expandeert tot omgevingsdruk

instantaan falen van de ondergrondse opslag van toxische stoffen is de faalfrequentie gelijk aan 5×10^{-7} per jaar.

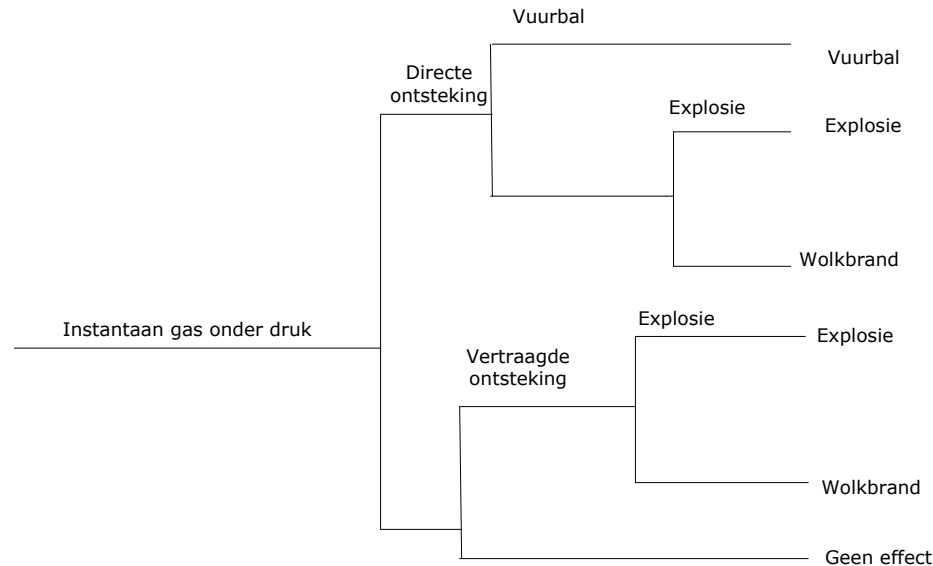
3.4.6 Gebeurtenissenboom ontvlambare stoffen

Bij het vrijkomen van ontvlambare gassen en vloeistoffen zijn er verschillende vervolgeffekten mogelijk, namelijk een BLEVE en/of vuurbal, fakkel, plasbrand, gaswolkexplosie en wolkbrand (flash fire). Het optreden van deze fenomenen hangt af van de stof, de condities en het scenario. In deze paragraaf zijn de gebeurtenissenbomen voor de verschillende scenario's gegeven inclusief de vervolgekansen. Voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen gelden afwijkende vervolgeffekten. Deze worden beschreven in Module C, hoofdstuk 10.

De effecten van de plasbrand die ontstaat ten gevolge van het ontsteken van de ontvlambare wolk worden meegenomen in de berekening voor een wolkbrand¹¹ en een BLEVE. Hiertoe is de parameter *Include effects of late pool fire* aangevinkt.

3.4.6.1 Instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas (zonder uitregenen) is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Gebeurtenissenboom voor een instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.7)

¹¹ Voor een (vertraagde) explosie worden geen effecten van een plasbrand meegenomen

F_{vuurbal} de fractie gemodelleerd als vuurbal (zie paragraaf 3.4.6.8)
 F_{explosie} de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 3.4.6.9)

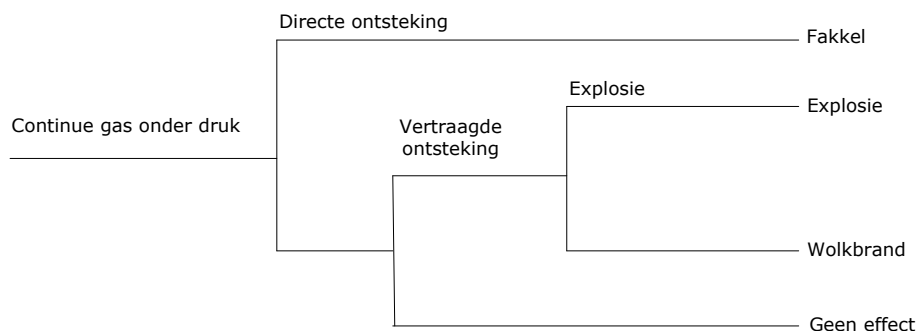
Opmerking:

1. Voor een ondergrondse tank wordt ervan uitgegaan dat het scenario vuurbal niet optreedt en resulteert deze tak in 'geen effect'.

3.4.6.2 Continue vrijzetting van een ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de continue vrijzetting van een ontvlambaar gas (zonder uitregenen) is weergegeven in Figuur 4. De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

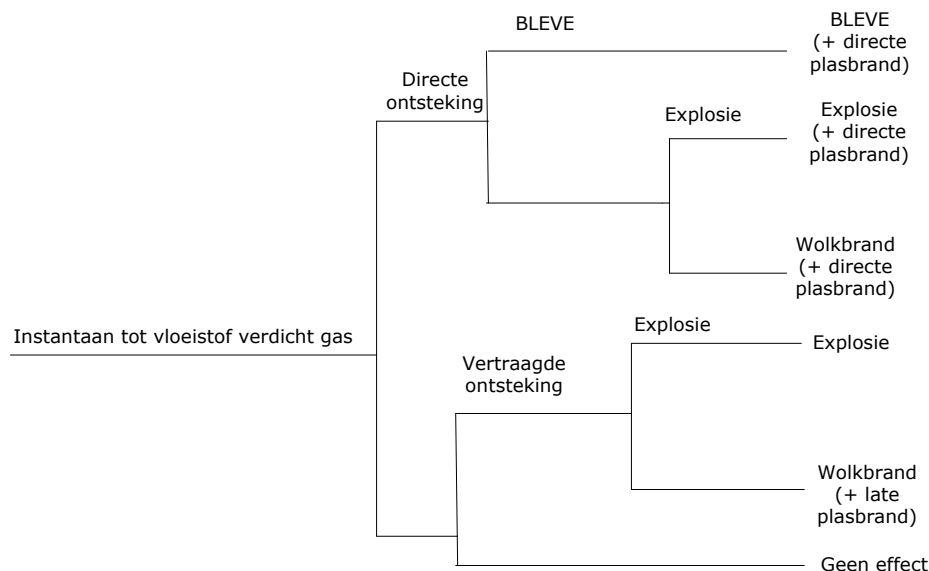
$P_{\text{directe ontsteking}}$ de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.6)
 $P_{\text{vertraagde ontsteking}}$ de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.7)
 F_{explosie} de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 3.4.6.9)



Figuur 4 Gebeurtenissenboom voor een continue vrijzetting van ontvlambaar gas

3.4.6.3 Instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Gebeurtenissenboom voor een instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.7)
F_{BLEVE}	de fractie gemodelleerd als BLEVE (zie paragraaf 3.4.6.8)
F_{explosie}	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 3.4.6.9)

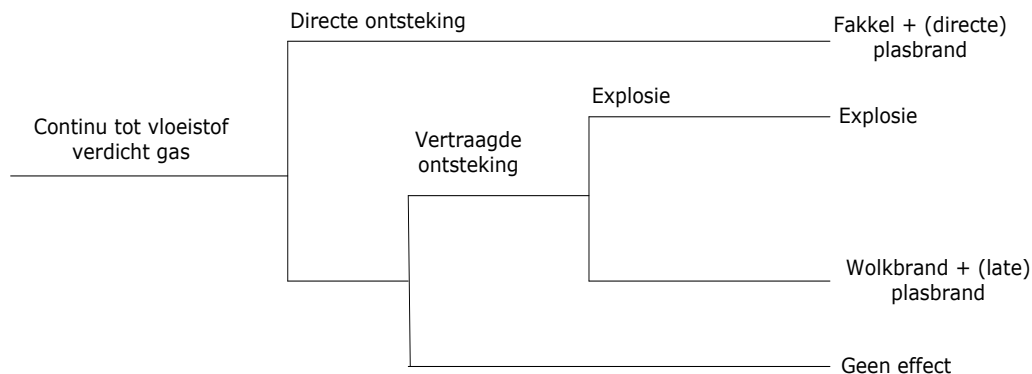
Wanneer een gedeelte van de wolk uitregent vormt zich een vloeistofplas. Naast de genoemde effecten in de gebeurtenissenboom ontstaat dan ook een plasbrand. De effecten van de plasbrand worden opgeteld bij de genoemde effecten.

Opmerking:

1. Voor een ondergrondse tank wordt ervan uitgegaan dat het scenario vuurbal niet optreedt en resulteert deze tak in 'geen effect'.

3.4.6.4 Continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Gebeurtenissenboom voor een continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

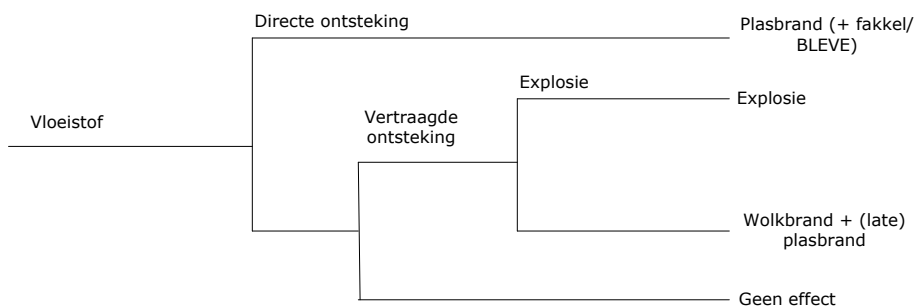
$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.7)
F_{explosie}	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 3.4.6.9)

Wanneer een gedeelte van de wolk uitregent vormt zich een vloeistofplas. Naast de genoemde effecten in de gebeurtenissenboom ontstaat dan ook een plasbrand. De effecten van de plasbrand worden opgeteld bij de genoemde effecten.

3.4.6.5 Vrijzetting van een ontvlambaar vloeistof

De gebeurtenissenboom voor de vrijzetting van een ontvlambare vloeistof is weergegeven in Figuur 7. De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 3.4.6.7)
F_{explosie}	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 3.4.6.9)



Figuur 7 Gebeurtenissenboom voor een vrijzetting van een ontvlambare vloeistof

Bij vertraagde ontsteking ontstaat, naast een wolkbrand en een explosie, ook een plasbrand. De effecten van de plasbrand worden opgeteld bij de genoemde effecten.

Opmerking:

1. Wanneer een ontvlambare vloeistof uitstroomt, kan een gedeelte van de vrijgekomen stof verdampen voordat deze de grond bereikt. Wanneer de fractie die uitregent kleiner is dan één, wordt ook een fakkel (of BLEVE) gemodelleerd. De massa in de fakkel (of BLEVE) is daarbij afhankelijk van de massa die in de dampfase blijft.

3.4.6.6 Kans op directe ontsteking, $P_{\text{directe ontsteking}}$

De kans op directe ontsteking is afhankelijk van het type installatie (stationaire installatie of transportmiddel), de stofcategorie en de uitstroomhoeveelheid. De waarden voor stationaire installaties zijn gegeven in Tabel 7, de waarden voor transportmiddelen zijn gegeven in Tabel 8. De definitie van de stofcategorie is gegeven in Tabel 9.

Tabel 7 Kans op directe ontsteking voor stationaire installaties

Stofcategorie	Bronterm Continu	Bronterm Instantaan	Kans op directe ontsteking
Klasse 0 gemiddelde/ hoge reactiviteit	< 10 kg/s	< 1000 kg	0,2
	10 – 100 kg/s	1000 – 10.000 kg	0,5
	> 100 kg/s	> 10.000 kg	0,7
Klasse 0 lage reactiviteit	< 10 kg/s	< 1000 kg	0,02
	10 – 100 kg/s	1000 – 10.000 kg	0,04
	> 100 kg/s	> 10.000 kg	0,09
Klasse 1	Alle debieten	Alle hoeveelheden	0,065
Klasse 2	Alle debieten	Alle hoeveelheden	0,01
Klasse 3, 4	Alle debieten	Alle hoeveelheden	0

Tabel 8 Kans op directe ontsteking voor transportmiddelen in een inrichting

Stof-categorie	Transportmiddel	Scenario	Kans op directe ontsteking
Klasse 0	Tankauto	Continu	0,1
	Tankauto	Instantaan	0,4
	Ketelwagen	Continu	0,1
	Ketelwagen	Instantaan	0,8
	Schepen – gastankers	Continu, 180 m ³	0,7
	Schepen – gastankers	Continu, 90 m ³	0,5
	Schepen – semi gastankers	Continu	0,7
Klasse 1	Tankauto, ketelwagen Schepen	Continu, instantaan	0,065
Klasse 2	Tankauto, ketelwagen schepen	Continu, instantaan	0,01
Klasse 3, 4	Tankauto, ketelwagen schepen	Continu, instantaan	0

Tabel 9 Classificatie ontvlambare stoffen

Klasse	WMS categorie	Grenzen
Klasse 0	Zeer licht ontvlambaar	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt lager dan 0 °C en een kookpunt (of het begin van een kooktraject) gelijk aan of lager dan 35 °C. Gasvormige stoffen en preparaten die bij normale temperatuur en druk aan de lucht blootgesteld kunnen ontbranden.
Klasse 1	licht ontvlambaar	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt beneden 21 °C, die echter niet zeer licht ontvlambaar zijn.
Klasse 2	Ontvlambaar	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan of gelijk aan 21 °C en lager dan of gelijk aan 55 °C.
Klasse 3		Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 55 °C en lager dan of gelijk aan 100 °C.
Klasse 4		Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 100 °C.

Opmerkingen:

1. Voor de scenario's van de verlading worden de ontstekingskansen uit Tabel 7 aangehouden.
2. Indien de procestemperatuur van klasse 2, klasse 3 en klasse 4 stoffen hoger is dan het vlampunt dient gerekend te worden met de directe ontstekingskansen voor klasse 1 stoffen.
3. Onder de reactiviteit van een stof wordt verstaan de gevoeligheid voor vlamversnelling [3]. Deze wordt bepaald op basis van gegevens zoals de grootte van het explosiegebied, minimum ontstekingsenergie, zelfontbrandingstemperatuur, experimentele gegevens en ervaringen in praktijksituaties. Standaard moet gerekend worden met de ontstekingskansen voor gemiddelde/hoge reactiviteit. Alleen wanneer aangetoond is dat de reactiviteit van de stof laag is, wordt gerekend met de ontstekingskansen voor lage reactiviteit. De klasse 0 stoffen met een lage reactiviteit zijn gegeven in Tabel 10. Toxische, ontvlambare stoffen met een lage reactiviteit, zoals ammoniak, worden doorgerekend als puur toxisch (zie paragraaf 3.4.6.10).

Tabel 10 Klasse 0 stoffen met een lage reactiviteit. De stoffen aangegeven met een * zijn ook toxisch en dienen als alleen toxisch doorgerekend te worden.

Stof	CAS nr.
Methaan	74-82-8
methylchloride	74-87-3
Ethylchloride	75-00-3
Ammoniak*	7664-41-7
Koolmonoxide*	630-08-0

3.4.6.7 Kans op vertraagde ontsteking, $P_{\text{vertraagde ontsteking}}$

De kans op vertraagde ontsteking hangt af van het eindpunt van de berekening. In de berekening van het plaatsgebonden risico wordt alleen gerekend met ontstekingsbronnen op het terrein van de inrichting. Ontstekingsbronnen buiten de terreingrens worden genegeerd: aangenomen wordt dat, wanneer de wolk niet ontsteekt op het terrein van de inrichting én een ontvlambare wolk ontstaat buiten de inrichting, ontsteking altijd optreedt bij de grootste wolkomvang. In de berekening van het groepsrisico wordt gerekend met alle aanwezige ontstekingsbronnen, inclusief de ingevoerde populatie. Voor het groepsrisico is het dus mogelijk dat, bij afwezigheid van ontstekingsbronnen, een ontvlambare wolk niet ontsteekt (zie Tabel 11).

Standaard moet worden gerekend met de waarde *Free Field (Plant Boundary)* voor de parameter '*Free Field Modeling*'. Om te bepalen of een ontstekingsbron tot het terrein van de inrichting behoort en of een wolk de terreingrens passeert, moet de terreingrens ('*Plant boundary*') zijn ingevoerd. Hiervoor gelden de volgende richtlijnen:

- Alle scenario's moeten binnen de terreingrens liggen. Dit geldt in het bijzonder ook voor verladerscenario's aan de rand van de inrichting.
- Wanneer een inrichting uit meerdere, van elkaar gescheiden terreinen bestaat, dient voor elk terrein aparte rijen te worden aangemaakt met de scenario's die gelegen zijn op dat terrein.

Tabel 11 Kans op vertraagde ontsteking voor de berekening van het PR en GR

Stofcategorie	Kans op vertraagde ontsteking bij grootste wolkomvang, PR ¹²	Kans op vertraagde ontsteking, GR
Klasse 0	$1 - P_{\text{directe ontsteking}}$	Ontstekingsbronnen
Klasse 1	$1 - P_{\text{directe ontsteking}}$	Ontstekingsbronnen
Klasse 2	0	0
Klasse 3	0	0
Klasse 4	0	0

3.4.6.8 Fractie BLEVE (vuurbal)

Bij instantaan vrijkomen met directe ontsteking van een tot vloeistof verdicht gas ontstaat een BLEVE (+ vuurbal). De fractie die gemodelleerd wordt als een BLEVE (+ vuurbal), gegeven directe ontsteking, $F_{\text{BLEVE}} (F_{\text{vuurbal}})$, is:

- Stationaire installaties $F_{\text{BLEVE}} (F_{\text{vuurbal}}) = 0,7$
- Transporteenheden in een inrichting $F_{\text{BLEVE}} (F_{\text{vuurbal}}) = 1,0$

3.4.6.9 Fractie explosie

Na de ontsteking van een vrije gaswolk, treedt een voorval op met kenmerken van zowel een wolkbrand als een explosie. Dit wordt gemodelleerd als twee afzonderlijke gebeurtenissen, namelijk als een zuivere wolkbrand en een zuivere explosie. De fractie die gemodelleerd wordt als een explosie, F_{explosie} , is gelijk aan 0,4.

¹² Wanneer de LFL contour buiten de terreingrens komt

3.4.6.10 Stoffen die zowel toxisch als ontvlambaar zijn

Stoffen met een lage reactiviteit worden gemodelleerd als een zuiver toxische stof. Dit betreft allylchloride (CAS nr 107-05-1), ammoniak (CAS nr 7664-41-7), epichloorhydrine (CAS nr 106-89-8), koolmonoxide (CAS nr 630-08-0) en tetraethyllood (CAS nr 78-00-2).

Stoffen met een gemiddelde of hoge reactiviteit worden gemodelleerd met twee onafhankelijke gebeurtenissen, namelijk een zuiver ontvlambare en een zuiver toxische. Voorbeelden zijn acroleïne (CAS nr 107-02-8), acrylnitril (CAS nr 107-13-1), allylcohol (CAS nr 107-18-6), cyaanwaterstof (CAS nr 74-90-8) en ethyleenoxide (CAS nr 75-21-8). De verdeling tussen ontvlambaar en toxisch wordt bepaald door de kans van directe ontsteking, $P_{\text{directe ontsteking}}$. Een LOC met frequentie f wordt verdeeld in twee aparte gebeurtenissen:

- een zuiver ontvlambare gebeurtenis na directe ontsteking met frequentie $P_{\text{directe ontsteking}} \times f$;
- een zuiver toxische gebeurtenis met frequentie $(1 - P_{\text{directe ontsteking}}) \times f$.

De kansen op directe ontsteking, $P_{\text{directe ontsteking}}$, zijn gegeven in paragraaf 3.4.6.6.

Opmerking:

1. Toxische effecten na ontsteking van de ontvlambare wolk worden niet meegenomen. Aangenomen wordt dat de pluim in dat geval zal opstijgen en op leefniveau geen letale toxische effecten meer veroorzaakt.

3.4.7 Explosie parameters

Voor de bepaling van de overdrukeffecten van een gaswolkexplosie wordt gerekend met een TNT-equivalentie methode met een explosie efficiëntie van 10%.

3.4.8 Hoogte voor de berekening van de effecten

De toxische dosis, warmtestralingsdosis en de drukeffecten worden berekend op een hoogte van één meter.

3.4.9 Letaliteit

De sterftekans, P_{letaal} , wordt berekend met behulp van een probit, Pr , als

$$P_{\text{letaal}} = 0,5 \times \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Pr - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

waarbij

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

3.4.9.1 Blootstelling aan toxische stoffen

De probit wordt voor de blootstelling aan toxische stoffen gegeven door de relatie:

$$Pr = a + b \ln \left(\int C^n dt \right)$$

met

Pr	probit behorende bij de overlijdenskans	(-)
a, b, n	constanten voor de toxiciteit van een stof	(-)
C	concentratie op tijdstip t	(mg m ⁻³)
t	blootstellingstijd	(minuten)

De minimum waarde van P_{letaal} die nog meegenomen wordt in de berekening is gelijk aan 0,01.

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is gegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Overlijdenskans voor toxische stoffen

Gebied	Plaatsgebonden Risico	Groepsrisico Binnen	Groepsrisico Buiten
$P_{\text{letaal}} \geq 0,01$	P_{letaal}	$0,1 \times P_{\text{letaal}}$	P_{letaal}
$P_{\text{letaal}} < 0,01$	0	0	0

- De waarde van de constante a is afhankelijk van de dimensies van de concentratie en de blootstellingstijd. In de probitrelatie moeten de dimensies van de concentratie en de blootstellingstijd aansluiten bij de waarde van constante a.

3.4.9.2 Ontvlambare stoffen - warmtestraling

De sterftekans, P_{letaal} , voor de blootstelling aan warmtestraling (plasbrand, fakkel, vuurbal) is gegeven door de probitrelatie:

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln \left(\int Q^{4/3} dt \right)$$

met

Pr	probit behorende bij de overlijdenskans	(-)
Q	warmtestraling op tijdstip t	(W m ⁻²)
t	blootstellingstijd	(s)

De minimum waarde van P_{letaal} die nog meegenomen wordt in de berekening is gelijk aan 0,01.

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is gegeven in Tabel 13.

Tabel 13 Overlijdingskans voor ontvlambare stoffen – vlamgebied en warmtestraling

Gebied	Plaatsgebonden Risico	Groepsrisico Binnen	Groepsrisico buiten
vlamgebied	1	1	1
warmtestraling $> 35 \text{ kW m}^{-2}$	1	1	1
warmtestraling $< 35 \text{ kW m}^{-2}$	P_{letaal}	0	$0,14 \times P_{\text{letaal}}$

Opmerkingen:

1. Het vlamgebied is voor een wolkbrand gegeven door de contour van de onderste explosiegrens. Buiten het vlamgebied treedt geen sterfte op voor een wolkbrand.
2. De maximum blootstellingsduur aan warmtestraling is gelijk aan 20 s.

3.4.9.3 Ontvlambare stoffen - overdruk

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico ten gevolge van een gaswolkexplosie is gegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Overlijdingskans voor ontvlambare stoffen - overdruk

Gebied	Plaatsgebonden Risico	Groepsrisico Binnen	Groepsrisico buiten
overdruk $\geq 0,3 \text{ bar}$	1	1	1
$0,3 \text{ bar} > \text{overdruk} \geq 0,1 \text{ bar}$	0	0,025	0
overdruk $< 0,1 \text{ bar}$	0	0	0

3.5 Stofspecifieke parameters

3.5.1 Probit waarden toxische stoffen

Voor een aantal stoffen zijn probitrelaties vastgesteld. Deze zijn opgenomen in Tabel 15. Er zijn stoffen die geclassificeerd zijn als toxisch of zeer toxisch bij inademing (R-zinnen R23 of R26), terwijl er nog geen vastgestelde probitrelatie is. Deze stoffen kunnen relevant zijn voor de externe veiligheid. Er is daarom een toetsgroep probitrelaties ingesteld, die nieuwe probitrelaties beoordeelt. De wijze waarop een nieuwe probitrelatie moet worden afgeleid, de beoordelingsprocedure en de stoffen die al in procedure zijn, zijn beschreven op de website van het RIVM.

Tabel 15 Constanten voor de toxiciteit van een stof, a, b en n. Deze waarden hebben betrekking op de probitrelatie met concentratie C (in mg m⁻³ of ppmv) en blootstellingstijd t (in min.).

Stof	Cas-nr	A (C in mg/m ³)	A (C in ppmv)	B	N
Acroleïne	107-02-8	-4,1	-3,22	1	1
Acrylnitril	107-13-1	-8,6	-7,52	1	1,3
Allylalcohol	107-18-6	-11,7	-9,86	1	2
Ammoniak	7664-41-7	-15,6	-16,21	1	2
Arsine	7784-42-1	-11,2	-8,78	1,61	1,24
Azinfosmethyl	86-50-0	-4,8		1	2
Broom	7726-95-6	-12,4	-8,54	1	2
Chloor	7782-50-5	-6,35	-4,81	0,5	2,75
Ethyleenimine	151-56-4	-11,6	-10,36	1,77	1,13
Ethyleenoxide	75-21-8	-6,8	-6,16	1	1
Fosfamidon	13171-21-6	-2,8		1	0,7
Fosfine	7803-51-2	-6,8	-6,03	1	2
Fosgeen	75-44-5	-10,6	-7,69	2	1
Koolmonoxide	630-08-0	-7,4	-7,21	1	1
Methylbromide	74-83-9	-7,3	-5,75	1	1,1
Methylisocyanaat	624-83-9	-1,2	-0,57	1	0,7
Methylmercaptaan	74-93-1	-17,8	-16,33	2,05	0,98
Parathion	56-38-2	-6,6		1	2
Stikstofdioxide	10102-44-0	-18,6	-16,06	1	3,7
Tetraethyllood	78-00-2	-9,8	-4,53	1	2
Waterstofchloride	7647-01-0	-37,3	-35,62	3,69	1
Waterstofcyanide	74-90-8	-9,8	-9,43	1	2,4
Waterstoffluoride	7664-39-3	-8,4	-8,62	1	1,5
Waterstofsulfide	7783-06-4	-11,5	-10,76	1	1,9
Zwavel dioxide	7446-09-5	-19,2	-16,76	1	2,4

Het is ook mogelijk dat stoffen niet geclassificeerd zijn als toxisch of zeer toxisch bij inademing (R-zinnen R23 of R26), maar toch relevant zijn voor de externe veiligheid. Dit betreft bijvoorbeeld stoffen die niet geclassificeerd zijn voor inhalatie. Voor dergelijke stoffen dient op een ad hoc basis bepaald te worden of de stof meegenomen moet worden in de QRA en zo ja, met welke probitrelatie. Dit dient voorgelegd te worden aan de toetsgroep probitrelaties.

3.5.2 Inerte stoffen

Het vrijkomen van grote hoeveelheden inerte stoffen als stikstof kan leiden tot verstikking. In het algemeen zijn de gevaren verbonden aan de opslag van inerte gassen verwaarloosbaar. Alleen bij zeer grote opslaghoeveelheden, bijvoorbeeld gekoelde opslagen bij producenten, is het zinvol het vrijkomen van inerte stoffen mee te nemen in de risicoanalyse.

Voor inerte stoffen kan gerekend worden met de volgende probitrelatie:

$$Pr = -65,7 + \ln \left(\int C^{5,2} dt \right)$$

met

Pr	probit behorende bij de overlijdenskans	(-)
C	concentratie op tijdstip t	(ppmv)
t	blootstellingstijd	(minuten)

Opmerking:

1. Kooldioxide is een stof die toxische effecten heeft en niet alleen werkt op basis van zuurstofverdringing.

3.5.3 Zuurstof

Zuurstof is een brandbevorderende stof en hoge concentraties leiden tot een verhoogde kans op brand in de omgeving. In het algemeen zijn de gevaren verbonden aan de opslag van zuurstof verwaarloosbaar. Alleen bij zeer grote opslaghoeveelheden, bijvoorbeeld gekoelde opslagen bij producenten, is het zinvol het vrijkomen van zuurstof mee te nemen in de risicoanalyse. Voor zuurstof is geen goede probitrelatie af te leiden. Aan de hand van de volgende effectniveau's dient bepaald te worden of een opslag van zuurstof relevant is voor het externe risico.

$P_{\text{letaal}} = 0,1$	bij zuurstofconcentraties in lucht groter dan 40 vol%
$P_{\text{letaal}} = 0,01$	bij zuurstofconcentraties in lucht tussen 30 en 40 vol%
$P_{\text{letaal}} = 0$	bij zuurstofconcentraties in lucht tussen 20 en 30 vol%

Een zuurstofconcentratie van 40 vol% in lucht komt overeen met een extra hoeveelheid zuurstof van 24,1 vol% uit de dispersieberekening, 30 vol% zuurstof in lucht komt overeen met 11,4 vol% uit de dispersieberekening.

3.6 Mengsels

Voor mengsels van stoffen dient de opsteller van de QRA na te gaan of eventuele toxische, ontvlambare en ontplofbare eigenschappen van het mengsel relevant zijn voor de QRA.

3.6.1 Vloeibare aardolieproducten K1/K2

Een ontvlambaar mengsel van aardolieproducten dat geclassificeerd is als klasse 1 wordt gemodelleerd met de voorbeeldstof n-hexaan. Een ontvlambaar mengsel van aardolieproducten dat geclassificeerd is als klasse 2, wordt gemodelleerd met de voorbeeldstof n-nonaan.

Voor verwarmde aardolieproducten moet de invoerwaarde voor de temperatuur zodanig zijn dat de dampspanning van de voorbeeldstof overeenkomt met de dampspanning van het mengsel bij de hoogst voorkomende temperatuur.

3.6.2 *Aardgas*

Aardgasmengsels bij mijnbouwwerken of gastransportinrichtingen worden standaard gemodelleerd met methaan. De specifieke voorwaarden zijn opgenomen in Hoofdstuk 10 van Module C.

3.6.3 *Producten bij PGS 15 inrichtingen*

Voor (mengsels van) stoffen die zijn opgeslagen in PGS 15-inrichtingen wordt een 'Warehouse Material' gedefinieerd. Dit wordt beschreven in Hoofdstuk 8 van Module C.

3.6.4 *Overige mengsels*

Voor overige mengsels dient de opsteller van de QRA na te gaan wat een geschikte modelleerwijze is. Daarbij zijn drie opties beschikbaar:

1. Het invoeren van een mengsel in SAFETI-NL. Deze optie is alleen geschikt als het mengsel als geheel zich gedraagt als het gemiddelde van de afzonderlijke componenten. Anders gezegd, de componenten van het mengsel moeten onderling gelijkend zijn en geen fysisch/chemische interacties aangaan die de afzonderlijke componenten zelfstandig niet vertonen.
2. Gebruik maken van een representatieve voorbeeldstof. Voor mengsels waarvan de samenstelling varieert of de eigenschappen van de afzonderlijke componenten sterk verschillen, kan het gebruik van een voorbeeldstof worden overwogen. De voorbeeldstof moet in dat geval conservatief worden gekozen.
3. Het invoeren van een specifieke bronterm voor afzonderlijke componenten. Voor niet-homogene mengsels, zoals waterige oplossingen, kan worden overwogen om de bronterm voor de verspreiding van toxische en/of ontvlambare componenten met een externe berekening te bepalen en op basis van maatwerk in te voeren.

In alle gevallen dient de keuze voor de modelleerwijze duidelijk te worden toegelicht en verantwoord.

4 Technische documentatie

4.1 Inleiding

De risicoanalyse moet op een dusdanige wijze gedocumenteerd worden dat het bevoegd gezag voldoende informatie heeft om de risicoanalyse inhoudelijk goed te kunnen beoordelen. Dit betekent onder andere dat alle afwijkingen van de standaard modellering duidelijk beschreven moeten worden. In dit hoofdstuk is beschreven welke documentatie beschikbaar moet zijn om de een QRA te kunnen beoordelen en wordt de rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag Wm nader gespecificeerd.

4.2 Rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag Wm

In Tabel 16 zijn de elementen opgenomen die in een QRA gerapporteerd moeten worden. In de als vertrouwelijk genoteerde elementen kan gevoelige informatie aanwezig zijn. Men kan dan overwegen een tweede, openbare tekst aan te leveren. De tweede tekst moet nog wel voldoende zijn om derden de mogelijkheid te geven om zich een oordeel te vormen over de veiligheid, c.q. de risico's (zie opmerking 1).

Tabel 16 specificeert de elementen voor een zelfstandige QRA. Vaak zal een QRA onderdeel zijn van een omvangrijk informatiepakket, als bijvoorbeeld een Veiligheidsrapport of een Wm-aanvraag. Vanzelfsprekend kan in dergelijke gevallen voor bijvoorbeeld een procesbeschrijving worden volstaan met een verwijzing naar elders in het pakket opgenomen informatie.

Tabel 16 Overzicht van de elementen die in een QRA gerapporteerd moeten worden

	Onderwerp	Vertrouwelijk/ openbaar
1	Algemene rapportgegevens	
	Administratieve gegevens:	Openbaar
	naam en adres van de inrichting	
	Reden opstellen QRA	Openbaar
2	Gevolgd methodiek	Openbaar
	Rekenmethodiek Bevi met versienummers	
	Peildatum QRA	Openbaar
	Algemene beschrijving van de inrichting	
	Doel van inrichting: hoofdactiviteiten en producten	Openbaar
	Ligging en lay-out van bedrijfsterrein, aan de hand van kaart(en) op schaal gedetailleerder dan 1:10.000. Aangegeven zijn:	Openbaar
	- in- en uitgangen, wegen - installaties (proces, opslag, laad/losinstallatie) - kantoren/gebouwen/locaties waar personen (kunnen) zijn - noordpijl en schaalindicatie - terreingrens	

2.1	<i>De procesbeschrijving van de doorgerekende installaties</i> Doel van het proces Reactievergelijkingen met daarbij: • nevenreacties • warmteeffecten • reactiesnelheden Procesflow diagram (PFD) Toelichting: hier kan in de tweede, openbare tekst volstaan worden met een vereenvoudigd PFD waarin enkel de belangrijke apparatuur is opgenomen. De vervangende tekst voor de vertrouwelijke onderdelen van de procesbeschrijving kan bestaan uit een algemene samenvatting. met daarin: • belangrijke apparatuur • regelkringen • inlokafsluiters Grenzen waarbuiten verhoogd gevaar aanwezig is (reactie-excursie e.d.) druk, temperatuur en concentratie. Beschrijving van de relevante fysische en chemische eigenschappen van de aanwezige gevaarlijke stoffen, mengsels en reactieproducten: • naam • samenstelling bij mengsels • chemische formule • CAS-nummer • GEVI code • gevaarsetikettering voor andere zaken verwijzing naar informatie in het TDP. (zie opmerking 5)	Openbaar Openbaar Vertrouwelijk Vertrouwelijk Vertrouwelijk Openbaar
2.2	<i>De doorgerekende installatie en de lay-out</i> Plattegrond met legenda, Toelichting: hier kan gebruik worden gemaakt van de onder 1 reeds gegeven plattegrond waarin de betreffende installatie specifiek is aangegeven waarop aangegeven: • locatie van installatiedelen • indeling van opslagruimten • tankput dijken Capaciteit/doorzet/aantal batches per jaar Volgens vergunning toegestane hoeveelheden stof Onderverdeling van de installatie in secties en/of insluitsystemen, ingeblokt door afstandsbediende afsluiters. Toelichting: ook hier dient een vervangende algemene tekst te worden opgenomen Beschrijving van werking van de insluitsystemen (reactietijden)	Openbaar Vertrouwelijk Openbaar Openbaar Vertrouwelijk Vertrouwelijk
3	Beschrijving omgeving Omgevingsbebouwing en gebiedsfuncties • bestemmingsplannen al dan niet gedeeltelijk binnen de 10^{-6}-contour Actuele topografische kaart Een beschrijving van de bevolkingsdichtheid rond de inrichting, onder opgave van de wijze waarop deze beschrijving tot stand is gekomen. Mogelijke gevaren van buiten de inrichting, die op de inrichting	Openbaar Openbaar Openbaar Openbaar

	effect kunnen hebben (buurbedrijven/activiteiten, vliegroutes, windmolens)	
	Een aanduiding van alle van belang zijnde, mogelijke ontstekingsbronnen, indien de ontvlambaarheid van een in de inrichting aanwezige stof in een onderdeel van de inrichting de aanleiding is geweest voor de selectie van dat onderdeel	Openbaar
	Gebruikte ruwheidslengte en meteostation	Openbaar
4	De kwantitatieve risicoanalyse (QRA) Subselectiesysteem volgens hoofdstuk 2 van Module C van deze Handleiding toepassen op insluitsystemen Overzicht van uitgevoerde subselectie opgenomen in (vertrouwelijke) bijlage (zie opmerking 3) Lijst van geselecteerde installatiedelen met hun aanwijzingsgetallen als resultaat van subselectie Beschrijving van de uitvoering van de QRA conform deze Handleiding. Beschrijving omvat: • een volledige lijst initiële faalscenario's • kansen en vervolgsenario's • (zie opmerking 4)	Openbaar Openbaar Vertrouwelijk Openbaar Openbaar
5	Beschrijving van mogelijke risico's voor de omgeving Samenvattend overzicht van de resultaten van de QRA, waarin tenminste is opgenomen: Kaart met berekend plaatsgebonden risico, met contouren voor 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} Kaart met berekend plaatsgebonden risico, op de schaal van de omliggende bestemmingsplannen, met contouren voor 10^{-5} en 10^{-6} FN-curve met het groepsrisico voor de inrichting: op de horizontale as van de grafiek wordt het aantal dodelijke slachtoffers uitgezet, op de verticale as de cumulatieve kans tot 10^{-9} per jaar.	Openbaar Openbaar Openbaar
6	Scenario's van belang voor de externe veiligheid Toelichting: Zolang hier geen specifieke informatie gegeven wordt over LOD's en de locatie van de scenario's betreft dit geen gevoelige informatie opsomming installaties, die hoofdzakelijk bijdragen aan berekende risico's voor externe veiligheid (resp. plaatsgebonden risico en groepsrisico) ranking van deze installaties Scenario's die hoofdzakelijk het berekend risico bepalen zijn als zodanig aangegeven Van de bepalende scenario's is beschreven (zie opmerking 2): • stof • scenario-frequentie • bronsterkte • bronduur • shadeafstanden voor weersklasse F1.5 en D5. (1% overlijdenskans bij blootstelling) Van toepassing zijnde preventieve en repressieve maatregelen die in de QRA specifiek meegenomen zijn staan vermeld of er is gerefereerd naar elders in VR of Wm-aanvraag	Openbaar Vertrouwelijk Vertrouwelijk Openbaar Vertrouwelijk

Opmerkingen:

1. De SAFETI-NL studie (het psu-bestand), waarmee de risico's zijn berekend, is integraal onderdeel van de documentatie. Dit bestand bevat gedeeltelijk vertrouwelijke informatie. Onderzoek moet uitwijzen of de in dit bestand aanwezige niet-vertrouwelijke informatie op een zinvolle wijze kan worden geëxtraheerd. Voor de tussenliggende periode zijn werkafspraken geformuleerd, die inhouden dat bevoegd gezag het psu-bestand bij het bedrijf kan inzien. Daarnaast moet in een apart document de belangrijkste karakteristieken van de QRA beschreven zijn. Dit betreft met name de subselectie en de risicoberekeningen. In het document moeten ten minste de in Tabel 16 gespecificeerde punten zijn opgenomen.

Het psu-bestand is tevens de basis voor het berekenen van groepsrisico's en daardoor een ingrediënt bij de herberekening van de FN-curve als onderdeel van de verantwoordingsplicht bij bijvoorbeeld een wijziging in een bestemmingsplan. Volgens de gemaakte werkafspraken zal het betreffende bedrijf zijn medewerking verlenen aan de bedoelde herberekening van de FN-curve.

2. Met bepalende scenario's wordt bedoeld:
 - De scenario's die opgeteld ten minste 90% van het plaatsgebonden risico van de 10^{-6} contour bepalen (m.a.w. de niet uitvoerig beschreven "rest" is opgeteld < 10%)
 - De scenario's die opgeteld ten minste 90% van het groepsrisico in de intervallen 10 – 100, en 100 – 1000 bepalen
3. Om een uitgevoerde subselectie te kunnen verifiëren is het noodzakelijk dat in de documentatie de subselectie op een juiste wijze wordt beschreven. Dit betekent dat alle doorlopen stappen met de resultaten en eventuele afwijkingen van de systematiek staan beschreven. De belangrijkste onderdelen die in de documentatie dienen te zijn opgenomen, zijn de volgende:
 - Beschrijving van de relevante insluitsystemen inclusief de procescondities en de locatie. Hierbij is het toevoegen van een plattegrond sterk aan te bevelen.
 - Inventarisatie en onderverdeling in insluitsystemen.
 - De maximale effectafstanden (indien berekend) en de minimale afstand tot de terreingrens per insluitsysteem.
 - De aanwijzingsgetallen A en selectiegetallen S, inclusief de gehanteerde procesfactoren, stofhoeveelheden en grenswaarden, voor elk insluitsysteem en punt op de terreingrens.
 - Wanneer de 50%-regel is toegepast moet per punt op de terreingrens aangegeven worden welke insluitsystemen zijn geselecteerd en welke insluitsystemen met een selectiegetal groter dan 1 niet zijn geselecteerd.
 - Een overzicht van de insluitsystemen die worden meegenomen in de QRA. Naast de insluitsystemen die door middel van de subselectie zijn geselecteerd, gaat het hierbij ook om insluitsystemen die buiten het bereik van de subselectie vallen, zoals PGS 15 opslagplaatsen.

Een deel van deze informatie kan elektronisch beschikbaar worden gesteld, bijvoorbeeld in de vorm van een spreadsheet.

Voor het bepalen van de relevante insluitsystemen is het goed aan te sluiten bij een in het bedrijf gebruikt systeem, dat een volledig

overzicht biedt van bijvoorbeeld alle vaten, leidingen en dergelijke. Op deze wijze wordt aangetoond dat geen insluitsystemen zijn vergeten. Dit dient in de documentatie vermeld te worden.

4. Wanneer afgeweken wordt van de standaard faalfrequenties en/of wanneer een scenario gemodelleerd wordt als een 'user defined source', dient dit expliciet vermeld te worden.
5. Toxische stoffen zonder een vastgestelde probitrelatie en mengsels moeten apart vermeld worden. Voor deze stoffen moet de probitrelatie die gebruikt is in de QRA berekening opgenomen zijn met bronvermelding.

5 Bijlage Verantwoording

In dit hoofdstuk is een toelichting opgenomen bij de verschillende hoofdstukken van de Handleiding.

5.1 Hoofdstuk 2 Ontstekingsbronnen

2.2 Ontstekingsbronnen

Ontstekingsbronnen buiten de inrichting zijn alleen relevant voor het groepsrisico. In het Paarse Boek is een gedetailleerde tabel opgenomen voor allerlei ontstekingsbronnen. Omdat de achterliggende onderbouwing zeer beperkt is, is de tabel sterk vereenvoudigd. De opgenomen informatie is deels overgenomen uit het Paarse Boek (lijnbronnen, bevolking), deels uit de IPO Handleiding (inrichting, procesinstallatie).

Voor spoorwegen en snelwegen wordt de ontstekingskans berekend met:

$$d = N E / v$$

waarbij

N	aantal passerende voertuigen per uur	(h ⁻¹)
E	lengte van weg of spoorwegtraject	(km)
v	gemiddelde voertuigsnelheid	(km h ⁻¹)

Als $d \leq 1$, dan is de waarde van d gelijk aan de kans dat de bron aanwezig is wanneer de ontvlambare wolk passeert, P_{present} ; de kans van een ontsteking in het tijdsinterval 0 tot t , $P(t)$, is dan gelijk aan:

$$P(t) = d \cdot (1 - e^{-\omega t})$$

Als $d \geq 1$, dan is d het gemiddelde aantal bronnen dat aanwezig is wanneer de ontvlambare wolk passeert; de kans van een ontsteking in het tijdsinterval 0 tot t , $P(t)$, is dan gelijk aan:

$$P(t) = (1 - e^{-d \omega t})$$

waarbij de effectiviteit van de ontsteking voor één voertuig, ω , gelijk is aan $8,51 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ voor een weg en een niet-geëlectrificeerde spoorlijn en $26,8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ voor een geëlectrificeerde spoorlijn.

In de Handleiding zijn voor (snel-) wegen en spoorwegen standaard waarden opgenomen voor het aantal voertuigen per uur en de gemiddelde snelheid. Voor snelwegen is het aantal voertuigen een ruwe inschatting op basis van de categorisatie van snelwegen in de studie "Veilig Vervoer over Weg" [4]. Voor autosnelwegen (tweestrooks) wordt onderscheid gemaakt in drie intensiteiten, namelijk < 18000 , $18.000 - 30.000$ en > 30.000 voertuigen per etmaal. Voor autosnelwegen (drie- en vierstrooks) zijn de intensiteitsklassen < 44000 , $44.000 - 64.000$ en > 64.000 voertuigen per etmaal. Als standaardwaarde is gekozen voor 36.000 voertuigen per etmaal. De overige standaardwaarden zijn niet onderbouwde schattingen.

De kans van een ontsteking voor een oppervlak in een woongebied in het tijdsinterval 0 tot t, $P(t)$, is gegeven door:

$$P(t) = (1 - e^{-nat})$$

waarbij:

- ω effectiviteit van de ontsteking voor één persoon, $0.168 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
 n het gemiddelde aantal personen in het oppervlak

Aangenomen is dat de kans op ontsteking niet afhangt van de verdeling binnen – buiten.

5.2 Hoofdstuk 3 Modelparameters

3.2 Modelling van de scenario's

Om te bepalen wat een significante bijdrage van nalevering is, is een testberekening gedaan voor een scenario waarbij 25 ton ammoniak (onder druk) vrijkomt in 10 minuten. Vervolgens is de uitstroomhoeveelheid verhoogd bij gelijkblijvend uitstroomdebiet om de nalevering uit andere systeemonderdelen te simuleren. Het resultaat is gegeven in Tabel 17. Hieruit blijkt dat een nalevering van 20% leidt tot een toename in risicoafstand van 4 – 7%.

Er zijn geen criteria vastgelegd om te bepalen welke toename in risico-afstand significant is. Wanneer als criterium een toename van de risicoafstand met meer dan 5 – 10% wordt aangehouden, betekent dit dat een nalevering van meer dan 10-20% meegenomen moet worden in de QRA-berekening. Op basis hiervan is 10% aangehouden.

Tabel 17 Invloed van de uitstroomhoeveelheid van ammoniak op het plaatsgebonden risico op 200 m en 400 m; weergegeven is de procentuele verandering in plaatsgebonden risico (PR) en in afstand.

Hoeveelheid	Nalevering	Toename op 200 m		Toename op 400 m	
		PR	afstand	PR	Afstand
25 ton	0%	0%	0%	0%	0%
30 ton	20%	8%	7%	22%	4%
35 ton	40%	14%	13%	35%	7%
40 ton	60%	18%	17%	47%	10%
50 ton	100%	27%	25%	67%	14%

Voor de keuze tussen het scenario 'line rupture' en 'long pipeline' geeft de Handleiding aan dat voor het scenario 'long pipeline' geldt dat $L/D \gg 300$ met L de leidinglengte 'upstream' van het gat. Dit is vertaald naar de keuze dat het lange pijpleiding model toegepast wordt voor (1) alleen lange transportleidingen tussen twee units op een terrein en (2) $L/D > 1000$, met L de leidinglengte en D de leidingdiameter.

3.3.1.2 Hoogte van de uitstroming ten opzichte van de omgeving

In het Paarse Boek wordt een verdeling van uitstroomlocaties over de hoogte van een vat toegestaan. In het kader van een unificatie van de QRA berekeningen is nu één locatie voorgeschreven. De minimum hoogte is gelijkgesteld aan één meter om te voorkomen dat een zeer groot gedeelte van de emissie direct uitregent. Alleen voor ondergrondse reservoirs en leidingen wordt voorgesteld uit te gaan van 0 meter hoogte.

3.3.1.3 Hoogte van de uitstroming ten opzichte van het reservoir

In het Paarse Boek wordt de uitstroming op basis van de halve hoogte van de vloeistofkolom voorgeschreven. Het voorschrijven van de maximum vloeistofkolom komt overeen met de locatie van het gat in het reservoir, namelijk onderin.

In de 'modelevaluatie Buncefield' [5] is gebleken dat de modellering van het scenario instantaan falen van atmosferische opslagtanks fysisch onrealistisch is als voor de hoogte van de vloeistofkolom wordt uitgegaan van de maximale hoogte. Voor ontvlambare atmosferische vloeistoffen is bovendien gebleken dat de bijbehorende effectafstanden afwijken van de effectafstanden die in de praktijk zijn opgetreden bij (bijna) instantane uitstromingen. Daarom is besloten om de modelleerwijze van de scenario's met instantaan falen van bovengrondse atmosferische tanks aan te passen.

De wijziging is niet van toepassing op het tien minuten scenario en het tien millimeter lek van atmosferische opslagtanks en ook niet op de scenario's voor druktanks.

3.3.1.4 Uitstroming uit reservoirs met een niet homogene inhoud

In dit hoofdstuk is geprobeerd een praktische benadering te hanteren voor distillatiekolommen e.d. Een verdere opsplitsing van het 10 mm gat over meerdere locaties is niet zinvol gezien de geringe bijdrage van dit scenario aan het totale risico.

De stof in de QRA wordt geselecteerd aan de hand van de effectafstand bij weerklassse D5. Hiermee is gekozen voor een gemiddelde weerklassse, zodat voor de meest voorkomende weerklassen de goede keuze is gemaakt.

3.3.4 Drukverlies ten gevolge van kleppen en bochten

In de standaard berekening wordt aangenomen dat er geen drukverlies optreedt door de aanwezigheid van kleppen en bochten in de leiding. Hierdoor wordt de uitstroming enigszins overschat.

3.3.5 Uitstroom in een gebouw

Bij uitstroming van een vloeistof onder druk in een gebouw zal een gedeelte direct verdampen door afkoelen van de vloeistof tot het atmosferisch kookpunt (flash fractie) en een gedeelte verdampen door opname van warmte uit de omgeving (lucht, voorwerpen, vloer, wanden). Als vaste defaultwaarde is gekozen voor een totale hoeveelheid damp gelijk aan drie keer de flash fractie. Dit is hoger dan de waarde voor de verdampte hoeveelheid in het Paarse Boek [10], namelijk twee tot drie keer de flash fractie, om rekening te houden met de opname van warmte uit de omgeving.

3.3.6 Faaldruk van een BLEVE

De faaldruk van een BLEVE is van belang voor de warmtestraling die vrijkomt. Aangenomen wordt dat een BLEVE ontstaat ten gevolge van warmtestraling in de omgeving van de tank.

Voor LPG ketelwagens is de testdruk gelijk aan 28 bar. Een praktijktest uitgevoerd door BAM met een voor ca 20% gevulde propaan ketelwagen resulteerde in een faaldruk van 25 bar [6]. Het rekenprogramma RBM II hanteert een lagere faaldruk voor een warme BLEVE van een ketelwagen, namelijk 19,5 bar. Deze waarde is afgeleid op basis van de testdruk voor stationaire tanks. Er zijn argumenten om voor ketelwagens een lagere faaldruk te hanteren dan de testdruk. Zo kan de verzwakking van de metaalwand door aanstraling van de dampruimte boven de vloeistof een belangrijke rol spelen, waardoor een BLEVE bij een lagere druk kan optreden. Bij het vervoer van

gevaarlijke stoffen speelt daarnaast ook de vraag of een plasbrand van een ketelwagen ontvlambare vloeistof voldoende lang duurt voor het opwarmen van de inhoud tot de temperatuur behorende bij de faaldruk. Gezien bovenstaande is besloten aan te sluiten bij de RBMII benadering en voor ketelwagens uit te gaan van een faaldruk van 19,5 bar.

Voor tankauto's wordt in RBMII niet uitgegaan van een warme BLEVE, omdat de risico's van een warme BLEVE (falen t.g.v. een brand onder de tank) verwaarloosbaar zijn ten opzichte van een koude BLEVE (falen t.g.v. botsing). Voor de afstandentabel LPG tankstations is de referentie barstdruk voor de tankauto berekend op basis van de insteldruk van het veiligheidsventiel op de tankauto [7]. Deze insteldruk is gelijk aan 19,25 barg. Dit leidt tot een faaldruk van $1,21 \times 20,25 \text{ bara} = 24,5 \text{ bara}$.

Wanneer een veiligheidsklep ontbreekt, moet uitgegaan worden van falen bij de testdruk. Dit betekent dat hoe groter de testdruk is, hoe sterker een reservoir is, maar ook hoe groter de berekende effecten en risico's zijn. In de praktijk zullen veiligheidskleppen aanwezig zijn bij reservoirs die relevant zijn voor de externe veiligheid, zodat deze tegenstrijdigheid geen probleem is.

3.3.7 Tijdsafhankelijke uitstroming

SAFETI-NL biedt de mogelijkheid te rekenen met tijdsafhankelijke uitstroming. In de keuze van de methode is een aantal overwegingen van belang.

- Het invoeren van een tijdsafhankelijke uitstroming is meer werk, omdat ook eigenschappen van het reservoir moeten worden ingevoerd.
- Wanneer de uitstroomduur aanzienlijk groter is dan 1800 s, is er weinig verschil tussen een tijdsafhankelijke uitstroming en een constante uitstroming, omdat het debiet niet veel verandert gedurende de eerste 1800 s.
- Wanneer de uitstroomduur veel kleiner is, namelijk in de orde van 20 s, dan kan de tijdsafhankelijke uitstroming leiden tot grotere effectafstanden dan de constante uitstroming. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een kortdurende, constante uitstroming een overgang naar een quasi-instantane uitstroming kan plaatsvinden, zodat ook diffusie langs de windas gemodelleerd wordt. Bij een tijdsafhankelijke uitstroming met meerdere segmenten wordt de diffusie langs de windas niet gemodelleerd, hetgeen leidt tot een overschatting van de concentratie.
- Wanneer de uitstroming uit een lange leiding gemodelleerd wordt als een tijdsafhankelijke uitstroming met (bijvoorbeeld) vijf segmenten, kan de situatie zich voordoen dat het plaatsen van een klep in de leiding leidt tot grotere effectafstanden, en dus een hoger risico. Immers, door het plaatsen van een klep eindigt de uitstroming na een bepaalde, korte tijd. Bij een gelijkblijvend aantal segmenten betekent dit dat de tijdsduur van één segment afneemt, en dus het gemiddeld debiet van het eerste segment toeneemt. Met name voor ontvlambare stoffen, waar het debiet van het eerste segment belangrijk is voor het risico, wordt op deze wijze een toename in het risico berekend. Dit speelt niet wanneer altijd uitgegaan wordt van een constant uitstroomdebiet op basis van bijvoorbeeld de eerste 20 s.

Gekozen is om uit te gaan van een constant debiet met de condities op tijdstip $t = 0 \text{ s}$ (vat, korte leiding) dan wel een constant debiet gemiddeld over $0 - 20 \text{ s}$ (lange leiding). Dit is de eenvoudigste wijze van modelleren en een goede benadering voor kortdurende ($< 50 \text{ s}$) en langdurige ($> 1800 \text{ s}$) uitstromingen. Alleen wanneer een reservoir leegstroomt in de periode $50 - 1800 \text{ s}$ geeft deze benadering een overschatting van de risico's. Voor een zo goed mogelijke

risicoberekening wordt daarom toegestaan in dergelijke gevallen uit te gaan van een variërend uitstroomdebiet met ten minste vijf segmenten. De risico-analist dient wel een onderbouwing te geven van de gemaakte keuze.

N.B. Bij constante uitstroming stroomt de volledige inhoud van het reservoir uit, mdat uitgegaan wordt van de condities op tijdstip $t = 0$. Bij tijdsafhankelijke uitstroming kan de uitgestroomde hoeveelheid kleiner zijn omdat massa achterblijft na ontspanning tot atmosferische druk.

3.3.9 Ruwheidslengte van de omgeving

De standaardwaarde van 0,3 meter komt overeen met RBM II en is een gemiddelde over heel Nederland voor transport. Op een industrieterrein zijn gebouwen aanwezig en wordt gerekend met een hogere waarde, 1 meter.

3.3.10 Meteorologische weerstation en parameters

De standaard waarden voor de meteorologische parameters zijn afgeleid uit de KNMI statistiek voor de normaalperiode 1971 – 2000, station De Bilt [8]. Omdat de berekeningen apart worden uitgevoerd voor de dag en de nacht, zijn de standaardwaarden nu ook gedefinieerd voor dag en nacht afzonderlijk. De volgende benadering is hierbij gevolgd:

Temperatuur

De KNMI statistiek geeft de etmaalgemiddelde dagtemperatuur (9,8 °C jaargemiddeld), het dagmaximum (13,7 °C jaargemiddeld) en het dagminimum (5,7 °C jaargemiddeld). De temperatuur voor de nachtperiode is berekend als het gemiddelde van het daggemiddelde en het dagminimum, de temperatuur voor de dagperiode is berekend als het gemiddelde van het daggemiddelde en het dagmaximum. Omdat in de QRA een verdeling 0,44 voor de dag en 0,56 voor de nacht wordt aangehouden, is de dagtemperatuur berekend als $9,8 + 0,56 \times (13,7 - 9,8) = 12$ °C en de nachttemperatuur als $9,8 - 0,44 \times (9,8 - 5,7) = 8,0$ °C. Met deze correctie is de daggemiddelde temperatuur gelijk $0,44 \times 12$ °C + $0,56 \times 8$ °C = 9,8 °C. Overigens is het gebruik van een jaargemiddelde dag- en nachttemperatuur niet erg zinvol in de QRA: de variatie in temperatuur tussen zomer en winter is aanzienlijk groter dan de variatie in het jaargemiddelde dagmaximum of – minimum.

Voor de temperatuur van de bodem en het water wordt voorgesteld het jaargemiddelde aan te houden in verband met de bufferende werking van grote (water-) massa's.

Luchtdruk

De KNMI statistiek geeft de etmaalgemiddelde luchtdruk. De waarde is 101550 Pa. Deze waarde is genomen voor de dagperiode en de nachtperiode.

Luchtvochtigheid

De KNMI statistiek geeft de etmaalgemiddelde luchtvochtigheid (82% jaargemiddeld) en de luchtvochtigheid op 12 uur UT (72,2% jaargemiddeld). De luchtvochtigheid voor de dagperiode is berekend als het gemiddelde van het daggemiddelde en de luchtvochtigheid op 12 uur UT, dat wil zeggen $82\% - 0,56 \times (82\% - 72,2\%) = 76,5\%$. De luchtvochtigheid voor de nachtperiode is zodanig dat het etmaalgemiddelde gelijk is aan 82%, dat wil zeggen $(82\% - 0,44 \times 76,5\%)/0,56 = 86,3\%$.

Zonne-instraling

De KNMI statistiek geeft de etmaalsom van de globale straling (950 J/cm^2). Deze waarde is volledig toegekend aan de dagperiode, zodat de zonneinstraling dan gelijk is aan $(950 \text{ J/cm}^2 \times 10.000 \text{ cm}^2/\text{m}^2)/(10,5 \times 3600 \text{ s}) = 0,25 \text{ kW/m}^2$.

Menglaaghoogte

De menglaaghoogte voor de verschillende weerklassen is berekend

3.4.3 Geblokkeerde uitstroming

Het Paarse Boek schrijft voor te rekenen met geblokkeerde uitstroming wanneer aan twee voorwaarden is voldaan, namelijk wanneer de kans op een geblokkeerde uitstroming groter is dan 0,5 gemiddeld over alle uitstroomrichtingen. Het criterium voor geblokkeerde uitstroming is dat de lengte van de vrije jet groter is dan $3 \times$ de afstand tussen het uitstroompunt en het obstakel. In de praktijk wordt niet vaak gerekend met een geblokkeerde uitstroming. Voor een eenduidige benadering is daarom nu voorgeschreven dat voor uitstroming buiten altijd gerekend wordt met vrije uitstroming.

3.4.4 Massa betrokken in een BLEVE

Het Paarse Boek schrijft voor dat de volledige massa in de tank meegenomen moet worden in de BLEVE. Uit een review van de modellering van de BLEVE blijkt dat een waarde van $3 \times$ de flashfractie bij de faaldruk voldoende conservatief is [9]. Deze waarde is nu voorgeschreven.

3.4.6.1 Instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas

In de gebeurtenissenboom is opgenomen dat er, naast een vuurbal, ook een wolkbrand en explosie kan optreden bij directe ontsteking van het vrijgekomen ontvlambaar gas. Deze gebeurtenis heeft een historische achtergrond. In eerdere handleidingen is namelijk beschreven dat de kans op een BLEVE gelijk is aan 0,7, gegeven directe ontsteking van een instantane vrijzetting [10]. Dit betekent dat er een kans van 0,3 is op directe ontsteking van een instantane vrijzetting, zonder dat er een BLEVE optreedt. Hiervoor ontbreekt een goed model: een BLEVE is immers de verwachte uitkomst. Dit is in het Paarse Boek kunstmatig opgelost door hiervoor een apart model te ontwikkelen en toe te passen. In dit model expandeert de wolk eerst tot de UFL, waarna de (semi-) directe ontsteking optreedt. Dit resulteert in de wolkbrand en explosie.

3.4.6.6 Kans op directe ontsteking, $P_{\text{directe ontsteking}}$

In het Paarse Boek zijn de ontstekingskansen gedefinieerd voor gassen (laag reactief en gemiddeld/hoog reactief) en K1 vloeistoffen. De ontstekingskansen voor K0 vloeistoffen en K2, K3 en K4 vloeistoffen ontbraken. De ontstekingskansen zijn nu gedefinieerd voor alle ontvlambare gassen en vloeistoffen, waarbij de definitie in overeenstemming is gebracht met de WMS classificatie.

Hierbij is de volgende benadering gevolgd:

Klasse 0 Ontvlambare gassen vallen in klasse 0. Daarom zijn voor alle stoffen in klasse 0 de ontstekingskansen voor ontvlambare gassen aangehouden, dus ook de ontvlambare vloeistoffen.

In het Paarse Boek zijn geen ontstekingskansen gedefinieerd voor de scenario's van aanvaring van schepen. Hiervoor is aangesloten bij RBMII.

Klasse 1 Voor klasse 1 vloeistoffen definieert het Paarse Boek een directe ontstekingskans van 0,065. Voor wegtransport (categorie LF2, vlampunt < 23 °C) wordt een directe ontstekingskans van 0,13 aangehouden (en 0,87 voor geen ontsteking). Dit is de combinatie van directe ontsteking (0,065) en vertraagde ontsteking (0,065) met dezelfde effecten (plasbrand). Voor spoortransport wordt een directe ontstekingskans van 0,25 aangehouden (en 0,75 voor geen ontsteking) [10].

In het Paarse Boek is ingevoerd dat voor het Plaatsgebonden Risico gerekend moet worden met een vertraagde ontstekingskans die gelijk is aan (1 – kans op directe ontsteking). Voor K1 vloeistof betekent dit dat de totale kans op ontsteking (direct + vertraagd) gelijk is aan één. De ontvlambare wolk is voor ontvlambare vloeistoffen vaak nauwelijks groter dan de plas: voor weerklasse D5 is er geen LFL-contour buiten de plas indien de dampspanning kleiner is dan 550 mbar [11]. De kans op vertraagde ontsteking is klein en de aanname van een totale kans op ontsteking gelijk aan 1 leidt tot een conservatieve benadering.

Klasse 2 Voor klasse 2 vloeistoffen is in het Paarse Boek geen directe ontstekingskans gedefinieerd. Voor wegtransport (categorie LF1, vlampunt > 23 °C en < 61 °C) is de directe ontstekingskans 0,01 (en geen vertraagde ontsteking). Deze waarde is overgenomen.

Klasse 3 Gasolie heeft een vlampunt > 55 °C [Chemiekaarten] en valt dus in klasse 3. In de S3b methodiek valt gasolie in categorie LF1. Daarom is voor klasse 3 een ontstekingskans van 0,01 aangehouden in de berekeningen voor bunkerstations [12]. Voorgesteld wordt nu aan klasse 3 geen ontstekingskans toe te kennen (en dus niet mee te nemen in de QRA), omdat de stof geen WMS classificatie heeft. Alleen wanneer de procestemperatuur hoger is dan de vlamtemperatuur dient de stof meegenomen te worden.

Klasse 4 Voorgesteld wordt aan klasse 4 geen ontstekingskans toe te kennen (en dus niet mee te nemen in de QRA), omdat de stof geen WMS classificatie heeft. Alleen wanneer de procestemperatuur hoger is dan de vlamtemperatuur dient de stof meegenomen te worden.

Andere aandachtspunten zijn:

- In het Paarse Boek zijn de ontstekingskansen voor transportmiddelen onafhankelijk van de stof. Vermoedelijk zijn deze ontstekingskansen alleen bedoeld voor K0 stoffen. Voorgesteld wordt voor de niet-K0 stoffen dezelfde benadering als voor stationaire installaties gevolgd.
- In het Paarse Boek wordt in de subselectie een ontvlambare stof gedefinieerd als een stof met een procestemperatuur gelijk aan of hoger dan het vlampunt. In de ontstekingskansen in het Paarse Boek wordt geen onderscheid gemaakt naar de procestemperatuur in relatie tot het vlampunt. Voorgesteld wordt voor klasse 2 - 4 stoffen de ontstekingskans van klasse 1 stoffen aan te houden wanneer de procestemperatuur gelijk aan of hoger dan het vlampunt.
- De ontstekingskansen voor klasse 0 stoffen zijn conform het Paarse Boek afhankelijk van de reactiviteit van de stof. De definitie van laag reactief is niet goed omschreven. Een aantal stoffen met een lage reactiviteit is in het Paarse Boek met name genoemd. Voor deze stoffen is onderzocht in hoeverre de reactiviteit van belang is voor het bepalen van de ontstekingskans.

- 1-chloor-2,3-epoxypropaan (epichloorhydrine, CAS nr 106-89-8)
Deze stof is klasse 2 zodat de reactiviteit niet relevant is voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is wel vergiftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en toxisch zijn.
- 1,3-dichloorpropeen (CAS nr 542-75-6)
Deze stof is klasse 2 en de reactiviteit is niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is niet vergiftig voor inhalatie.
- 3-chloor-1-propeen (synoniem allylchloride, CAS nr 107-05-1)
Deze stof is klasse 1 en de reactiviteit is dus niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is zeer toxisch voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en toxisch zijn.
- ammoniak (CAS nr 7664-41-7)
Deze stof is klasse 0. De stof is toxisch voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en toxisch zijn.
- koolmonoxide (CAS nr 630-08-0)
Deze stof is klasse 0. De stof is toxisch voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en toxisch zijn.
- chloorethaan (synoniem ethylchloride, CAS nr 75-00-3)
Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof is niet geclassificeerd als toxisch voor inhalatie en wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- chloormethaan (synoniem methylchloride, CAS nr 74-87-3)
Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof is niet geclassificeerd als toxisch voor inhalatie en wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- methaan (CAS nr 74-82-8)
Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- tetra-ethyllood (CAS nr 78-00-2)
Deze stof is klasse 3 en de reactiviteit is niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is toxisch voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en toxisch zijn.

3.4.9.2 Ontvlambare stoffen - warmtestraling

De letaliteit voor de warmtestraling is overgenomen uit het Paarse Boek. Dit betekent dat de letaliteit overschat wordt in het gebied tussen het vlamgebied en de 35 kW/m² contour wanneer de blootstellingsduur (aanzienlijk) korter is dan 20 seconden. Dit speelt met name bij een BLEVE (vuurbal). In Tabel 18 is voor een BLEVE van propaan de straal van de vuurbal aangegeven, de tijdsduur van de BLEVE, de afstand tot 35 kW/m² en de letaliteit zoals berekend met de probitrelatie op basis van de tijdsduur van de BLEVE en 35 kW/m².

Tabel 18 Afstanden voor een BLEVE van propaan (faaldruk 19,5 bar)

Massa in BLEVE	Straal	Tijdsduur	35 kW/m² contour	Letaliteit 35 kW/m² probitrelatie
48.000 kg	108 m	14 s	165 m	0,86
10.000 kg	65 m	9 s	90 m	0,52
1.000 kg	31 m	5 s	35 m	0,07

Uit Tabel 18 blijkt dat voor grote BLEVE's (meer dan 50 ton), de tijdsduur van de BLEVE in de orde komt van 20 s, zodat er geen groot verschil is tussen de berekening met de probit relatie en de berekening volgens het Paarse Boek.

Voor kleine BLEVE's (orde grootte 1000 kg) is de straal van de vuurbal vergelijkbaar met de 35 kW/m² contour, zodat ook nu geen groot verschil is tussen de berekening met de probitrelatie en de berekening volgens het Paarse Boek. Alleen voor BLEVE's met een waarde in de orde van 10 ton leidt de standaard modellering van het Paarse Boek tot een overschatting van de risico's. De berekeningen in Tabel 18 zijn gebaseerd op een faaldruk van 19,5 bar. Bij een lagere faaldruk is de warmtestraling ook lager, zodat de afstand tot de 35 kW/m² contour kleiner wordt en dichter bij de straal van de vuurbal komt te liggen. Dit leidt tot kleinere verschillen tussen de standaardmodellering van het Paarse Boek en een berekening op basis van de probitrelatie. De berekende verschillen in Tabel 18 zijn aanvaardbaar, zodat de huidige standaardmodellering in het Paarse Boek (en RBMII) aangehouden is.

3.5.1 Probit waarden toxische stoffen

Tabel 15 geeft de probitrelaties voor een aantal toxische stoffen. De waarden voor a, b en n (eenheden mg/m³ en minuten) zijn overgenomen uit Deel 4 van PGS 1 [13]. Het rekenpakket SAFETI-NL rekent in de eenheden ppmv en minuten. Daarom zijn ook de waarden voor a, b en n in de eenheden ppmv en minuten gegeven. Deze zijn berekend met de volgende formule:

$$a_{ppmv} = a_{mg/m^3} + b \times \ln \left(\frac{M}{22,4 \times \frac{282}{273}} \right)^n$$

met M de molmassa (in g/mol).

Tabel 2 van PGS 1 – deel 4 geeft de vastgestelde probitwaarden, tabel 3 van PGS 1 – deel 4 geeft de voorgestelde probitwaarden. In Tabel 15 zijn de vastgestelde probitwaarden overgenomen en de voorgestelde probitwaarden voor de stoffen zonder vastgestelde probitwaarden. De voorgestelde probitwaarden voor waterstofchloride, waterstofcyanide en waterstofsulfide zijn naar verwachting van betere kwaliteit dan de vastgestelde waarden. Echter, een toetsgroep dient de nieuwe waarden nog officieel vast te stellen.

3.5.2 en 3.5.3 Inerte gasen en zuurstof

De veiligheidsrapporten van Hoek Loos IJmuiden, Nederlandse Gasunie en Air Products zijn bekeken voor de toegepaste modellering van inerte gasen en zuurstof.

- In het Veiligheidsrapport van Hoek Loos IJmuiden [14] zijn geen risicoberekeningen opgenomen omdat "... het voor de stoffen zuurstof, stikstof en argon niet mogelijk is de zogenaamde kwantitatieve risico-analyse uit te voeren." Er zijn meerdere cryogene opslagtanks; de maximale opslaghoeveelheid (kleinste tank – grootste tank) is gelijk aan 570 – 1824 ton zuurstof, 17 – 714 ton argon en 2000 – 3200 ton stikstof.
- In het Veiligheidsrapport van de Nederlandse Gasunie [15] zijn de risico's beschreven van de cryogene opslag van stikstof (19.000 m³). In dit rapport staat beschreven dat een zuurstofpercentage van 6 – 8% gedurende 8 minuten 100% letaal is, gedurende 6 minuten 50% letaal en gedurende 4 – 5 minuten: na behandeling herstel optreedt. Direct letale effecten worden geassocieerd met 10% zuurstof in lucht. Voor de subselectie wordt aangehouden dat 50% stikstof in lucht (10,5% zuurstof) letaal is. De gehanteerde probit functie is a = -86,793, b = 1 en n = 6,995 voor de concentratie in ppmv.

- In het Veiligheidsrapport van Air Products [16] zijn inerte gassen en zuurstof niet meegenomen in de risicoberekeningen.
- TNO heeft in opdracht van Hoek Loos een onderzoek uitgevoerd naar Schadecriteria voor zuurstof en stikstof [17].
- De schadecriteria voor zuurstofverrijking zijn 10% letaliteit bij 40% zuurstof gedurende 10 minuten en 1% letaliteit bij 30% zuurstof gedurende 10 minuten. Deze waarden zijn gebaseerd op de veronderstelling dat ontsteking nodig is (ontstekingskans voor een persoon 0,01 in één minuut, bij benadering 0,1 in 10 minuten), en de kleding niet tijdig gedoofd kan worden (kans op niet-doven is 1 bij 40% en 0,1 bij 30%).
- De schadecriteria voor zuurstofverarming zijn 100% letaliteit bij 10% zuurstof gedurende 10 minuten en 1% letaliteit bij 14% zuurstof gedurende 10 minuten.
- Het RIVM is betrokken bij het opstellen van AEGL grenswaarden voor asphyxie (zuurstofverarming). De AEGL-3 waarde ligt naar verwachting in de orde van 14 – 16%.

Het is duidelijk dat voor inerte gassen en zuurstof nog geen goede probitrelatie is vastgesteld en een goede onderbouwing ontbreekt. Om in voorkomende gevallen toch een eenduidige rekenwijze te hanteren is hier een voorstel voor de schadecriteria voor zuurstof en stikstof afgeleid.

- Voor zuurstofverrijking wordt gerekend op basis van de TNO benadering. De kans op sterfte is 0,1 bij 40% zuurstof of meer (10 minuten blootstelling) en 0,01 bij 30 % zuurstof (10 minuten blootstelling). Hierbij komt 40 (30) vol% zuurstof in lucht overeen met een extra hoeveelheid zuurstof van 24,1 (11,4) vol% uit de dispersieberekening. Het is niet goed mogelijk hiervoor een probitrelatie af te leiden, omdat de letaliteit niet groter wordt bij concentraties van 40% of meer. Daarom wordt voorgesteld te rekenen met de volgende schadecriteria:
 - 40% zuurstof of meer sterftetekans 10%
 - 30% zuurstof of meer sterftetekans 1%
 - Deze kans is gebaseerd op 10 minuten blootstelling, maar wordt toegepast voor alle blootstellingstijden.
- De probitrelatie voor stikstof wordt berekend op basis van twee punten, namelijk 1% letaliteit voor de AEGL-3 waarde van 16% zuurstof in lucht gedurende 60 minuten (23,6 vol% uit de dispersieberekening) en 50% letaliteit bij 10% zuurstof in lucht gedurende 10 minuten (52,3 vol% uit de dispersieberekening). Hierbij is gekozen voor 50% letaliteit in plaats van 100% letaliteit omdat dit beter overeenkomt met de informatie uit het rapport van de LNG maasvlakte, waar letale effecten beginnen bij 10% zuurstof.
- Met de keuze $b = 1$ wordt gevonden dat de waarden $a = -17.8$ en $n = 5.2$ de twee punten goed beschrijven (concentratie inert gas in vol%, tijd in minuten). De probitrelatie leidt tot de relatie tussen letaliteit, concentratie en tijdsduur zoals gegeven in Tabel 19. De hierin gevonden waarden lijken redelijk overeen te stemmen met de verschillende schadecriteria.

Tabel 19 Relatie tussen letaliteit, concentratie zuurstof in lucht en tijdsduur op basis van de probitrelatie met $a = -17,8$, $b = 1$ en $n = 5,2$.

Letaliteit	30 minuten	10 minuten	1 minuut
1%	15,4 vol%	14,1 vol%	10,2 vol%
50%	12,2 vol%	10,2 vol%	4,1 vol%
95%	9,0 vol%	6,1 vol%	

Uitgedrukt in de eenheden ppmv en minuten is de probitrelatie $a = -65.7$, $b = 1$ en $n = 5.2$.

3.6 Mengsels en voorbeeldstoffen

Voor mengsels dient de opsteller van de QRA te verantwoorden of eventuele toxische, ontvlambare en/of ontplofbare eigenschappen relevant zijn voor de externe veiligheid. Als richtlijn kan de 'Selectiemethodiek toxische en ontvlambare producten' worden gebruikt, die beschikbaar is op de website van RIVM.

Voor zuivere, onvermengde vloeistoffen moet (onveranderd) gerekend worden met de stof zelf.

3.6.1 Vloeibare aardolieproducten K1/K2

De samenstelling van vloeibare aardolieproducten zoals benzine en kerosine, kan variëren. De milieuvergunning betreft vaak een vergunning voor K1 en/of K2 in het algemeen, zonder verdere specificatie. In de 'modevaluatie Buncefield' [5] is gebleken dat n-hexaan een geschikte voorbeeldstof is voor aardoliemengsels van de klasse K1 en dat n-nonaan een geschikte voorbeeldstof is voor aardoliemengsels van de klasse K2.

3.6.2 Aardgas

De verantwoording van de invoerwijze van aardgasmengsels bij mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen is beschreven in paragraaf 12.5 van Module C.

3.6.3 Producten bij PGS-15 inrichtingen

De verantwoording van de invoerwijze van (mengsels) van stoffen bij PGS 15 inrichtingen is beschreven in paragraaf 14.4 van Module C.

3.6.4 Overige mengsels

SAFETI-NL biedt de mogelijkheid om mengsels in te voeren en op basis van de samenstelling gemiddelde eigenschappen te berekenen voor het mengsel als geheel. Deze aanpak is alleen geschikt voor mengsels van onderling gelijkende componenten. In het bijzonder is deze invoerwijze niet geschikt voor mengsels van gassen en vloeistoffen met sterk uiteenlopend kookpunt. De invoerwijze is ook niet geschikt voor mengsels waarbij de componenten fysisch/chemische interacties aangaan die ze afzonderlijk niet vertonen, zoals oplossingen.

Het gebruik van een voorbeeldstof is alleen geschikt als de voorbeeldstof zowel wat betreft gevaarseigenschappen (toxiciteit en ontvlambaarheid) als fysisch/chemische eigenschappen (verdamping en verspreiding) representatief is voor de gevaarlijke stoffen die vrijkomen. Daarbij zijn zowel procescondities als omgevingscondities relevant.

Voor niet-homogene mengsels zoals waterige oplossingen, is bekend welke specifieke gevaarlijke stoffen relevant zijn, maar de bronterm voor deze componenten kan niet nauwkeurig worden berekend in SAFETI-NL. Voor deze mengsels kan de bronterm voor de gevaarlijke stoffen in het mengsel met een aparte berekening worden bepaald en op basis van maatwerk worden ingevoerd. Voor waterige oplossingen is een FAQ opgesteld.

5.3 Hoofdstuk 4 Technische documentatie

In de Plenaire werkgroep Unificatie zijn 2 november 2007 afspraken gemaakt over hoe er met de vertrouwelijke informatie bij een QRA-rapportage om moet worden gegaan. Aanleiding was de inhoud van het psu-bestand, waarin alle invoergegevens van een QRA zijn opgeslagen¹³.

Afgesproken is dat het psu-bestand binnen het bedrijf mag blijven, maar wel beschikbaar moet zijn voor het bevoegd gezag. Voor het bevoegd gezag is in ieder geval in twee situaties toegang tot dit bestand noodzakelijk:

1. bij het beoordelen van de QRA, en
2. bij het vaststellen van het groepsrisico als gevolg van wijzigingen in het populatiebestand.

In diezelfde Plenaire werkgroep Unificatie is ook afgesproken om "met voldoende prioriteit" te onderzoeken of de voor de invulling van de verantwoordingsplicht noodzakelijke informatie uit het psu-bestand kan worden "afgesplitst".

In de Handleiding Risicoberekeningen Bevi was op dat moment een overzicht opgenomen van de documentatie die beschikbaar moet zijn om een QRA te kunnen beoordelen. Als consequentie van de gemaakte werkafspraken moet in de Handleiding de rapportageverplichtingen voor een QRA worden opgenomen. Bij de uitwerking is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij al beschikbaar materiaal. Uiteindelijk bleken de tabellen waarin de in een veiligheidsrapport op te nemen informatie wordt opgesplitst in openbaar en (mogelijk) vertrouwelijk een zeer bruikbaar vertrekpunt. De inhoud van deze tabellen is al eerder afgestemd en vastgesteld en bovendien voldoende gedetailleerd. Deze tabellen zijn opgenomen in de "Aanwijzingen voor implementatie van BRZO 1999" pagina's 27 - 38 [18] en in de Werkwijzer BRZO (bijlage 1 pagina's: Tab C 3-2 t/m C 3-24) [19].

Bij het opnemen van de elementen in Tabel 16 zijn de volgende aspecten meegenomen:

1. Het hoofdstuk "Technische documentatie" moet uitgaan van een zelfstandige QRA, want de specificaties zullen ook geschikt moeten zijn voor QRA's die geen onderdeel uitmaken van een Veiligheidsrapport.
2. Bevi koppelt consequenties aan de ligging van de 10-5 en 10-6 en daarom moeten deze contouren met een nauwkeurigheid worden gepresenteerd die overeenkomt met de betreffende bestemmingsplannen.
3. De in eerdere versies van deze Handleiding opgenomen bepalingen moesten behouden blijven.

¹³ Dit psu-bestand vormt daarmee een belangrijke schakel bij het bereiken van het uiteindelijke doel van Unificatie, nl het reproduceerbaar maken van QRA-berekeningen

Referenties

- [1] Handreiking Verantwoordingsplicht Groepsrisico. www.groepsrisico.nl
- [2] J.W. Verkaik. Programma Roughness_map. KNMI, 2000.
- [3] Commissie Preventie Rampen. Methoden voor het berekenen van fysische effecten, tweede druk. CPR 14 ("Gele Boek"). Voorburg: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1988.
- [4] AVIV. Veiligheid Vervoer over de Weg. Eindrapport deelnota 1. Basisgegevens en kerncijfers zwaar verkeer, 1996.
- [5] E.S. Kooi, M.B. Spoelstra, P.A.M. Uijt de Haag. Evaluation of the Dutch QRA directives for storage and transportation of flammable liquids. RIVM rapport 620550001, 2010
- [6] Untersuchung der versagensgrenzen eines mit Flüssiggas gefüllten Eisenbahnkesselwagens bei Unterfeuerung. Abschlussbericht van 13/9/99
- [7] J.M. Ham, A.W.T. van Blanken. Invloed systeemreacties LPG-tankinstallatie op risico LPG-tankstation (ligging PR-contour). TNO rapprt R 2004/107, 2004
- [8] KNMI. Klimaatatlas van Nederland – normaalperiode 1971 - 2000. Elmar B.V., Rijswijk, 2002. ISBN 90389 1191 2.
- [9] Martinsen, W.E., and Marx, J.D., "An improved model for the prediction radiant heat from fireballs", International Conference and Workshop on Modelling the Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials, CCPS, San Francisco, California, September 28 – October 1, pp. 605-621 (1999).
- [10] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Guidelines for Quantitative Risk Assessment ('Paarse boek'). Ministerie van VROM, 2005
- [11] Instrument Domino-effecten. www.rivm.nl
- [12] P.A.M. Uijt de Haag, J.G. Post. Risicoanalyse brandstofpontons. RIVM rapport 610066013, 2001.
- [13] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade ('Groene boek'). Ministerie van VROM, 2005
- [14] Hoek Loos IJmuiden. Veiligheidsrapport BRZO '99, 2001.
- [15] DNV. Veiligheidsrapportage LNG-installatie Maasvlakte, april 2003.
- [16] Tebodin. Veiligheidsrapport Air Products Nederland B.V. locatie Rotterdam (Botlek), 2001.
- [17] A. Kruithof, K. Ham. Schadecriteria zuurstof en stikstof. TNO rapport R 2004/458, 2004 (vertrouwelijk).
- [18] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 6. Aanwijzigingen voor implementatie van BRZO 1999.
- [19] Werkwijzer BRZO. Zie <http://www.brzo99.nl> onder de tab Producten.



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevi

Module C

Versie 3.3
1 juli 2015

Colofon

© RIVM 2015

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Helpdesk SAFETI-NL
SAFETI-NL@rivm.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave—3

1 Inleiding—9

2 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Subselectie—10

- 2.1 Inleiding—10
- 2.2 Doelstelling en reikwijdte—10
 - 2.2.1 Doelstelling van de subselectie—10
 - 2.2.2 Reikwijdte van de subselectie—10
 - 2.2.2.1 Verantwoordelijkheid van de subselectie en afwijkingen—10
 - 2.2.2.2 Reactieproducten en toxische verbrandingsproducten—11
 - 2.2.2.3 Bulkverladingsactiviteiten—11
 - 2.2.2.4 Uitsluiting van bepaalde stoffen—12
- 2.3 De subselectie—12
 - 2.3.1 De subselectie op hoofdlijnen—12
 - 2.3.2 Verdeling van een inrichting in insluitsystemen—13
 - 2.3.2.1 Definitie insluitsysteem—13
 - 2.3.2.2 Begrenzing van insluitsystemen—14
 - 2.3.3 Selectie op basis van effectafstanden—15
 - 2.3.4 Selectie op basis van selectiegetallen—16
 - 2.3.4.1 Methode op hoofdlijnen—16
 - 2.3.4.2 Aanwijzingsgetal A—16
 - 2.3.4.3 Berekening van het selectiegetal S—23
 - 2.3.4.4 Selectie van insluitsystemen—23
 - 2.3.5 Specifieke aandachtspunten voor de toepassing van de subselectie—24
 - 2.3.5.1 Transportleidingen—24
 - 2.3.5.2 Gebruik van resultaten uit de subselectie—26
- 2.4 Voorbeeld—26
 - 2.4.1 Beschrijving van de inrichting en de insluitsystemen—26
 - 2.4.2 Berekening van het aanwijzingsgetal—28
 - 2.4.2.1 Insluitsysteem I_1 —28
 - 2.4.2.2 Insluitsysteem I_2 —28
 - 2.4.2.3 Insluitsysteem I_3 —28
 - 2.4.2.4 Insluitsysteem I_4 —28
 - 2.4.2.5 Insluitsysteem I_5 —29
 - 2.4.2.6 Overzicht aanwijzingsgetallen—29
 - 2.4.3 Berekening van het selectiegetal—30

3 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Scenario's—32

- 3.1 Inleiding—32
- 3.2 Uitgangspunten—32
 - 3.2.1 Run-away reacties—32
 - 3.2.2 Externe beschadiging en domino-effecten—33
 - 3.2.3 Veiligheidsbeheersystemen—34
 - 3.2.4 Afwijkingen van de standaard faalfrequenties—34
 - 3.2.5 Afkapgrens—34
- 3.3 Onderdelen van een insluitsysteem—35
- 3.4 Opslagtank onder druk, bovengronds—36

3.4.1	Definitie—36
3.4.2	Kenmerken—36
3.4.3	Scenario's—37
3.5	Opslagtanks onder druk, ondergronds/ingeterpt—38
3.5.1	Definitie—38
3.5.2	Kenmerken—38
3.5.3	Scenario's—38
3.6	Atmosferische opslagen—40
3.6.1	Definitie—40
3.6.2	Kenmerken—40
3.6.3	Scenario's—41
3.7	Gashouders—44
3.7.1	Definitie—44
3.7.2	Kenmerken—44
3.7.3	Scenario's—44
3.8	Leidingen—45
3.8.1	Kenmerken—45
3.8.2	Scenario's—45
3.9	Reactorvat en procesvat—48
3.9.1	Definities—48
3.9.2	Kenmerken—48
3.9.3	Scenario's—48
3.10	Destillatiekolom—49
3.10.1	Definitie—49
3.10.2	Kenmerken—49
3.10.3	Scenario's—50
3.10.4	Voorbeeld—50
3.11	Pompen en compressoren—53
3.11.1	Kenmerken—53
3.11.2	Scenario's—53
3.12	Warmtewisselaars en condensors—54
3.12.1	Definitie—54
3.12.2	Kenmerken en scenario's—54
3.13	Drukveiligheid—56
3.13.1	Definitie—56
3.13.2	Scenario's—56
3.14	Transportmiddelen—56
3.14.1	Definitie—56
3.14.2	Kenmerken—56
3.14.3	Scenario's—57
3.14.3.1	Tankauto—57
3.14.3.2	Ketelwagens—58
3.14.3.3	Schepen—59
3.15	Verlading—60

4 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Maatregelen en systeemreacties—62

4.1	Inleiding—62
4.2	Repressieve systemen—62
4.2.1	Tankput—62
4.2.1.1	Definitie en kenmerken—62
4.2.1.2	Modellering—62
4.2.1.3	Voorbeeld—63
4.2.2	Inbloksystemen—63

4.2.2.1	Definitie en kenmerken—63
4.2.2.2	Modellering—63
4.2.2.3	Voorbeeld—64
4.2.3	Doorstroombegrenzer—65
4.2.3.1	Definitie—65
4.2.3.2	Kenmerken—65
4.2.3.3	Modellering—65
4.2.3.4	Voorbeeld—65
4.2.4	Terugslagklep—67
4.2.4.1	Definitie—67
4.2.4.2	Kenmerken—67
4.2.4.3	Modellering—67
4.2.4.4	Voorbeeld—67
4.2.5	Brekkoppelingen en wegrijbeveiligingen—67
4.2.6	Ingrijpen door operators—68
4.2.6.1	Beschrijving—68
4.2.6.2	Voorbeeld—68
4.2.7	Brandbestrijdingssystemen (beperking brandoppervlak)—69
4.2.8	Overige repressieve systemen—69
4.3	Systeemreacties—69
4.3.1	Pompen—69
5	Stuwadoorsbedrijven als bedoeld in artikel 2.1 onder b Bevi—70
6	Spoorwegemplacementen als bedoeld in artikel 2.1 onder c Bevi—71
7	LPG tankstations als bedoeld in artikel 2.1 onder e Bevi—72
8	Inrichtingen met opslagvoorzieningen voor gevaarlijke stoffen als bedoeld in artikel 2.1, onder f Bevi—73
8.1	Inleiding rekenmethode PGS 15—73
8.2	Ontwikkeling brand: brandscenario's en kansen—75
8.2.1	Definitie—75
8.2.2	Kenmerken—76
8.2.3	Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening—76
8.2.4	Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang—77
8.2.5	Bepaling brandduur per brandbestrijdingssysteem—80
8.3	Parameter: Resulterende brandsnelheid [kg/s]—82
8.3.1	Definitie—82
8.3.2	Kenmerken—82
8.3.3	Bepaling maximum (oppervlaktebeperkte) brandsnelheid—82
8.3.4	Bepaling zuurstofbeperkte brandsnelheid—83
8.3.5	Bepaling resulterende brandsnelheid—84
8.4	Bepaling molfractie in opgeslagen product voor berekening verbrandingsproducten [mol/mol]—85
8.4.1	Definitie—85
8.4.2	Kenmerken—85
8.4.3	Bepaling molfractie N, Cl, (F, Br) en S in opgeslagen product—85
8.5	Parameter: Bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]—87
8.5.1	Definitie—87
8.5.2	Kenmerken—87
8.5.3	Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]—87
8.6	Parameter: Bronterm onverbrand toxisch product [kg/s]—88

8.6.1	Definitie—88
8.6.2	Kenmerken—88
8.6.3	Bronsterkte en survivalfractie onverbrand toxisch product—88
8.6.4	Toxiciteit onverbrand toxisch product—89
8.7	Parameter: Bronterm toxische emissies bij overslag in open lucht [kg/s]—90
8.7.1	Definitie—90
8.7.2	Kenmerken—90
8.7.3	Kans op falen verpakking bij verlading in open lucht—90
8.7.4	Falen van een verpakking met zeer toxisch inhaleerbaar poeder [kg]—90
8.7.5	Falen van een verpakking met zeer toxische vloeibare stoffen [kg/s, plasverdamping]—91
8.8	Overige invoerparameters in SAFETI-NL—91
8.9	Voorbeeldberekening—93
8.9.1	Beschrijving van de opslag—93
8.9.2	Brandscenario's—93
8.9.3	Samenstelling van de opgeslagen stoffen—94
8.9.4	Brandsnelheid—95
8.9.5	Bronsterkte toxische verbrandingsproducten en onverbrande toxische stoffen—96
8.9.6	Dispersie—98
8.9.7	Resultaat risicoberekening in SAFETI-NL—98

9 Ammoniakkoelinstallaties als bedoeld in artikel 2.1 onder g Bevi—100

10 Gastransportinrichtingen als bedoeld in artikel 1b, onderdeel h, van de Revi en Mijnbouwwerken als bedoeld in artikel 1b, onderdeel i, van de Revi.—101

10.1	Inleiding rekenmethode mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen—102
10.2	Algemene uitgangspunten—103
10.2.1	Inrichtingsgrens—103
10.2.2	Mengsels en voorbeeldstoffen—103
10.2.2.1	Toxiciteit en ontvlambaarheid—103
10.2.2.2	Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels—103
10.2.3	Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties—104
10.2.4	Additionele faaloorzaken—104
10.2.4.1	Runaway reacties—104
10.2.4.2	Externe beschadiging—105
10.2.4.3	Interne domino-effecten—105
10.2.4.4	Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden—106
10.2.4.5	Moedwillige verstoring—106
10.2.5	Boringen—106
10.2.6	Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten—106
10.2.7	Afkapgrens—107
10.2.8	Maatregelen en systeemreacties—108
10.2.9	Nalevering—108
10.2.10	Rapportageplicht—108
10.2.11	Installatieonderdelen, uitstroombesonderheden en uitstroomfrequenties—109
10.3	Gas- en olieputten—110
10.3.1	Definitie—110
10.3.2	Kenmerken—110

10.3.3	Uitstroomscenario's en -frequenties—111
10.3.3.1	Gasputten—112
10.3.3.2	Olieputten—112
10.4	Leidingen—113
10.4.1	Definitie—113
10.4.2	Kenmerken—113
10.4.3	Uitstroomscenario's en -frequenties—113
10.4.3.1	Procesleidingen—113
10.4.3.2	Flexibele leidingen—113
10.4.3.3	Hogedruk gastransportleidingen—114
10.5	Separatoren—115
10.5.1	Definitie—115
10.5.2	Kenmerken—115
10.5.3	Uitstroomscenario's en -frequenties—115
10.5.3.1	Vloeistofvangers—115
10.5.3.2	Slokkenvangers—116
10.5.3.3	Gaswassers (inclusief adsorbers)—117
10.5.3.4	Filterseparatoren—117
10.5.3.5	Centrifugaalseparatoren—118
10.6	Pompen en compressoren—119
10.6.1	Definitie—119
10.6.2	Kenmerken—119
10.6.3	Uitstroomscenario's en -frequenties—119
10.6.3.1	Verdringerpompen—119
10.6.3.2	Centrifugaalpompen—119
10.6.3.3	Verdringercompressoren—120
10.6.3.4	Centrifugaalcompressoren—120
10.6.3.5	Hogedruk centrifugaalcompressoren in gasleidingen—120
10.7	Warmtewisselaars—120
10.7.1	Definitie—120
10.7.2	Kenmerken—120
10.7.3	Uitstroomscenario's en -frequenties—121
10.8	Effectmodellering—121
10.8.1	Uitstroomrichting—121
10.8.2	Afwijkende effectmodellering ten opzichte van Module B—121
10.8.2.1	Maatwerk voor snelsluitende kleppen—122
10.8.2.2	Vervolgeffecten—122
10.8.2.3	Kans op ontsteking—123
10.8.2.4	Aantal jets—123
10.8.2.5	Invloed van inbloksystemen—123
10.8.3	Blowout en lekkage van de put—124
10.9	Invoer van scenario's in SAFETI-NL 6.54—124
10.9.1	Lek van de leiding en 10 mm lek—125
10.9.2	Vrijkomen van de inhoud van een installatie-onderdeel in tien minuten—125
10.9.3	Leidingbreuk en instantaan falen—125
10.9.4	Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen—126
10.9.4.1	Inrichting verbonden met één inkomende leiding en één uitgaande leiding—126
10.9.4.2	Inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande leidingen—130
10.9.4.3	Inrichting verbonden met doorgaande leidingen—132
10.9.4.4	Inrichting met aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen—133

10.9.4.5	Puttenlocatie—134
10.9.5	Ingeblokte installatieonderdelen—135
10.9.6	Blowout van de put tijdens productie of injectie—136
10.9.7	Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden—136
10.9.8	Lekkage vanuit de put—137
10.10	Voorbeeldberekening—138
10.10.1	Te hanteren uitstroombenaderingen en -frequenties—140
10.10.2	Gebruik vereenvoudigde invoermethode—141
10.10.3	Effectmodellering—143
10.10.4	Uitkomsten—144
11	Opslag van vergiftigde gassen in cilinders als bedoeld in artikel 1b, onderdeel h, van de Bevi—149
11.1	Opslag van gassen in cilinders—149
11.1.1	Inleiding rekenmethode gascilinders—149
11.1.1.1	Definitie—149
11.1.1.2	Kenmerken—149
11.2	Opslag van vergiftigde gassen in cilinders—149
11.2.1	Opslag van gascilinders in een opslagvoorziening buiten—149
11.2.1.1	Scenario's—149
11.2.2	Opslag van gascilinders binnen in een gebouw—150
12	Inrichtingen waar meer dan 50 m³ propaan in een insluitsysteem aanwezig is (Bevi, art. 1b, onderdeel d)—151
12.1	Inleiding—151
12.2	Scenario's en faalfrequenties—151
12.2.1	Tankauto—152
12.2.2	Verlading tankauto—152
12.2.3	Reservoir—155
12.2.4	Afleverleiding—155
13	Andere categorieën voor Bevi art 2.1d of 2.1.h—156
14	Bijlage Verantwoording—157
14.1	Hoofdstuk 2 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Subselectie—157
14.2	Hoofdstuk 3 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Scenario's—162
14.3	Hoofdstuk 4 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Maatregelen en systeemreacties—170
14.4	Hoofdstuk 8 Inrichtingen met opslagvoorzieningen voor gevaarlijke stoffen als bedoeld in artikel 2.1, onder f Bevi—176
14.5	Hoofdstuk 11 Inrichtingen waar meer dan 13 m ³ propaan of meer dan 13 m ³ acetyleen in een insluitsysteem aanwezig is—195
14.6	Hoofdstuk 10 Mijnbouwwerken—197
14.7	Opslag van vergiftigde gassen in cilinders—240
14.7.1	Definitie—240
14.7.2	Scenario's—240

Referenties—242

1 Inleiding

In deze module wordt voor de specifieke categorieën van inrichtingen, die vallen onder het Bevi, beschreven op welke wijze een QRA moeten worden uitgevoerd. Bij de opzet van de module is aangesloten bij de aanwijzing van categorieën van inrichtingen die in het Bevi is aangehouden.

In het kader van de unificatie van rekenmethoden is het de bedoeling te komen tot een meer gestandaardiseerde aanpak voor het berekenen van QRA's voor alle categorieën van inrichtingen die in het Bevi zijn aangewezen. Voor drie categorieën van bedrijven is deze unificatie afgerond. Dit betreft Brzo inrichtingen, LPG tankstations en PGS 15 opslagen. In deze module is voor deze categorieën van inrichtingen dan ook uitgebreid beschreven hoe een QRA, met SAFETI-NL, moet worden uitgevoerd.

Voor de overige categorieën van inrichtingen zullen de nieuwe rekenmethoden geleidelijk beschikbaar komen. De beschrijvingen hiervan zullen in module C worden opgenomen. In deze module wordt voor deze overige categorieën van inrichtingen thans volstaan met een verwijzing naar documenten waarin nog informatie voor het berekenen van QRA's is opgenomen. Deze documenten vormen daarmee wel onderdeel van de rekenmethodiek Bevi zoals in het Revi is aangewezen.

Ten aanzien van het gebruik van het rekenpakket SAFETI-NL is sprake van een overgangssituatie. Voor een aantal categorieën van inrichtingen is het gebruik van dit rekenpakket nog niet tot een gedetailleerde beschrijving uitgewerkt en om die reden nog niet verplicht gesteld. Dit zal, gelijktijdig met het beschikbaar komen van de hierboven genoemde nieuwe rekenmethoden, plaatsvinden.

2 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Subselectie

In de hoofdstukken 2 tot en met 4 wordt de rekenmethodiek beschreven die geldt voor Brzo inrichtingen, niet zijnde Brzo inrichtingen die tevens mijnbouwwerk of gastransportinrichting zijn. In de hoofdstukken 5 en verder wordt de rekenmethodiek beschreven voor de andere Bevi-inrichtingen.

2.1 Inleiding

Het aantal insluitsystemen¹ binnen een inrichting waarvoor een QRA moet worden opgesteld kan erg groot zijn. Omdat niet alle insluitsystemen significant bijdragen aan het risico, is het niet zinvol om alle insluitsystemen in de QRA op te nemen. Daarom is een selectiemethode ontwikkeld, de subselectie, om de insluitsystemen aan te wijzen die het meest bijdragen aan het externe risico en dus in de QRA moeten worden opgenomen. Deze methode wordt hieronder toegelicht.

2.2 Doelstelling en reikwijdte

2.2.1 Doelstelling van de subselectie

De doelstelling van de subselectie is als volgt:

De subselectie heeft tot doel de insluitsystemen binnen een inrichting aan te wijzen die bepalend zijn voor het externe risico en dus in de QRA moeten worden meegenomen.

Dit betekent dat de subselectie bedoeld is om onderscheid tussen de insluitsystemen binnen één inrichting te maken, zodat in de QRA niet alle insluitsystemen hoeven te worden meegenomen.

De subselectie is uitdrukkelijk niet bedoeld om op basis van de resultaten van de subselectie te concluderen dat er voor de beschouwde inrichting helemaal geen QRA hoeft te worden uitgevoerd. Alleen wanneer op basis van berekende effectafstanden wordt onderbouwd dat er geen effecten over de terreingrens reiken, is het uitvoeren van een QRA niet nodig.

2.2.2 Reikwijdte van de subselectie

2.2.2.1 Verantwoordelijkheid van de subselectie en afwijkingen

De subselectie heeft een algemeen karakter en dient daarom uitsluitend als leidraad te worden gehanteerd. De insluitsystemen worden geselecteerd na overleg tussen de exploitant en het bevoegd gezag. De exploitant voert de berekeningen uit, maar de subselectie zelf is de verantwoordelijkheid van het

¹ Een insluitsysteem wordt omschreven als een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. Voor de subselectie is bepalend dat een Loss of Containment in één insluitsysteem niet leidt tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen (zie paragraaf 2.3.2).

bevoegd gezag. Deze kan dan ook besluiten insluitsystemen op te laten nemen in de QRA die niet met behulp van de hier beschreven methode zijn geselecteerd.

Ook de uitvoerder van een QRA kan afwijken van de subselectie wanneer hiervoor een sluitende onderbouwing wordt gegeven. Als bijvoorbeeld op basis van berekende effectafstanden aannemelijk kan worden gemaakt dat de effecten van een insluitsysteem niet buiten de terreingrens raken en dus geen bijdrage leveren aan de externe risico's hoeft het insluitsysteem niet te worden meegenomen in de QRA.

2.2.2.2 Reactieproducten en toxische verbrandingsproducten

De subselectie is niet geschikt voor alle typen insluitsystemen binnen een inrichting. Met name de vorming van ongewenste reactieproducten in run-away reacties en de vorming van toxische verbrandingsproducten in een brand van verpakte gevaarlijke stoffen in een opslagloods kunnen niet goed worden meegenomen in de subselectie en moeten daarom, naast de geselecteerde insluitsystemen, in de QRA zelf worden beschouwd.

- *Risico's van reactieproducten en run-away reacties.*
Bij het evalueren van een mogelijk verlies van controle dient rekening te worden gehouden met het ontstaan van gevaarlijke reactieproducten en het optreden van run-away reacties. De insluitsystemen waarin dit kan voorkomen en de kans van optreden moeten worden beschouwd in de QRA (zie hoofdstuk 3). Het ontstaan van onvoorziene, gevaarlijke reactieproducten wordt niet beoordeeld in de subselectie.
- *Opslagen van gevaarlijke stoffen die vallen onder de richtlijn PGS 15.*
Bij PGS 15 opslagplaatsen is het voornaamste risico het ontstaan van toxische verbrandingsproducten tijdens een brand in de betreffende opslag. Omdat de bijdrage van deze opslagen significant kan zijn voor de externe risico's, dienen deze opslagplaatsen altijd te worden meegenomen in de QRA. Een opslagplaats kan weggelaten worden uit de QRA wanneer gevaarlijke stoffen in hoeveelheden kleiner dan 10 ton en bestrijdingsmiddelen in hoeveelheden kleiner dan 400 kg worden opgeslagen. Ook wanneer op basis van berekende effectafstanden of met de standaard risicoafstanden uit de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Revi) [1] kan worden onderbouwd dat de bijdrage van een opslagplaats aan het externe risico van de inrichting verwaarloosbaar is, kan de betreffende opslagplaats worden weggelaten uit de QRA.

2.2.2.3 Bulkverladingsactiviteiten

Door de combinatie van grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen en de (relatief) hoge faalfrequenties voor de verladingsscenario's (zie hoofdstuk 3) kunnen verladingen van bulkhoeveelheden een significante bijdrage aan het externe risico leveren. Daarom dient de bulkverlading (en de transporteenheden) in principe altijd geselecteerd te worden voor de QRA, tenzij aangetoond wordt dat de bijdrage van (een deel van de) bulkverlading verwaarloosbaar is, bijvoorbeeld op basis van effectafstanden of onderlinge vergelijking.

Er zijn situaties waarin een ketelwagen alleen als opslagreservoir wordt gebruikt en een procesinstallatie direct gevoed wordt vanuit de transporteenheid. In een

dergelijk geval moet de ketelwagen voor de subselectie als opslagreservoir worden beschouwd en als zodanig meegenomen worden in de subselectie.

2.2.2.4 Uitsluiting van bepaalde stoffen

De subselectie is alleen toepasbaar voor toxische stoffen, ontvlambare gevaarlijke stoffen en ontplofbare stoffen. Voor deze stoffen zijn grenswaarden opgenomen (zie paragraaf 2.3.4.2.3). Voor de aanwijzing van andere stoffen, zoals de gekoelde opslag van (zeer) grote hoeveelheden stikstof, zuurstof of kooldioxide, is de subselectie niet geschikt. Wanneer deze stoffen aanwezig zijn dienen over de beschouwing ervan met het bevoegd gezag afspraken te worden gemaakt. Op basis hiervan kan bijvoorbeeld besloten worden dat een opslag met een grote hoeveelheid stikstof wordt meegenomen in de QRA.

2.3 De subselectie

2.3.1 De subselectie op hoofdlijnen

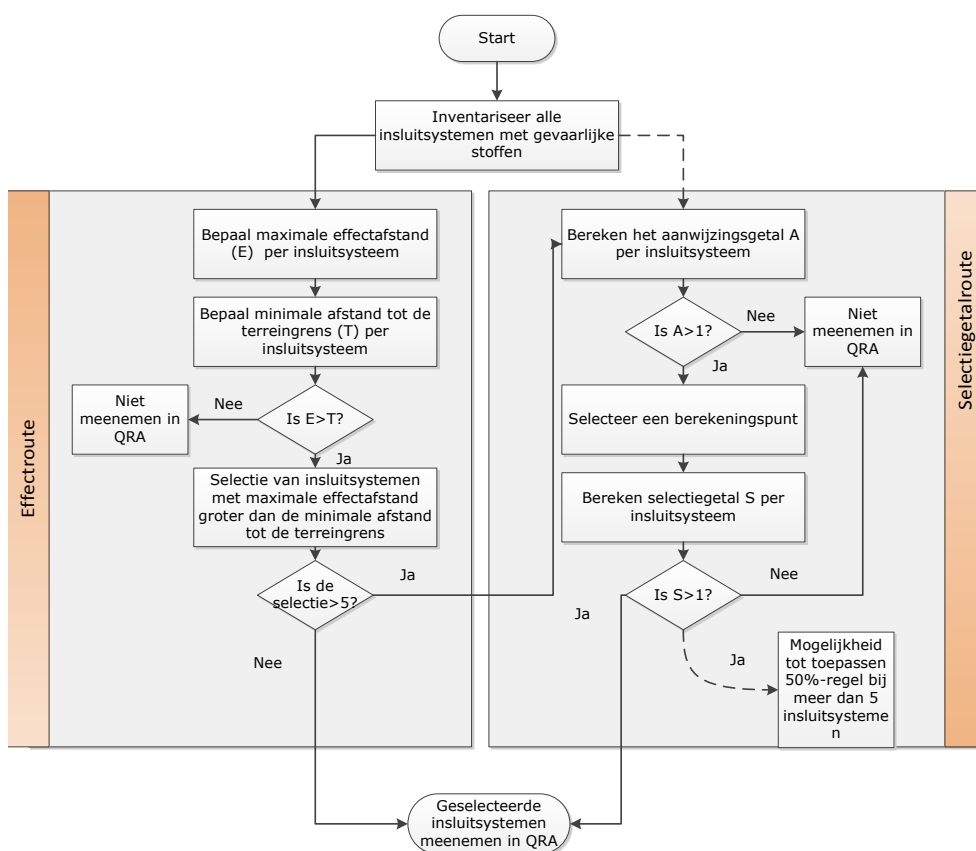
Om in een QRA alle insluitsystemen mee te nemen die significant bijdragen aan het externe risico, worden er verschillende stappen doorlopen. In hoofdlijnen komt de subselectie op het volgende neer:

1. De inrichting wordt verdeeld in insluitsystemen met gevaarlijke stoffen (zie paragraaf 2.3.2).
2. Op basis van effectafstanden vindt een selectie plaats van insluitsystemen waarvan de effecten tot buiten de terreingrens² raken (zie paragraaf 2.3.3). Deze insluitsystemen dragen bij aan de externe risico's en worden meegenomen in de QRA.
3. Wanneer meer dan vijf insluitsystemen via de effectbenadering worden geselecteerd, kan er vervolgens een verdiepingsstap worden gemaakt om het aantal insluitsystemen dat moet worden meegenomen in de QRA te reduceren. Dit vindt plaats op basis van de soort en hoeveelheid stof in een insluitsysteem en de heersende procescondities. Hiervoor wordt per insluitsysteem een aanwijzingsgetal en selectiegetal berekend (zie paragraaf 2.3.4).

Bedrijven met meer dan 5 insluitsystemen kunnen ervoor kiezen stap 2 (de effectbenadering) over te slaan en direct via de aanwijzings- en selectiegetallen de subselectie uit te voeren. Hierbij moeten wel alle insluitsystemen worden beschouwd. Ook kan er voor gekozen worden om alle insluitsystemen met effectafstanden buiten de terreingrens mee te nemen in de QRA, zonder de aanwijzings- en selectiegetallen te berekenen.

In Figuur 1 is de subselectie schematisch weergegeven.

² Op een industrieterrein kunnen meerdere inrichtingen aanwezig zijn die sterk met elkaar verweven zijn. In plaats van de grens van de inrichting kan voor de terreingrens de rand van het industrieterrein worden aangehouden wanneer het risico op het industrieterrein niet in de beoordeling wordt meegenomen. Dit betekent dat er geen (beperkt) kwetsbare objecten op het industrieterrein zijn en er geen personen aanwezig zijn die meegenomen moeten worden in de bepaling van het groepsrisico.



Figuur 1 Schematische weergave van de subselectie. Bedrijven met meer dan vijf insluitsystemen kunnen direct de selectiegetalroute volgen, zoals aangegeven.

2.3.2 Verdeling van een inrichting in insluitsystemen

2.3.2.1 Definitie insluitsysteem

Voor het selecteren van de installaties en installatie-onderdelen binnen een inrichting die van belang zijn voor de externe veiligheid, wordt een inrichting verdeeld in een aantal afzonderlijke insluitsystemen. Deze insluitsystemen kunnen als aparte eenheden worden beschouwd in de QRA.

De definitie van een insluitsysteem is gebaseerd op het volgende criterium:

Een Loss of Containment in één insluitsysteem leidt niet tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen.³

Hierbij moet de term 'significant' gezien worden in relatie tot de hoeveelheid die vrijkomt uit het insluitsysteem waarin de Loss of Containment gebeurt.

³ Domino-effecten, bijvoorbeeld ten gevolge van brand en explosie, worden hierbij niet meegenomen.

2.3.2.2 Begrenzing van insluitsystemen

Voor de praktische invulling van het definiëren van insluitsystemen in een inrichting kan gebruik worden gemaakt van de volgende leidraad⁴.

Een insluitsysteem wordt omschreven als een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. De grenzen van een insluitsysteem worden vastgelegd door de hoeveelheid stof te bepalen die bij Loss of Containment van enig onderdeel van dat insluitsysteem naar de omgeving wegstroomt: als bij de Loss of Containment toestroming plaatsvindt via kleppen, pompen en andere werktuigen vanuit andere ruimten dan behoren die ruimten tot het beschouwde insluitsysteem.

Systeembegrenzers zijn alle organen die gezien hun aard en functie de verbinding met andere insluitsystemen binnen een installatie sluiten bij het vrijkomen van de inhoud van het beoogde insluitsysteem. Zonder uitputtend te zijn worden daaronder begrepen reciprocerende pompen en compressoren (geen roterende), regelkleppen die automatisch sluiten, intermitterende spui kleppen en afsluiters die bij de kenmerkende bedrijfssituatie gesloten zijn of in korte tijd op afstand gesloten worden. Afsluiters die normaal geheel geopend zijn en in de faalsituatie niet dichtsturen kunnen derhalve *niet* als systeembegrenzers worden beschouwd. Beveiligingsafsluiters die de toestroming vanuit andere insluitsystemen (automatisch) in korte tijd blokkeren, worden wel als systeembegrenzers beschouwd, ook wanneer deze beveiligingsafsluiters bij de kenmerkende bedrijfssituatie geheel zijn geopend.

De lijn kan ook worden doorgetrokken naar combinaties van organen die met elkaar hetzelfde doel bereiken. In deze situaties dient door de bevoegde instantie te worden vastgesteld of een dergelijke afsluiter als systeembegrenzer kan worden aangemerkt.

Tabel 1 biedt een overzicht van wat bepalend is voor de begrenzing van een insluitsysteem.

Opmerkingen:

1. Een doorstroombegrenzer blijft open bij een uitstroomdebiet onder de instelwaarde. Wanneer een debiet onder de instelwaarde een significante uitstroming betekent, is de doorstroombegrenzer niet te beschouwen als een systeembegrenzer.
2. Het is mogelijk meerdere insluitsystemen te combineren tot één groter insluitsysteem. Het combineren van insluitsystemen mag er echter niet toe leiden dat andere insluitsystemen ten onrechte niet worden geselecteerd voor de QRA.

⁴ De hier genoemde richtlijnen zijn gebaseerd op een werkinstructie van Shell Nederland

Tabel 1 Kenmerken van insluitsystemen en hun onderdelen

Insluitsysteem
Een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten.
Hulpregel
het insluitsysteem omvat de ruimten die met elkaar zijn verbonden en tot eenzelfde drukniveau behoren (combinatie van ruimten met eigen overdrukbeveiliging).
Systeembegrenzer
een orgaan dat in bedrijfssituaties insluitsystemen van elkaar scheidt door het onderhouden van een drukverschil of door het aanbrengen van een afsluiting, ofwel een orgaan dat, of een combinatie van organen die bij desintegreren van een willekeurige ruimte deze (automatisch) afsluit van andere, in bedrijfssituaties met die ruimte verbonden ruimten.
Voorbeelden van systeembegrenzers
– regelkleppen met een afdichtende functie – verdringingscompressoren (geen roterende), verdringingspompen (reciprocerende) – afsluiters die tijdens bedrijf gesloten zijn – veiligheidskleppen, breekveiligheden, vloeistofsloten – doorstroombegrenzers in combinatie met terugslagkleppen – beveiligingsafsluiters die normaal open staan en in korte tijd automatisch sluiten bij het optreden van een te lage druk stroomopwaarts of stroomafwaarts of vanuit een bemande regelzaal in korte tijd gesloten worden (Motor/Remote Operated Valves)
Voorbeelden van drukhoudende delen
– wanden van toestellen onder druk – klephuizen, meetpotten – veiligheidskleppen – werktuigen die een drukverschil in stand houden tussen het insluitsysteem en de atmosfeer (luchtcompressoren en voedingspompen in combinatie met de nodige terugslagkleppen of beveiligingsafsluiters) – wanden die binnen toestellen insluitsystemen van elkaar scheiden (bijvoorbeeld in warmtewisselaars) – systeembegrenzers die insluitsystemen onder druk van elkaar scheiden

2.3.3 Selectie op basis van effectafstanden

Insluitsystemen die, wanneer een Loss of Containment (LOC) plaatsvindt, kunnen leiden tot een effect⁵ buiten de terreingrens van de inrichting dragen bij aan de externe risico's. Daarnaast geldt natuurlijk dat alle insluitsystemen die niet tot een effect buiten de inrichting kunnen leiden, geen bijdrage leveren aan de externe risico's.

De selectie op basis van effectafstanden bestaat uit de volgende stappen:

1. Bepaal per insluitsysteem de maximale effectafstand (E), dat wil zeggen de grootste afstand tot 1% letaliteit. Deze afstand wordt bepaald voor de meteorologische situaties D5 of F1,5⁶ in combinatie met het ongunstigste scenario, namelijk het instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van het insluitsysteem of het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten. Hiertoe moet bij voorkeur gebruik worden gemaakt van het rekenpakket SAFETI-NL.
2. Bepaal per insluitsysteem de minimale afstand tot de terreingrens (T).

⁵ acute sterfte ten gevolge van blootstelling aan toxische stoffen, warmtestraling of overdruk

⁶ De meteorologische situatie D5 betekent stabiliteitsklasse D en windsnelheid 5 m/s. In het algemeen wordt voor toxische stoffen de grootste effectafstand gevonden voor stabiel weer, dat wil zeggen weerklasse F1,5 (stabiliteitsklasse F en windsnelheid 1,5 m/s).

3. Vergelijk de maximale effectafstand en minimale afstand tot de terreingrens per insluitsysteem. Indien de maximale effectafstand groter is dan de minimale afstand tot de terreingrens is het betreffende insluitsysteem aangewezen voor de QRA. Wanneer de maximale effectafstand kleiner is dan de minimale afstand tot de terreingrens levert het insluitsysteem geen bijdrage aan de externe risico's en hoeft daarom niet te worden meegenomen in de QRA.

Op deze wijze vindt de selectie van de insluitsystemen op basis van effectafstanden plaats. Alle geselecteerde insluitsystemen moeten worden beschouwd in de QRA. Wanneer er meer dan vijf insluitsystemen worden aangewezen kan ervoor gekozen worden de aanwijzings- en selectiegetallen te berekenen om zo het aantal aangewezen insluitsystemen te reduceren, met dien verstande dat minimaal vijf insluitsystemen meegenomen moeten worden in de QRA.

2.3.4 *Selectie op basis van selectiegetallen*

2.3.4.1 Methode op hoofdlijnen

Bij een groot aantal insluitsystemen kan een selectie plaatsvinden op basis van soort en hoeveelheid stof en procescondities. Deze selectiemethode bestaat uit drie stappen:

1. Van elk insluitsysteem wordt het intrinsieke gevaar bepaald, dat voortkomt uit de hoeveelheid aanwezige stof, de procescondities en de gevaarlijke eigenschappen van de stof. Het aanwijzingsgetal A is een maat voor het intrinsieke gevaar en wordt berekend volgens de in paragraaf 2.3.4.2 beschreven procedure.
2. Het gevaar van een insluitsysteem wordt berekend voor een aantal punten in de nabijheid van de inrichting. Het gevaar op een willekeurig punt wordt afgeleid uit het aanwijzingsgetal en de afstand tussen dat punt en het insluitsysteem, en uitgedrukt in een selectiegetal S; dit getal wordt volgens de in paragraaf 2.3.4.3 beschreven procedure berekend.
3. Insluitsystemen worden aangewezen voor een QRA wanneer het selectiegetal een bepaalde waarde overschrijdt. Wanneer het aantal aangewezen insluitsystemen omvangrijk is (groter dan vijf) bestaat de mogelijkheid om via de '50%-regel' het aantal aangewezen systemen te reduceren (zie paragraaf 2.3.4.4).

2.3.4.2 Aanwijzingsgetal A

Het intrinsieke gevaar van een insluitsysteem is afhankelijk van de hoeveelheid stof, de fysische en toxische eigenschappen van de stof en de specifieke procescondities. Als maat hiervoor wordt het aanwijzingsgetal A gebruikt.

Het aanwijzingsgetal A voor een insluitsysteem is een dimensieloos getal waarvoor geldt:

$$A = \frac{Q \times O_1 \times O_2 \times O_3}{G}$$

waarbij:

Q	de in het insluitsysteem aanwezige hoeveelheid stof (kg)
O ₁ , O ₂ , O ₃	de factoren voor de procescondities (-)
G	de grenswaarde (kg).

2.3.4.2.1 Hoeveelheid stof, Q

De hoeveelheid stof, Q, is de totale hoeveelheid stof binnen een insluitsysteem. De volgende regels zijn van toepassing:

- Mengsels en preparaten kunnen in twee groepen worden ingedeeld: (1) een gevaarlijke stof in een niet-gevaarlijke oplossing en (2) een mengsel van gevaarlijke stoffen.
 1. Indien een gevaarlijke stof is opgelost in een niet-gevaarlijke stof, hoeft alleen te worden gekeken naar de hoeveelheid gevaarlijke stof. Voorbeelden zijn ammoniak in water en chloorwaterstof in water. Mengsels en preparaten van toxische stoffen moeten bij het subselectieproces alleen worden beschouwd als ze te boek staan als (zeer) toxisch.
 2. Indien een mengsel van meerdere gevaarlijke stoffen zijn eigen fysische, chemische en toxische eigenschappen heeft, moet het op dezelfde wijze worden behandeld als zuivere stoffen.
- Wanneer gevaarlijke stoffen als kleine verpakkingseenheden op één plaats worden opgeslagen en wanneer het waarschijnlijk is dat er uit een groot aantal verpakkingseenheden tegelijkertijd stoffen zullen vrijkomen, moet de totale hoeveelheid van de opgeslagen stof worden beschouwd.
- Opslagreservoirs kunnen worden gebruikt om verschillende stoffen op verschillende tijdstippen op te slaan. In de subselectie dient gerekend te worden met dezelfde stoffen en stofhoeveelheden als in de QRA. Bepalend voor de QRA berekening is de vergunde situatie. Wanneer grote hoeveelheden van verschillende stoffen worden opgeslagen, wordt gebruik gemaakt van voorbeeldstoffen in de QRA. Gerekend wordt dan met de vergunde stof dan wel de voorbeeldstof van de gevaarlijkste vergunde categorie.

2.3.4.2.2 Procescondities, O₁ – O₃

Drie verschillende factoren worden gehanteerd om de procescondities te verdisconteren:

O ₁	factor voor het type insluitsysteem: proces of opslag
O ₂	factor voor de ligging van het insluitsysteem
O ₃	factor voor de hoeveelheid stof in dampfase na vrijkomen, afhankelijk van de procestemperatuur, het atmosferisch kookpunt, de fasetoestand van de stof en de omgevingstemperatuur.

De factoren voor procescondities gelden alleen voor toxische en ontvlambare stoffen; voor ontplofbare stoffen geldt: O₁ = O₂ = O₃ = 1.

De factor O_1 (zie Tabel 2) staat voor het type insluitsysteem: proces of opslag.

Tabel 2 Factor O_1 voor het type insluitsysteem

Type	O_1
Proces	1
Opslag	0,1

De factor O_2 (zie Tabel 3) staat voor de ligging van het insluitsysteem en de aanwezigheid van voorzieningen die de verspreiding van stoffen in de omgeving tegengaan.

Tabel 3 Factor O_2 voor de ligging van het insluitsysteem

Positie	O_2
Buiten	1
Binnen	0,1
Insluitsysteem gelegen in een tankput, bij een procestemperatuur T_p lager dan het atmosferisch kookpunt T_{kook} plus 5°C: $T_p \leq T_{kook} + 5^\circ\text{C}$	0,1
Insluitsysteem gelegen in een tankput, bij een procestemperatuur T_p hoger dan het atmosferisch kookpunt T_{kook} plus 5°C: $T_p > T_{kook} + 5^\circ\text{C}$	1

Opmerkingen:

1. Voor opslag is de procestemperatuur gelijk aan de opslagtemperatuur.
2. Het verschil tussen buiten- en binnenligging wordt bepaald door de aanwezigheid en effectiviteit van de omhulling. Voor binnen geldt dat de omhulling van het insluitsysteem dient te voorkomen dat stoffen in de omgeving worden verspreid. Dit betekent (a) dat de omhulling bestand moet zijn tegen de fysieke belasting die ontstaat wanneer de inhoud van het insluitsysteem instantaan vrijkomt en (b) dat de omhulling de directe afgifte in de atmosfeer aanzienlijk beperkt. Indien de omhulling de afgifte in de atmosfeer met meer dan een factor 5 reduceert of wanneer de omhulling de vrijgekomen stoffen veilig afvoert, dan spreken we van een binnenligging. Zo niet, dan hebben we te maken met een buiten gelegen insluitsysteem. Dit betekent bijvoorbeeld dat een insluitsysteem met een gevaarlijk gas dat is geplaatst in een gebouw met openingen naar buiten als buiten gelegen moet worden beschouwd.
3. Een tankput moet voorkomen dat vloeistoffen zich vrijelijk in de omgeving verspreiden.
4. Een tweede omhulling die de vloeistof kan bevatten en die alle mogelijke belastingen weerstaat, wordt beschouwd als een tankput: $O_2 = 0,1$. Dit geldt voor dubbel omsloten atmosferische tanks (double containment), volledig omsloten atmosferische tanks (full containment), membraamtanks, ingegraven atmosferische tanks en ingeterpte atmosferische tanks.

De factor O_3 (zie Tabel 4) is een maat voor de hoeveelheid vrijgekomen stof in gasfase.

Tabel 4 Factor O_3 voor de procescondities

Fase	O_3
Stof in gasfase	10
Stof in vloeibare fase	
- verzadigingsdruk bij procestemperatuur van 3 bar of meer	10
- verzadigingsdruk bij procestemperatuur tussen 1 en 3 bar	$X + \Delta$
- verzadigingsdruk bij procestemperatuur van minder dan 1 bar	$P_i + \Delta$
Stof in vaste fase	0,1

Opmerkingen:

1. Voor opslag is de procestemperatuur gelijk aan de opslagtemperatuur.
2. Drukwaarden zijn absoluut.
3. Factor X neemt lineair toe van 1 tot 10 naarmate de verzadigingsdruk bij procestemperatuur P_{sat} stijgt van 1 naar 3 bar. In formulevorm, waar P_{sat} wordt uitgedrukt in bar:

$$X = 4,5 \times P_{sat} - 3,5$$

4. P_i is gelijk aan de partiële dampspanning (in bar) van de stof bij procestemperatuur.
5. Als de stof zich in vloeibare fase bevindt, wordt een hoeveelheid Δ toegevoegd om de extra verdamping als gevolg van de warmtestroom vanuit de omgeving naar de vloeistofplas te verdisconteren. De waarde van Δ (zie Tabel 5) wordt uitsluitend bepaald door het atmosferisch kookpunt T_{kook} .

Tabel 5 Toegevoegde Δ voor de extra verdamping van de vloeistof

	Δ
$-25^\circ\text{C} \leq T_{kook}$	0
$-75^\circ\text{C} \leq T_{kook} < -25^\circ\text{C}$	1
$-125^\circ\text{C} \leq T_{kook} < -75^\circ\text{C}$	2
$T_{kook} < -125^\circ\text{C}$	3

Voor mengsels moet voor het kookpunt het zogenaamde 10% punt aangehouden worden, dat wil zeggen de temperatuur waarbij 10% van het mengsel overgedestilleerd is.

6. Voor gevaarlijke stoffen in niet-gevaarlijke oplossingen geldt de partiële dampspanning van de gevaarlijke stof bij procestemperatuur als de verzadigingsdruk bij procestemperatuur. De factor X neemt lineair toe van 1 tot 10 als de partiële dampspanning van de gevaarlijke stof bij procestemperatuur stijgt van 1 naar 3 bar.

7. De minimum waarde voor de factor O_3 is 0,1 en de maximum waarde is 10.

2.3.4.2.3 Grenswaarde G

De grenswaarde G is een maat voor de gevaarlijke eigenschappen van de stof gebaseerd op zowel de fysische als de toxische/explosieve/ ontvlambare eigenschappen van de stof.

Ontplobbare stoffen⁷

De grenswaarde voor ontplobbare stoffen is de hoeveelheid stof (in kg) met een equivalente hoeveelheid energie van 1000 kg trinitrotolueen (TNT); de explosie-energie van TNT wordt gesteld op 4600 kJ/kg.

Voor ontplobbare stoffen wordt in Nederland in een aantal situaties regelgeving toegepast die op effectafstanden is gebaseerd. Toepassing van de subselectie is in dergelijke gevallen niet zinvol.

Ontvlambare stoffen

De grenswaarde voor ontvlambare stoffen bedraagt 10.000 kg.

Ontvlambare stoffen worden binnen de subselectie gedefinieerd als ontvlambare stoffen van klasse 0, 1 en 2 en stoffen die een procestemperatuur hebben die gelijk is aan of hoger is dan het vlampunt.

Toxische stoffen

De grenswaarde voor toxische stoffen (Tabel 6) wordt bepaald door de letale concentratie LC_{50} (rat, inh., 1u) en de fasetoestand bij 25 °C.

⁷ Onder ontplobbare stoffen worden verstaan:

- a. 1°. stoffen en preparaten die ontplofingsgevaar opleveren door schok, wrijving, vuur of andere ontstekingsoorzaken (waarschuwingzin R2); 2°. pyrotechnische stoffen. Onder een pyrotechnische stof wordt verstaan een stof of een mengsel van stoffen die of dat tot doel heeft warmte, licht, geluid, gas of rook of een combinatie van dergelijke verschijnselen te produceren door middel van niet-ontploffende, zichzelf onderhoudende exotherme chemische reacties; 3°. ontplobbare of pyrotechnische stoffen en preparaten die in voorwerpen zijn vervat;
- b. stoffen en preparaten die ernstig ontplofingsgevaar opleveren door schok, wrijving, vuur of andere ontstekingsoorzaken (waarschuwingzin R3).

Tabel 6 Grenswaarde G voor toxische stoffen

LC ₅₀ (rat, inh., 1u) (mg/m ³)	Fase bij 25°C	Grenswaarde (kg)
LC ≤ 100	gas	3
	vloeibaar (ZL)	3
	vloeibaar (L)	10
	vloeibaar (M)	30
	vloeibaar (H)	100
	vloeibaar (ZH)	300
	vast	300
100 < LC ≤ 500	gas	30
	vloeibaar (ZL)	30
	vloeibaar (L)	100
	vloeibaar (M)	300
	vloeibaar (H)	1000
	vloeibaar (ZH)	3000
	Vast	3000
500 < LC ≤ 2000	gas	300
	vloeibaar (ZL)	300
	vloeibaar (L)	1000
	vloeibaar (M)	3000
	vloeibaar (H)	10.000
	vloeibaar (ZH)	∞
	vast	∞
2000 < LC ≤ 20.000	gas	3000
	vloeibaar (ZL)	3000
	vloeibaar (L)	10.000
	vloeibaar (M)	∞
	vloeibaar (H)	∞
	vloeibaar (ZH)	∞
	vast	∞
LC > 20.000	alle fasen	∞

Opmerkingen:

- De fasetoestand van de stof (gas, vloeibaar en vast) veronderstelt een temperatuur van 25°C. Verder geldt voor vloeistoffen de volgende onderverdeling:
 - Vloeistof (ZL): atmosferisch kookpunt $T_{\text{kook}} < 40^{\circ}\text{C}$
 - Vloeistof (L): $40^{\circ}\text{C} \leq$ atmosferisch kookpunt $T_{\text{kook}} < 80^{\circ}\text{C}$
 - Vloeistof (M): $80^{\circ}\text{C} \leq$ atmosferisch kookpunt $T_{\text{kook}} < 120^{\circ}\text{C}$
 - Vloeistof (H): $120^{\circ}\text{C} \leq$ atmosferisch kookpunt $T_{\text{kook}} < 160^{\circ}\text{C}$
 - Vloeistof (ZH): $160^{\circ}\text{C} \leq$ atmosferisch kookpunt T_{kook}
- LC₅₀(rat, inh., 1u) is de LC₅₀-waarde voor ratten die gedurende 1 uur via inhalatie worden blootgesteld aan stoffen. Voor een aantal toxische stoffen is deze waarde te vinden in de stofdocumenten [2]. Wanneer daar geen LC₅₀ waarde beschikbaar is, geeft de lijst toxiciteitsgegevens uit Serida

LC₅₀ waarden [3]. Wanneer ook dan geen waarde beschikbaar is kan deze met behulp van de rekenregels in PGS 1 [4] worden bepaald.

2.3.4.2.4 Berekening van het aanwijzingsgetal

Het aanwijzingsgetal A_i voor een stof i wordt als volgt berekend:

$$A_i = \frac{Q_i \times O_1 \times O_2 \times O_3}{G_i}$$

waarbij:

Q_i	=	de in het insluitsysteem aanwezige hoeveelheid stof i (in kg)
O_1	=	de factor voor het type insluitsysteem (proces of opslag) (-)
O_2	=	de factor voor de ligging van het insluitsysteem: binnen, met tankput of buiten (-)
O_3	=	de factor voor de procescondities (-)
G_i	=	de grenswaarde van stof i (in kg).

Voor ontplofbare stoffen geldt: $O_1 = O_2 = O_3 = 1$ en dus: $A = Q / G$.

Binnen één insluitsysteem kunnen meerdere stoffen en procescondities aanwezig zijn. In dat geval wordt voor iedere stof i en voor iedere procesconditie p een aanwijzingsgetal $A_{i,p}$ berekend.

Het aanwijzingsgetal A voor een insluitsysteem is de som van alle aanwijzingsgetallen over alle stoffen i en procescondities p : $\sum_{i,p} A_{i,p}$. Deze som wordt apart berekend voor ieder van de drie verschillende stofcategorieën: ontvlambare stoffen (A^F), toxische stoffen (A^T) en ontplofbare stoffen (A^E):

A^T	=	$\sum_{i,p} A_{i,p}$, som van alle toxische stoffen en procescondities
A^F	=	$\sum_{i,p} A_{i,p}$, som van alle ontvlambare stoffen en procescondities
A^E	=	$\sum_{i,p} A_{i,p}$, som van alle ontplofbare stoffen en procescondities

Een insluitsysteem kan dus maximaal drie verschillende aanwijzingsgetallen krijgen.

Opmerking:

- Indien een stof tot meerdere stofcategorieën behoort, wordt voor iedere categorie apart een aanwijzingsgetal berekend. Dus als een stof zowel toxisch als ontvlambaar is, worden er twee aanwijzingsgetallen $A_{i,p}$ berekend:
 - $A^T_{i,p}$ voor de stof als toxische stof, waarbij gebruik wordt gemaakt van de totale hoeveelheid Q_i , en de grenswaarde G^T_i , corresponderend met de toxische eigenschappen.
 - $A^F_{i,p}$ voor de stof als ontvlambaar stof, waarbij gebruik wordt gemaakt van de totale hoeveelheid Q_i , en de corresponderende grenswaarde voor ontvlambare stoffen, G^F_i .

Voor de toekenning van een stof aan een stofcategorie moet worden aangesloten bij de QRA berekening. Dit betekent dat bijvoorbeeld allylchloride, ammoniak, koolmonoxide en tetra-ethyllood in de subselectie als alleen toxisch worden ingedeeld en acroleïne, acrylnitril, allylalcohol, cyaanwaterstof en ethyleenoxide als zowel toxisch als ontvlambaar worden ingedeeld.

2.3.4.3 Berekening van het selectiegetal S

Het selectiegetal S is een maat voor het gevaar van een insluitsysteem op een specifieke locatie en wordt berekend door het aanwijzingsgetal A van een insluitsysteem te vermenigvuldigen met een factor $(100/L)^2$ voor toxische stoffen en een factor $(100/L)^3$ voor ontvlambare of ontplofbare stoffen:

$$S^T = \left(\frac{100}{L}\right)^2 A^T \quad \text{voor toxische stoffen}$$

$$S^F = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^F \quad \text{voor ontvlambare stoffen}$$

$$S^E = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^E \quad \text{voor ontplofbare stoffen}$$

L is de afstand van het insluitsysteem naar de specifieke locatie in meters en is minimaal 100 m.

Het selectiegetal moet voor iedere insluitsysteem worden berekend op ten minste acht punten op de terreingrens. De afstand tussen twee naast elkaar gelegen punten mag niet groter zijn dan 50 meter. Het selectiegetal moet worden berekend voor de terreingrens van de inrichting zelf (zie voetnoot 2). Indien de inrichting grenst aan oppervlaktewater, dan wordt het selectiegetal berekend aan de overzijde van het water.

Opmerking

1. De selectie van insluitsystemen vindt plaats op de grens van de inrichting en aan de overzijde van het water. De selectie is bedoeld om de belangrijkste insluitsystemen voor de externe veiligheid te bepalen, dat wil zeggen buiten de terreingrens en op het land aan de overzijde van het water. Dit betekent dat de risicocontouren geen betrouwbaar beeld geven van het risico binnen de terreingrens en op het water.

2.3.4.4 Selectie van insluitsystemen

Een insluitsysteem wordt opgenomen in een QRA indien:

- het selectiegetal van een insluitsysteem groter is dan één op een punt op de terreingrens van de inrichting (of op de tegenover de inrichting gelegen oever).

Wanneer voor een inrichting het aantal geselecteerde insluitsystemen via de bovenstaande selectie kleiner is dan vijf, moeten de vijf insluitsystemen met de grootste selectiegetallen meegenomen worden in de QRA. Wanneer het aantal geselecteerde insluitsystemen via de bovenstaande selectie groter is dan vijf, dan is het mogelijk om via de '50%-regel' het aantal insluitsystemen dat moet worden meegenomen in de QRA te reduceren. De 50%-regel is als volgt:

- Een insluitsysteem wordt opgenomen in een QRA indien het selectiegetal van een insluitsysteem groter is dan één op een punt op de terreingrens van de inrichting (of op de tegenover de inrichting gelegen oever) en

groter is dan 50% van het grootste berekende selectiegetal van alle insluitsystemen op dit punt.

Bij toepassing van deze 50%-regel gelden de volgende regels:

1. Voor elk punt op de terreingrens worden ten minste drie⁸ insluitsystemen met een selectiegetal groter dan één geselecteerd.
2. De toepassing van de 50%-regel moet inzichtelijk worden gemaakt door per punt op de terreingrens aan te geven welke insluitsystemen worden geselecteerd en welke insluitsystemen met een selectiegetal groter dan één niet worden geselecteerd.
3. Insluitsystemen met een verwaarloosbaar kleine faalfrequentie (kleiner dan 1×10^{-8} per jaar) moeten buiten beschouwing worden gelaten bij de toepassing van de 50%-regel. Hetzelfde geldt voor insluitsystemen met voor de externe veiligheid verwaarloosbare effecten als gevolg van aanwezige voorzieningen.
4. Er worden voor een inrichting minimaal vijf insluitsystemen geselecteerd voor de QRA.

Opmerkingen:

1. Effectafstanden van toxische stoffen kunnen aanzienlijk groter zijn dan de effectafstanden van ontvlambare stoffen. Het kan daarom voorkomen dat op de terreingrens het risico bepaald wordt door de ontvlambare stoffen, terwijl op grotere afstand van de inrichting ook de toxische stoffen een aanzienlijke bijdrage aan het risico geven. Indien met de beschreven methode alleen insluitsystemen met ontvlambare stoffen worden geselecteerd, terwijl ook toxische stoffen aanwezig zijn met een selectiegetal in dezelfde orde van grootte als het maximum berekende (ontvlambare) selectiegetal, dan moet ook het insluitsysteem met toxische stoffen in de QRA worden opgenomen.
2. Wanneer binnen een inrichting alle selectiegetallen kleiner zijn dan 1, mag niet worden geconcludeerd dat er helemaal geen QRA hoeft worden uitgevoerd (zie paragraaf 2.3.5.2).
3. Het is mogelijk minder dan vijf insluitsystemen mee te nemen in een QRA, wanneer voor de andere insluitsystemen op basis van effectberekeningen is aangetoond dat de effecten niet buiten de inrichting reiken.

2.3.5 Specifieke aandachtspunten voor de toepassing van de subselectie

2.3.5.1 Transportleidingen

Transportleidingen binnen de inrichting kunnen in belangrijke mate bijdragen aan het risico van de inrichting omdat ze nabij de terreingrens van een inrichting kunnen liggen, een relatief hoge faalkans hebben en grote hoeveelheden gevaarlijke stof kunnen vrijkomen door de eigen inhoud en de voeding vanuit het reservoir.

⁸ Wanneer er op een bepaald punt op de terreingrens slechts één of twee insluitsystemen zijn met een selectiegetal groter dan één, dan worden alleen die insluitsystemen geselecteerd voor dat punt.

Transportleidingen met vloeistoffen

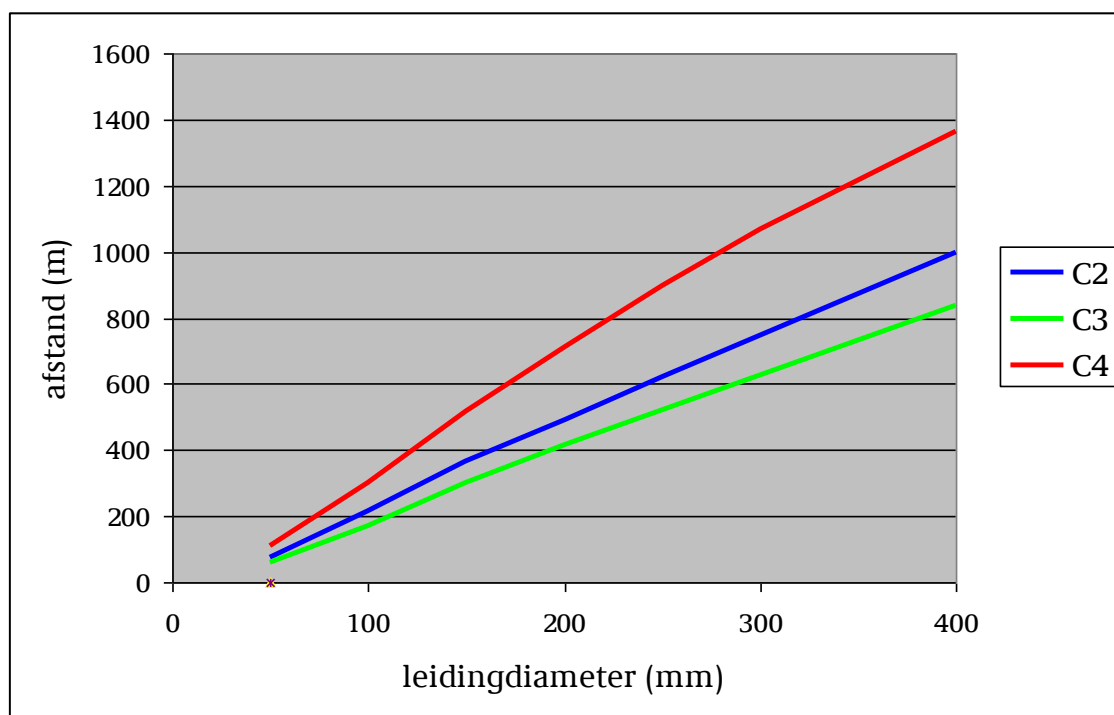
Transportleidingen met vloeistoffen kunnen in de subselectie meegenomen worden. De aanwezige hoeveelheid is gelijk aan de hoeveelheid in de ingeblokte leiding met een minimum van 250⁹ meter. De factoren O_1 – O_3 zijn van toepassing. Een transportleiding binnen de inrichting moet worden beschouwd als een proceseenheid, $O_1 = 1$. De factoren O_2 en O_3 zijn vermeld in Tabel 3 en Tabel 4. Een ondergrondse transportleiding binnen de inrichting geldt als binnen ($O_2 = 0,1$).

Bij het berekenen van het selectiegetal worden verschillende ontsnappingspunten op de transportleiding gebruikt als locatie van de totaal aanwezige hoeveelheid stof, waarbij de afstand tussen twee naast elkaar gelegen punten maximaal 50 meter is.

Een transportleiding binnen de inrichting die wordt geselecteerd op basis van het selectiegetal van een of meer ontsnappingspunten, dient in haar geheel te worden opgenomen in de QRA.

Transportleidingen met (tot vloeistof verdichte) gassen

Transportleidingen met toxische (tot vloeistof verdichte) gassen moeten standaard in de QRA worden opgenomen, tenzij wordt aangetoond dat de leiding niet significant bijdraagt aan het risico, bijvoorbeeld op basis van effectafstanden. Voor transportleidingen met ontvlambare (tot vloeistof verdichte) gassen zijn effectafstanden opgenomen in Figuur 2.



Figuur 2 Effectafstand van leidingen met ontvlambare koolwaterstoffen van het type C2, C3 en C4

⁹ Deze waarde is gebaseerd op een stroomsnelheid van 2 m/s en een sluittijd van 120 s voor de inblokafsluiters. Wanneer de sluittijd aanzienlijk langer is, moet uitgegaan worden van de uitstroomhoeveelheid op basis van de stroomsnelheid en de sluittijd plus de inhoud van de leiding.

2.3.5.2 Gebruik van resultaten uit de subselectie

De subselectie van de insluitsystemen is bedoeld om tussen insluitsystemen onderscheid te maken gebaseerd op effectafstanden (buiten of binnen de terreingrens) en/of selectiegetallen (groter of kleiner dan 1). Hieronder wordt ingegaan hoe met de resultaten moet worden omgegaan als er geen onderscheid uit de subselectie naar voren komt.

- Alle effectafstanden liggen binnen de terreingrens van de inrichting.
Wanneer uit de vaststelling van de maximale effectafstanden per insluitsysteem naar voren komt, dat bij geen enkel insluitsysteem de effecten over de terreingrens liggen, dan is de conclusie dat geen van de insluitsystemen een bijdrage levert aan het externe risico. Als dat zo is hoeft er voor de betreffende inrichting geen QRA te worden uitgevoerd.
- Alle aanwijzingsgetallen en selectiegetallen zijn kleiner dan of gelijk aan 1.
Wanneer uit de berekening van de aanwijzingsgetallen en de selectiegetallen blijkt dat voor alle insluitsystemen de berekende getallen kleiner zijn dan of gelijk aan 1, dan mag niet de conclusie worden getrokken dat een QRA niet hoeft te worden uitgevoerd. Dit mag alleen als de effectafstanden binnen de terreingrens liggen. De resultaten van de subselectie kunnen in dit geval wel worden gebruikt om de vijf belangrijkste insluitsystemen aan te wijzen voor het doen van de effectberekeningen dan wel voor de QRA.

2.4 Voorbeeld

Dit voorbeeld laat voor een inrichting met vijf insluitsystemen zien hoe de aanwijzingsgetallen en selectiegetallen berekend moeten worden. Omdat er minimaal vijf insluitsystemen meegenomen moeten worden voor een inrichting, is er geen selectie uitgevoerd.

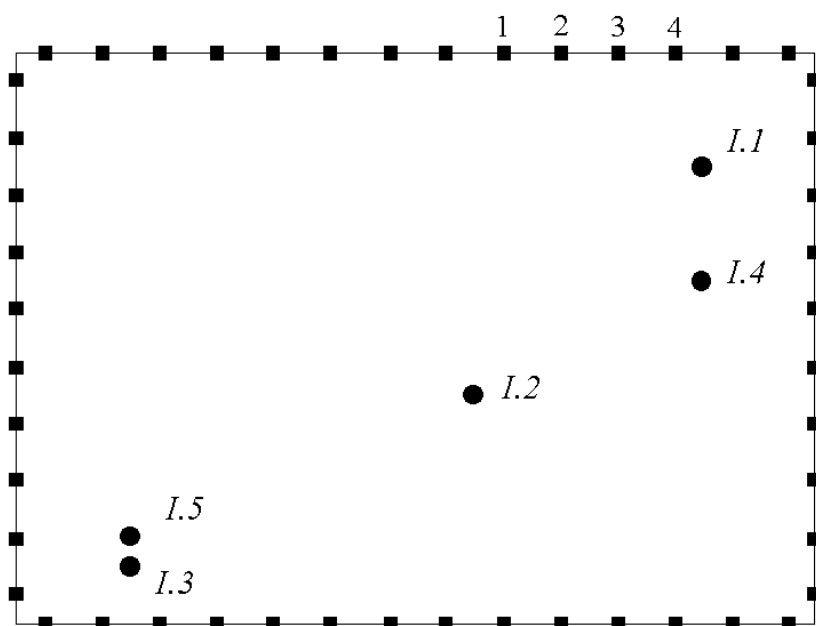
2.4.1 *Beschrijving van de inrichting en de insluitsystemen*

Een inrichting omvat vijf afzonderlijke insluitsystemen; het terrein is rechthoekig tussen het punt linksonder (–400 m, –200 m) en het punt rechtsboven (+300 m, +300 m). De insluitsystemen I_1 – I_5 zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Insluitsystemen I1 – I5 op het terrein

Nr	Punt	Proces
I ₁	(200, 200)	Proceseenheid binnen, met 2100 kg zuiver chloor bij een procestemperatuur van 35°C (dampspanning 10 bar)
I ₂	(0, 0)	Proceseenheid buiten. Het insluitsysteem bevat verscheidene ontvlambare stoffen bij verschillende procescondities:
		Ethyleen 200.000 kg, vloeibaar bij –30°C (dampspanning 20 bar) Ethaan 100.000 kg, gas bij 80°C Butaan 10.000 kg, gas bij 30°C Propyleen 10.000 kg, vloeibaar bij –35°C (dampspanning 1,75 bar) Propaan 50.000 kg, vloeibaar bij 80°C (dampspanning 31 bar)
I ₃	(–300, –150)	Opslag voor zuiver chloorwaterstof. De opslag ligt buiten en bevat 4500 kg bij een temperatuur van 25°C (dampspanning 47 bar).
I ₄	(200, 100)	Proceseenheid binnen, waar 10.000 kg van een 30% zoutzuuroplossing in water bij een temperatuur van 100°C wordt verwerkt (vloeibaar, partiële dampspanning chloorwaterstof $P_i = 1,1$ bar).
I ₅	(–300, –125)	Een buiten gelegen proceseenheid met zuiver ammoniak (gas, 12.000 kg), een 60% ammoniakoplossing in water (9000 kg oplossing bij 43°C, met een partiële dampspanning $P_i = 9,4$ bar). In het insluitsysteem wordt benzine gebruikt (1000 kg) bij een temperatuur van 150°C.

De ligging van de insluitsystemen en de terreingrens zijn gegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Ligging van de insluitsystemen (I1 – I5) op het terrein van de inrichting en de punten op de grens van de inrichting (weergegeven door vierkantjes) waar de selectiegetallen zijn berekend. De locaties 1, 2, 3, ... corresponderen met de punten in Tabel 11.

2.4.2 Berekening van het aanwijzingsgetal

2.4.2.1 Insluitsysteem I_1

Insluitsysteem I_1 is een proceseenheid ($O_1 = 1$) in een gebouw ($O_2 = 0,1$). Eén stof, chloor, is aanwezig in een hoeveelheid $Q = 2100$ kg. De dampspanning van chloor is groter dan 3 bar ($O_3 = 10$). Chloor is een toxische stof; in gasfase bij 25°C; $LC_{50}(\text{rat, inh., 1u}) = 866 \text{ mg/m}^3$ [3]. De grenswaarde is $G = 300$ kg, zodat $A^T_1 = 7$.

2.4.2.2 Insluitsysteem I_2

Insluitsysteem I_2 is een procesinsluitsysteem ($O_1 = 1$) buiten het gebouw ($O_2 = 1$). Er zijn vijf verschillende combinaties van stoffen en procescondities, zoals te zien is in Tabel 8.

Tabel 8 Combinaties van stoffen en procescondities bij Insluitsysteem I_2

Stof	Q	O_3	G	A^F	Opm.
Ethyleen	200.000 kg	10	10.000 kg	200	1
Ethaan	100.000 kg	10	10.000 kg	100	2
Butaan	10.000 kg	10	10.000 kg	10	3
Propyleen	10.000 kg	5,4	10.000 kg	5,4	4
Propaan	50.000 kg	10	10.000 kg	50	5

Opmerkingen:

1. Ethyleen is een ontvlambare stof met een dampspanning groter dan 3 bar onder de procescondities.
2. Ethaan is een ontvlambare stof in gasfase onder de procescondities.
3. Butaan is een ontvlambare stof in gasfase onder de procescondities.
4. Propyleen is een ontvlambare stof met een dampspanning P_i van 1,75 bar bij de procestemperatuur $T_p = -35^\circ\text{C}$. Dus $X = 4,5 \times 1,75 - 3,5 = 4,4$. Het kookpunt T_{kook} is gelijk aan -48°C . Dus $\Delta = 1$ en $O_3 = 5,4$.
5. Propan is een ontvlambare stof met een dampspanning groter dan 3 bar onder de procescondities.

2.4.2.3 Insluitsysteem I_3

Insluitsysteem I_3 is bestemd voor opslag ($O_1 = 0,1$) en ligt buiten ($O_2 = 1$). De aanwezige hoeveelheid chloorwaterstof (Q) bedraagt 4500 kg. De dampspanning van chloorwaterstof is 47 bar ($O_3 = 10$). Chloorwaterstof is een toxische stof, in gasfase bij 25°C; $LC_{50}(\text{rat, inh., 1u}) = 4746 \text{ mg/m}^3$ [3] zodat de grenswaarde $G = 3000$ kg en $A^T_3 = 1,5$.

2.4.2.4 Insluitsysteem I_4

Zoutzuur (30%) is geclassificeerd als bijtend, en niet als toxisch. Daarom wordt deze oplossing niet meegenomen in de subselectie en in de QRA.

2.4.2.5 Insluitsysteem I₅

Insluitsysteem I₅ is een procesinsluitsysteem ($O_1 = 1$) en ligt buiten ($O_2 = 1$). Drie combinaties van stoffen en procescondities zijn aanwezig. Omdat ammoniak in een QRA alleen als toxisch wordt meegenomen, is alleen het toxische aanwijzingsgetal van belang. De combinaties van stoffen en procescondities zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Combinaties van stoffen en procescondities bij Insluitsysteem I₅

Stof	Q	O ₃	G	A ^F	A ^T	Opm.
Ammoniak, zuiver	12.000 kg	10	3.000 kg		40	1
Ammoniak, oplossing	5400 kg	10	3.000 kg		18	2
Benzine	1000 kg	10	10.000 kg	1		3

Opmerkingen:

1. Ammoniak is onder de procescondities een gas. De grenswaarde voor deze toxische stof bedraagt 3000 kg omdat ammoniak een gas is bij 25°C; $LC_{50}(\text{rat, inh., 1u}) = 6000 \text{ mg m}^{-3}$ [3].
2. De hoeveelheid ammoniak, Q, in de oplossing bedraagt 60% van 9000 kg = 5400 kg. Aangezien de partiële dampspanning groter is dan 3 bar, is $O_3 = 10$.
3. Benzine is een ontvlambare stof. De procestemperatuur is hoger dan het 10%-punt. De dampspanning bij 150°C moet worden bepaald. In het voorbeeld nemen we aan dat het groter dan 3 bar is, zodat $O_3 = 10$.

2.4.2.6 Overzicht aanwijzingsgetallen

Een overzicht van de aanwijzingsgetallen is opgenomen in Tabel 10.

Tabel 10 Aanwijzingsgetallen van de insluitsystemen

Inst	Stof	Type	O ₁	O ₂	O ₃	Q	G	A _i
I ₁	Chloor	T	1	0,1	10	2100 kg	300 kg	7
I ₂	Ethyleen	F	1	1	10	200.000 kg	10.000 kg	200
	Ethaan	F	1	1	10	100.000 kg	10.000 kg	100
	Butaan	F	1	1	10	10.000 kg	10.000 kg	10
	Propyleen	F	1	1	5,4	10.000 kg	10.000 kg	5,4
	Propan	F	1	1	10	50.000 kg	10.000 kg	50
I ₃	HCl	T	0,1	1	1	45.000 kg	3000 kg	1,5
I ₄	30%-HCl	-	-	-	-	-	-	-
I ₅	Ammoniak (g)	T	1	1	10	12.000 kg	3000 kg	40
	Ammoniak (v)	T	1	1	10	5400 kg	3000 kg	18
	Benzine	F	1	1	10	1000 kg	10.000 kg	1

De aanwijzingsgetallen voor de verschillende insluitsystemen zijn:

insluitsysteem I ₁	A ^T = 7
insluitsysteem I ₂	A ^F = 365
insluitsysteem I ₃	A ^T = 1,5
insluitsysteem I ₅	A ^T = 58, A ^F = 1

2.4.3 *Berekening van het selectiegetal*

Het selectiegetal moet worden berekend voor punten op de terreingrens. In dit geval zijn 48 punten op de terreingrens geselecteerd, met een onderlinge afstand van 50 meter (zie Figuur 3). Het selectiegetal is berekend voor de afstand van ieder punt tot het insluitsysteem (minimaal 100 meter). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 11

De insluitsystemen die per locatie geselecteerd worden zijn **vet** aangegeven. Omdat het minimum aantal insluitsystemen voor de QRA gelijk is aan vijf moeten in de QRA alle vier insluitsystemen met gevaarlijke stoffen meegenomen worden, tenzij op basis van effectberekeningen nog aangetoond wordt dat de effecten niet buiten de inrichting komen.

Tabel 11 Selectiegetallen bij de geselecteerde punten

nr	X (m)	Y (m)	S ₁ A ₁ ^T = 7	S ₂ A ₂ ^F = 365	S ₃ A ₃ ^T = 1,5	S ₅ A ₅ ^T = 58
1	25	300	1,7	13,4	0,0	2,0
2	75	300	2,7	12,3	0,0	1,8
3	125	300	4,5	10,6	0,0	1,6
4	175	300	6,6	8,7	0,0	1,4
5	225	300	6,6	6,9	0,0	1,3
6	275	300	4,5	5,4	0,0	1,1
7	300	275	4,5	5,4	0,0	1,1
8	300	225	6,6	6,9	0,0	1,2
9	300	175	6,6	8,7	0,0	1,3
10	300	125	4,5	10,6	0,0	1,4
11	300	75	2,7	12,3	0,0	1,5
12	300	25	1,7	13,4	0,0	1,5
13	300	-25	1,2	13,4	0,0	1,6
14	300	-75	0,8	12,3	0,0	1,6
15	300	-125	0,6	10,6	0,0	1,6
16	300	-175	0,5	8,7	0,0	1,6
17	275	-200	0,4	9,3	0,0	1,7
18	225	-200	0,4	13,4	0,1	2,1
19	175	-200	0,4	19,4	0,1	2,5
20	125	-200	0,4	27,8	0,1	3,1
21	75	-200	0,4	37,5	0,1	4,0
22	25	-200	0,4	44,6	0,1	5,2
23	-25	-200	0,3	44,6	0,2	7,1
24	-75	-200	0,3	37,5	0,3	10,3
25	-125	-200	0,3	27,8	0,5	16,0
26	-175	-200	0,2	19,4	0,8	27,3
27	-225	-200	0,2	13,4	1,5	51,6
28	-275	-200	0,2	9,3	1,5	58,0
29	-325	-200	0,2	6,6	1,5	58,0
30	-375	-200	0,1	4,8	1,5	51,6
31	-400	-175	0,1	4,4	1,4	46,4
32	-400	-125	0,2	5,0	1,4	58,0
33	-400	-75	0,2	5,4	1,0	46,4
34	-400	-25	0,2	5,7	0,6	29,0
35	-400	25	0,2	5,7	0,4	17,8
36	-400	75	0,2	5,4	0,2	11,6
37	-400	125	0,2	5,0	0,2	8,0
38	-400	175	0,2	4,4	0,1	5,8
39	-400	225	0,2	3,8	0,1	4,4
40	-400	275	0,2	3,2	0,1	3,4
41	-375	300	0,2	3,3	0,1	3,1
42	-325	300	0,2	4,2	0,1	3,2
43	-275	300	0,3	5,4	0,1	3,2
44	-225	300	0,4	6,9	0,1	3,1
45	-175	300	0,5	8,7	0,1	3,0
46	-125	300	0,6	10,6	0,1	2,7
47	-75	300	0,8	12,3	0,1	2,5
48	-25	300	1,2	13,4	0,1	2,3

3 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Scenario's

In de hoofdstukken 2 tot en met 4 wordt de rekenmethodiek beschreven die geldt voor Brzo inrichtingen, niet zijnde Brzo inrichtingen die tevens mijnbouwwerk of gastransportinrichting zijn. In de hoofdstukken 5 en verder wordt de rekenmethodiek beschreven voor de andere Bevi-inrichtingen.

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de scenario's en standaard faalfrequenties beschreven voor de verschillende onderdelen van een insluitsysteem. Voor elk onderdeel wordt een definitie gegeven, gevolgd door een beschrijving en de scenario's. Daarnaast beschrijft dit hoofdstuk een aantal algemene uitgangspunten voor de modellering.

3.2 Uitgangspunten

Uitgangspunt voor de toepassing van de standaard faalfrequenties in een QRA is dat het bedrijf voldoet aan de standaarden voor een goede bedrijfsvoering. Dit betekent onder andere dat het veiligheidsbeheersysteem (VBS) voldoet aan de eisen en er voldoende maatregelen zijn genomen tegen alle voorziene faalmechanismen.

3.2.1 *Run-away reacties*

In een QRA moet rekening worden gehouden met de effecten van run-away reacties, zoals explosies en de vorming en het vrijkomen van gevaarlijke reactieproducten. Onder run-away reacties worden o.a. verstaan: ongecontroleerde reacties van verschillende stoffen, polymerisatie en (explosieve) ontleding.

Het optreden van run-away reacties is niet opgenomen in de standaard faalfrequenties. Dit betekent dat in principe aanvullende scenario's moeten worden opgenomen in de QRA voor het optreden van een run-away reactie. Hiertoe moet een inschatting gemaakt worden van zowel de kans van optreden van het scenario als de effecten, zoals de hoeveelheid gevormde gevaarlijke stoffen.

Aanvullende scenario's voor run-away reacties hoeven niet te worden opgenomen in de QRA wanneer voldaan wordt aan ten minste één van de volgende voorwaarden.

- Er zijn geen run-away reacties bekend voor de stoffen en de processen.
- Er zijn wel run-away reacties bekend, maar mogelijke letale effecten komen niet buiten de inrichting.
- Er zijn wel run-away reacties bekend, maar het bedrijf heeft voldoende procedurele en technische maatregelen genomen om het ontstaan van run-away reacties te voorkomen. Dit betekent onder andere het gebruik van bekende technieken als HAZOP en het toepassen van goede procedures en/of beveiligingen met voldoende betrouwbaarheid.

Het voorkomen van ongevallen staat voorop. Wanneer bijvoorbeeld bekend is dat run-away reacties kunnen optreden, dient de oplossing gezocht te worden in het nemen van voldoende preventieve maatregelen, zodat gerekend kan worden met de standaard faalfrequentie, in plaats van het toevoegen van een extra scenario in de QRA.

3.2.2 Externe beschadiging en domino-effecten

Het optreden van externe beschadiging en (interne) domino-effecten is niet opgenomen in de standaard faalfrequenties op een inrichting.

Externe beschadiging betreft het optreden van een Loss of Containment ten gevolge van bijvoorbeeld een botsing met een voertuig of kraan. Op een inrichting moeten voldoende maatregelen zijn genomen om uitstroming ten gevolge van externe beschadiging te voorkomen, zoals aanrijbeveiligingen en snelheidslimieten, zodat geen aanvullende scenario's moeten worden opgenomen in de QRA. Aandachtspunten zijn een spoorwegemplacement als onderdeel van een inrichting en externe beschadiging door oorzaken van buiten de inrichting.

- Een Loss of Containment ten gevolge van een botsing van een ketelwagen met gevaarlijke stoffen op een spoorwegemplacement moet meegenomen worden in de QRA. Hoofdstuk 6 beschrijft de scenario's en de berekening van de faalfrequenties. Het betreft dan spoorwegemplacements met een publieke functie, dat wil zeggen een emplacement waar (meerdere) vervoerders toegang toe hebben. Wanneer een emplacement op een inrichting ligt en alleen via een raccordementslijn toegankelijk is, worden de emplacementscenario's niet meegenomen, maar alleen de scenario's voor intrinsiek falen (zie 3.14.3.2).
- Een Loss of Containment kan ook optreden ten gevolge van oorzaken van buiten de inrichting. Een voorbeeld hiervan is een bedrijf dat gelegen is onder de aanvliegroute van een vliegveld. De kans op een Loss of Containment ten gevolge van een neerstortend vliegtuig kan significant zijn in vergelijking met de standaard faalkans. Andere voorbeelden zijn opslagtanks in de nabijheid van windturbines, waarbij afbrekende onderdelen een opslagtank kunnen doorboren en opslagtanks in de nabijheid van (hoge druk) aardgasleidingen. Hoewel een bedrijf geen (directe) invloed heeft op dergelijke externe oorzaken, leiden deze wel tot een hogere faalkans voor de installaties. Daarom moet een Loss of Containment ten gevolge van een oorzaak van buiten worden meegenomen in de risicoberekening van het bedrijf.
 - Een Loss of Containment ten gevolge van een neerstortend vliegtuig moet meegenomen worden in de QRA wanneer deze frequentie groter is dan 10% van de standaard frequentie van catastrofaal¹⁰ falen. In een dergelijk geval dient de frequentie van instantaan falen verhoogd te worden met het plaatsgebonden risico ten gevolge van neerstortende vliegtuigen ter plekke.
 - Een Loss of Containment ten gevolge van het falen van een windturbine moet meegenomen worden in de QRA wanneer deze frequentie groter is dan 10% van de standaard frequentie van catastrofaal¹⁰ falen. Een indicatie van de risico's en generieke dominoafstanden zijn te vinden in [5, 6].

¹⁰ De frequentie van 'catastrofaal falen' is de som van de frequenties van de scenario's 'instantaan falen' en '10 minuten uitstroming'.

- Interne domino-effecten ontstaan wanneer het falen van één installatie met gevaarlijke stoffen leidt tot het falen van een ander installatie met gevaarlijke stoffen. Een voorbeeld is het ontstaan van een BLEVE van een drukopslag ten gevolge van een fakkel of een plasbrand. Interne domino-effecten worden niet expliciet meegenomen in een QRA. Alleen bij een situatie waarin het falen van één installatie duidelijk leidt tot het falen van een andere installatie, dient een intern domino-effect meegenomen te worden in een QRA. Een voorbeeld van een dergelijke situatie is wanneer twee LPG reservoirs zodanig dicht bij elkaar staan, dat het instantaan falen van één reservoir (waarschijnlijk) leidt tot het falen van het andere reservoir. In dit geval dient voor het scenario 'instantaan falen' in alle gevallen te worden uitgegaan van de inhoud van het grootste reservoir.

3.2.3 *Veiligheidsbeheersystemen*

De standaard faalfrequenties gelden voor een inrichting met een goed veiligheidsbeheersysteem (VBS). De relatie tussen een VBS en de kans van optreden van een Loss of Containment is moeilijk kwantificeerbaar. Een zeer goed VBS leidt daarom niet tot de mogelijkheid lagere faalfrequenties toe te passen. Omgekeerd leidt een slecht VBS niet tot de verplichting om vaste, hogere faalfrequenties in de QRA toe te passen. Wel kan gesteld worden dat bij onvoldoende kwaliteit van het VBS, een QRA met standaard faalfrequenties geen betrouwbaar beeld geeft van de werkelijke risico's van de inrichting.

3.2.4 *Afwijkingen van de standaard faalfrequenties*

Het is mogelijk dat op een inrichting technische maatregelen zijn genomen die verder gaan dan de stand der techniek en de kans op een ongeval reduceren, zoals speciale warmtewerende coatings en hitteschilden bij de opslag van LPG om de kans op een BLEVE te reduceren, en het gebruik van speciale slangen bij de verlading. In dergelijke gevallen kan overwogen worden andere faalfrequenties te hanteren. Wanneer de opsteller van de QRA gebruik wil maken van andere faalfrequenties, dient hij van tevoren een voorstel te doen voor de specifieke faalfrequenties in zijn situatie. Dit voorstel dient vergezeld te gaan van een onderbouwing in de vorm van bijvoorbeeld casuïstiek of een foutenboomanalyse.

3.2.5 *Afkapgrens*

Alleen de scenario's die significant bijdragen aan het plaatsgebonden risico en/of groepsrisico worden meegenomen in de QRA. Dit betekent dat alleen scenario's in de QRA meegenomen hoeven te worden die voldoen aan de volgende twee voorwaarden:

1. de frequentie van het scenario is groter dan of gelijk is aan 1×10^{-9} per jaar;
2. letaal letsel (1% letaliteit) kan ook buiten de terreingrens optreden.

Een scenario is hierbij een combinatie van Loss of Containment en een systeemreactie, zoals het al dan niet sluiten van inlokafsluiters.

3.3 Onderdelen van een insluitsysteem

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de verschillende onderdelen van een insluitsysteem die in dit hoofdstuk zijn opgenomen.

Tabel 12 Overzicht van de onderdelen van een insluitsysteem in de QRA

Onderdeel	Beschrijving
Opslag onder druk a. Bovengronds b. Ingeterpt en ondergronds	Zie paragraaf 3.4 Zie paragraaf 3.5
Atmosferische opslagen a. enkelwandig b. beschermend omhulsel c. dubbel omsloten d. volledig omsloten e. membraantank f. ingegraven g. ingeterpt	Zie paragraaf 3.6
Gashouders	Zie paragraaf 3.7
Leidingen a. bovengronds b. ondergronds	Zie paragraaf 3.8
Reactorvat a. batch b. continu	Zie paragraaf 3.9
Procesvat a. distillatiekolom b. filter	Zie paragraaf 3.9 Zie paragraaf 3.10 Zie paragraaf 3.9
Gascilinder	Gascilinders zijn onderdeel van hoofdstuk 11
Vaten (drums)	Het falen van vaten is beschreven in hoofdstuk 8
Verbindingen a. flens b. las	Het falen van verbindingen is opgenomen in het falen van leidingen en niet apart beschreven (zie paragraaf 3.8).
Pompen a. centrifugaal, pakking enkel b. centrifugaal, pakking dubbel c. zuigerpompen	Zie paragraaf 3.11
Compressor a. centrifugaal b. zuiger	Zie paragraaf 3.11
Warmtewisselaars a. stof in ommanteling	Zie paragraaf 3.12

b. stof in pijpen c. stof in ommanteling en in pijpen d. stof in plaat e. condensers	
Drukveiligheid a. veiligheidskleppen b. breekplaten	Zie paragraaf 3.13
Opslagen a. PGS 15 loodsen b. ontplofbare stoffen	De scenario's voor opslagen met gevaarlijke stoffen zijn beschreven in hoofdstuk 8. Voor ontplofbare stoffen wordt de benadering van de circulaire aangehouden [7].
Transport a. tankauto (atm.) b. tankauto (druk) c. ketelwagen (atm.) d. ketelwagen (druk) e. schip (enkelw. vloeistof) f. schip (dubbelw. vloeistof) g. schip (gas) h. container	Zie paragraaf 3.14 Voor containers dient de rekenmethodiek nog te worden vastgesteld.
Verlading a. slang b. arm	Zie paragraaf 3.15

3.4 Opslagtank onder druk, bovengronds

3.4.1 Definitie

Opslagtanks onder druk zijn in gebruik voor de opslag van gassen en onder druk vloeibaar gemaakte gassen, zoals LPG, ammoniak en chloor. Een opslagtank is een opslagtank onder druk wanneer het volume groter is dan 150 L en de maximaal toelaatbare druk groter is dan 0,5 bar overdruk.

3.4.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een bovengrondse tank onder druk voor de opslag van tot vloeistof verdichte gassen.

- Een of meerdere transportleidingen
- Dampretourleiding, aangesloten op de dampfase
- Snelafsluiters (aanwezig in de vloeistofleidingen, mogelijk ook in dampretourleiding)
- Een drukveiligheid in de dampfase
- Een drainleiding met afsluiters
- Instrumentatie voor niveau, druk (temperatuur)

Voor bovengrondse tanks voor de opslag van gassen zijn deels dezelfde elementen aanwezig, waarbij alle aansluitingen op de gasfase zijn.

3.4.3 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een bovengronds opslagtank onder druk gelden voor het opslagtank inclusief de gelaste stompen, montageplaten, leidingaansluitingen tot aan de eerste flens en instrumentatieleidingen. Het leidingstelsel dient afzonderlijk beschouwd te worden, evenals de drukveiligheid.

De scenario's voor een bovengrondse opslagtank onder druk zijn gegeven in Tabel 13. Een overzicht van de onderdelen die meegenomen zijn in de generieke scenario's voor de opslagtank is weergegeven in Tabel 14.

Tabel 13 Scenario's voor een bovengrondse opslagtank onder druk

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen van de inhoud uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Tabel 14 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor een bovengrondse opslagtank onder druk

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Gelaste stompen - Montageplaten - Instrumentatieleidingen - Leidingaansluitingen tot aan de eerste flens	- Transportleidingen vanaf de (snel-)afsluiter - Dampretourleiding - Drukveiligheid - Leidingstelsel

Aandachtspunten:

1. De scenario's en frequenties zijn onafhankelijk van de plaats waar de opslagtanks zich bevinden, binnen dan wel buiten een gebouw.
2. Bij inrichtingen kan er een aanzienlijk verschil zijn tussen de vergunde hoeveelheid gevaarlijke stof en de hoeveelheid gevaarlijke stof die doorgaans in een inrichting aanwezig is. In de QRA berekening wordt uitgegaan van de vergunde hoeveelheid stof.
3. De vulgraad van een opslagtank kan variëren als functie van de tijd. Wanneer deze variatie is opgenomen in de vergunning en dusdanig groot is, dat het meenemen van de variatie leidt tot een significante verschuiving van het risico, dient de variatie in vulgraad meegenomen te worden in de berekeningen door uit te gaan van enkele representatieve vulgraden en de bijbehorende kans van optreden.
4. Opslagtanks kunnen worden gebruikt om verschillende stoffen op verschillende tijdstippen op te slaan. Bepalend voor de QRA berekening is de vergunde situatie. Wanneer grote hoeveelheden van verschillende stoffen worden opgeslagen, wordt gebruik gemaakt van voorbeeldstoffen

in de QRA. Gerekend wordt dan met de vergunde stof dan wel de voorbeeldstof van de gevaarlijkste vergunde categorie.

5. Voor kleine tanks is de uitstroomduur voor het 10 mm gat korter dan 10 minuten. Ook voor deze tanks dienen de drie scenario's zoals vermeld in Tabel 13 meegenomen te worden. Daarnaast dient voor de bronterm rekening gehouden te worden met de toestroom van materie via het verbindend leidingwerk.
6. Indien de leidingaansluiting tot aan de eerste flens een grotere lengte heeft dan tien meter, dient de leidingaansluiting als een afzonderlijk leidingstuk meegenomen te worden.
7. Voor het instantaan falen moet de faaldruk van de BLEVE worden ingevoerd, zie Module B, §3.3.6.

3.5 Opslagtanks onder druk, ondergronds/ingeterpt

3.5.1 Definitie

Een opslagtank is een ondergronds of ingeterpt opslagtank onder druk wanneer het volume groter is dan 150 L en de maximaal toelaatbare druk groter is dan 0,5 bar overdruk en de tank aan alle kanten omgeven is door inert materiaal zoals aarde. Een ondergrondse of ingeterpte opslagtank onder druk is met name in gebruik voor de opslag van LPG.

3.5.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een ondergrondse/ingeterpte tank onder druk voor de opslag van tot vloeistof verdichte gassen.

- Een of meerdere transportleidingen, aangesloten op de bovenkant van de tank
- Dampretourleiding, aangesloten op de dampfase
- Snelafsluiters (aanwezig in de vloeistofleidingen, mogelijk ook in de dampretourleiding)
- Een drukveiligheid in de dampfase
- Instrumentatie voor niveau, druk (temperatuur)

3.5.3 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een ondergronds/ingeterpt opslagtank onder druk gelden voor de opslagtank inclusief de gelaste strompen, montageplaten, leidingaansluitingen tot aan de eerste flens en instrumentatieleidingen. Het leidingstelsel dient afzonderlijk beschouwd te worden, evenals de drukveiligheid.

De scenario's voor een ondergrondse/ingeterpte opslagtank onder druk zijn gegeven in Tabel 15. Een overzicht van de onderdelen die meegenomen zijn in de generieke scenario's is weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Scenario's voor ondergrondse/ingeterpte opslagtank onder druk

	Frequentie (per jaar)
1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud (zie punt 1)	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Tabel 16 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor een ondergrondse/ingeterpte opslag- tank onder druk

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Gelaste strompen - Montageplaten - Instrumentatieleidingen - leidingaansluitingen tot aan de eerste flens	- Transportleidingen vanaf de (snel-)afsluiter - Dampretourleiding - Drukveiligheid - Leidingstelsel

Aandachtspunten:

1. Voor het instantaan falen van ondergrondse opslag tanks van LPG wordt uitgegaan van een basisfaalfrequentie van 5×10^{-7} per jaar. Aangenomen wordt dat de oorzaken die leiden tot een vuurbal niet mogelijk zijn, waardoor een gedeelte van de gebeurtenissenboom vervalt. De wijze van invoer in het rekenpakket is beschreven in Module B.
2. Bij inrichtingen kan er een aanzienlijk verschil zijn tussen de vergunde hoeveelheid gevaarlijke stof en de hoeveelheid gevaarlijke stof die doorgaans in een inrichting aanwezig is. In de QRA berekening wordt uitgegaan van de vergunde hoeveelheid stof.
3. De vulgraad van een opslagtank kan variëren als functie van de tijd. Wanneer deze variatie is opgenomen in de vergunning en dusdanig groot is, dat het meenemen van de variatie leidt tot een significante verschuiving van het risico, dient de variatie in vulgraad meegenomen te worden in de berekeningen door uit te gaan van enkele representatieve vulgraden en de bijbehorende kans van voorkomen.
4. Voor een opslagtank die geplaatst is in een kelder dienen de scenario's en faalfrequenties van een bovengrondse opslag te worden aangehouden.
5. Indien de leidingaansluiting tot aan de eerste flens een grotere lengte heeft dan tien meter, dient de leidingaansluiting als een afzonderlijk leidingstuk meegenomen te worden.

3.6 Atmosferische opslagen

3.6.1 Definitie

Atmosferische opslagtanks zijn in gebruik voor de opslag van vloeistoffen zoals aardolieproducten, acrylonitril, methanol en aceton, en tot vloeistof gekoelde gassen, zoals ammoniak, chloor en methaan. Een opslagtank is een atmosferische opslagtank wanneer de maximaal toegestane druk gelijk is aan of kleiner is dan 0,5 bar overdruk. In het algemeen is de overdruk maximaal 70 mbar.

3.6.2 Kenmerken

Atmosferische opslagtanks kunnen worden onderverdeeld naar de constructie. Voor de faalfrequenties wordt de volgende indeling gehanteerd:

Enkelwandige atmosferische tank (single containment atmospheric tank)

Een enkelwandige atmosferische tank is een tank met een primaire container voor de vloeistof. Als er een omhulsel aanwezig is, dan is deze bedoeld ter isolatie. Het omhulsel is niet ontworpen om de vloeistof te bevatten bij falen van de primaire container.

Atmosferische tank met beschermend buitenomhulsel (atmospheric tank with a protective outer shell)

De tank bestaat uit een primaire container voor de vloeistof en een beschermend omhulsel dat zodanig ontworpen is dat deze bij het falen van de primaire container wel de vloeistof opvangt, maar niet de damp. Het omhulsel is niet bestand tegen belastingen als explosies (statische drukbelasting van 0,3 bar gedurende 300 ms), fragmenten en koude thermische belasting.

Dubbel omsloten atmosferische tank (double containment atmospheric tanks)

De tank bestaat uit een primaire container voor de vloeistof en een beschermd omhulsel, dat bij falen van de primaire container de vloeistof opvangt, en alle mogelijke belastingen kan weerstaan, zoals explosies (statische drukbelasting van 0,3 bar gedurende 300 ms), fragmenten en koude thermische belasting. Het omhulsel kan geen damp bevatten.

Volledig omsloten atmosferische tank (full containment atmospheric tanks)

De tank bestaat uit een primaire container voor de vloeistof en een secundaire container. Deze laatste is ontworpen om bij falen van de primaire container zowel de vloeistof als de damp op te vangen en is bestand tegen alle mogelijke belastingen, zoals explosies (statische drukbelasting van 0,3 bar gedurende 300 ms), fragmenten en koude thermische belasting. Het buitendak wordt ondersteund door de tweede omhulling en kan belastingen, zoals explosies, weerstaan.

Membraantank (membrane tank)

Een membraantank bestaat uit een primaire en secundaire container. De primaire container bestaat uit een niet-zelfdragend membraan dat onder normale bedrijfsomstandigheden de vloeistof en de damp bevat. De secundaire

container is van beton en ondersteunt de eerste omhulling. Indien de binnentank faalt, wordt alle vloeistof opvangen in de secundaire container en komt er geen damp op een ongecontroleerde manier vrij. Het buitendak is een integraal onderdeel van de secundaire container.

Ingegraven atmosferische tank
(*in-ground atmospheric tank*)

Een ingegraven atmosferische tank is een opslagtank met een vloeistofniveau gelijk aan of lager dan het maaiveldniveau.

Ingeterpte atmosferische tank
(*mounded atmospheric tank*)

Een ingeterpte atmosferische tank is een opslagtank die volledig is bedekt met een laag grond en waarin het vloeistofniveau zich boven het maaiveldniveau bevindt.

De volgende elementen kunnen aanwezig zijn bij een atmosferische opslagtank, afhankelijk van uitvoeringstype:

- Drainleiding van de bodem van de tank
- regenwaterafvoer van drijvend dak
- Vloeistof toe- en afvoerleidingen
- Damp retour leiding (vast dak)
- Inert gas leiding (vast dak)
- Druk/vacuümklep (vast dak)
- Menger
- Stoomverwarming (voor bijvoorbeeld zware olie)
- Koelinstallatie (cryogene tanks)
- Niveaumeter
- Alarmen voor hoge temperatuur en laag/hoog niveau
- Brandbeveiliging in de vorm van schuim
- Tankput

3.6.3 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een atmosferische opslagtank gelden voor de opslagtank inclusief de leidingaansluitingen tot aan de eerste flens en instrumentatieleidingen. Het leidingstelsel dient afzonderlijk beschouwd te worden.

De scenario's voor een atmosferische opslagtank zijn gegeven in Tabel 17- Tabel 23. Een overzicht van de onderdelen die meegenomen zijn in de generieke scenario's is weergegeven in Tabel 24.

Tabel 17 Scenario's voor enkelwandige atmosferische opslagtanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

Tabel 18 Scenario's voor atmosferische opslagtanks met een beschermend buitenomhulsel

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van primaire container en buitenomhulsel; vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Instantaan falen van primaire container; vrijkomen van de gehele inhoud in het intacte buitenomhulsel	5×10^{-7}
3. Falen van primaire container en buitenomhulsel; vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
4. Falen van primaire container; vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom in het intacte buitenomhulsel	5×10^{-7}
5. Falen van primaire container; continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm in het intacte buitenomhulsel	1×10^{-4}

Tabel 19 Scenario's voor dubbel omsloten atmosferische opslagtanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van primaire container en buitenomhulsel; vrijkomen van de gehele inhoud	1.25×10^{-8}
2. Instantaan falen van primaire container; vrijkomen van de gehele inhoud in het intacte buitenomhulsel	5×10^{-8}
3. Falen van primaire container en buitenomhulsel; vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	1.25×10^{-8}
4. Falen van primaire container; vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom in het intacte buitenomhulsel	5×10^{-8}
5. Falen van primaire container; continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm in het intacte buitenomhulsel	1×10^{-4}

Tabel 20 Scenario's voor volledig omsloten atmosferische opslagtanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van primaire en secundaire container; vrijkomen van de gehele inhoud	1×10^{-8}

Tabel 21 Scenario's voor membraantanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van primaire en secundaire container; vrijkomen van de gehele inhoud	1×10^{-8}

Tabel 22 Scenario's voor ingegraven atmosferische opslagtanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van de tank en gronddekking; verdamping vanuit een vloeistofplas ter grootte van het tankoppervlak	1×10^{-8}

Tabel 23 Scenario's voor ingeterpte atmosferische opslagtanks

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan falen van tank en grondlaag; vrijkomen van de gehele inhoud	1×10^{-8}

Tabel 24 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor een atmosferische opslagtank

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Instrumentatieleidingen - Leidingaansluitingen tot aan de eerste flens - doorvoeren voor stoomverwarming, regenwaterafvoer e.d. - Druk/vacuümklep	- Leidingstelsel - Koelinstallatie voor een cryogene opslag

Aandachtspunten:

1. Bij inrichtingen kan er een aanzienlijk verschil zijn tussen de vergunde hoeveelheid gevaarlijke stof en de hoeveelheid gevaarlijke stof die doorgaans in een inrichting aanwezig is. In de QRA berekening wordt uitgegaan van de vergunde hoeveelheid stof.
2. De vulgraad van een tank kan variëren als functie van de tijd. Wanneer deze variatie is opgenomen in de vergunning en dusdanig groot is, dat het meenemen van de variatie leidt tot een significante verschuiving van het risico, dient de variatie in vulgraad meegenomen te worden in de

berekeningen door uit te gaan van enkele representatieve vulgraden en de bijbehorende kans van voorkomen.

3. Opslagtanks kunnen worden gebruikt om verschillende stoffen op verschillende tijdstippen op te slaan. Bepalend voor de QRA berekening is de vergunde situatie. Wanneer grote hoeveelheden van verschillende stoffen worden opgeslagen, wordt gebruik gemaakt van voorbeeldstoffen in de QRA. Gerekend wordt dan met de vergunde stof dan wel de voorbeeldstof van de gevaarlijkste vergunde categorie.
4. Indien de leidingaansluiting tot aan de eerste flens een grotere lengte heeft dan tien meter, dient de leidingaansluiting als een afzonderlijk leidingstuk meegenomen te worden.
5. Aangenomen is dat leidingaansluitingen tot de eerste flens zich binnen het beschermende buitenomhulsel bevinden. Indien de eerste flens buiten het buitenomhulsel is en het betreft een bodemdoorvoer, moet voor de scenario's in Tabel 19 waarbij de inhoud vrijkomt in het intacte buitenomhulsel, gerekend worden alsof de inhoud vrijkomt buiten het buitenomhulsel.
6. Naast de beschreven typen opslagtanks zijn er nog andere varianten mogelijk. In dergelijke gevallen dient één van de beschreven typen opslagtanks geselecteerd te worden en wel het type waaraan voldaan wordt. Bijvoorbeeld: een tank bestaat uit een metalen dubbel omsloten opslagtank en een betonnen buitenomhulsel. Een dergelijke tank voldoet niet aan de definitie van de volledig omsloten opslagtank, maar wel aan de definitie van een dubbel omsloten opslagtank, zodat de tank gemodelleerd moet worden met de scenario's van een dubbel omsloten opslagtank.

3.7 Gashouders

3.7.1 Definitie

Gashouders zijn grote, uitschuifbare reservoirs waarin gassen opgeslagen worden bij (bijna-) atmosferische druk.

3.7.2 Kenmerken

Kenmerkend voor een gashouder is dat de druk van het reservoir constant is en het volume van het reservoir varieert. Hiertoe beschikken de reservoirs over een extern stalen frame, waarin de bovenkant van het reservoir kan bewegen.

3.7.3 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties van een gashouder gelden voor de gashouder inclusief de leidingaansluitingen tot aan de eerste flens en instrumentatieleidingen. Het leidingstelsel dient afzonderlijk beschouwd te worden.

De scenario's voor een gashouder zijn gegeven in Tabel 25. Een overzicht van de onderdelen die meegenomen zijn in de generieke scenario's is weergegeven in Tabel 26.

Tabel 25 Scenario's voor gashouders

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

Tabel 26 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor een gashouder

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Instrumentatieleidingen - Leidingaansluitingen tot aan de eerste flens	- Leidingstelsel - veiligheidsklep

3.8 Leidingen

3.8.1 Kenmerken

Er zijn verschillende onderverdelingen in typen leidingen te maken, zoals procesleidingen en transportleidingen, ondergrondse leidingen, leidingen op grondniveau en leidingen op een leidingbrug, gaspijpleiding en vloeistofpijpleiding, metalen leiding, kunststofleiding en beklede leidingen. Leidingen zijn verbonden door middel van flenzen en lassen; voor leidingen met een kleine diameter worden ook schroef- of knelkoppelingen toegepast. In leidingen kunnen ook kleppen aanwezig zijn.

3.8.2 Scenario's

Voor de scenario's en de faalfrequenties wordt geen onderscheid gemaakt in procesleidingen of transportleidingen, het materiaal waarvan een leiding gemaakt is, de aanwezigheid van bekleding, de ontwerpdruk van een leiding en de ligging op een leidingbrug. Er wordt wel onderscheid gemaakt in bovengrondse leidingen en ondergrondse leidingen.

De scenario's en faalfrequenties voor een leiding gelden voor de leiding inclusief de verbindingen, zoals flenzen, lassen en kleppen.

De scenario's voor bovengrondse leidingen zijn gegeven in Tabel 27, de scenario's voor ondergrondse leidingen in Tabel 28.

Een overzicht van de onderdelen die meegenomen zijn in de generieke scenario's is weergegeven in Tabel 29.

Tabel 27 Scenario's voor bovengrondse leidingen

	Frequentie (per meter per jaar) nominale diameter < 75 mm	Frequentie (per meter per jaar) 75 mm ≤ nominale diameter ≤ 150 mm	Frequentie (per meter per jaar) nominale diameter > 150 mm
1. Breuk van de leiding	1×10^{-6}	3×10^{-7}	1×10^{-7}
2. Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	5×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-7}

Tabel 28 Scenario's voor ondergrondse transportleidingen

	Frequentie (per meter per jaar) Leiding in leidingstraat	Frequentie (per meter per jaar) Leiding voldoet aan NEN 3650	Frequentie (per meter per jaar) Overige leidingen
1. Breuk van de leiding	7×10^{-9}	$1,525 \times 10^{-7}$	5×10^{-7}
2. Lek met een effectieve diameter van 20 mm	$6,3 \times 10^{-8}$	$4,575 \times 10^{-7}$	$1,5 \times 10^{-6}$

Tabel 29 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor leidingen

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Verbindingen (flenzen, lassen) - Kleppen	- pompen (zie paragraaf 3.11)

Opmerkingen:

1. Leidingen kunnen zich binnen of buiten een gebouw bevinden. Dit heeft geen invloed op de scenario's en faalfrequenties.
2. De plaats van de breuk is van belang voor het uitstroomdebiet. Standaard wordt gerekend met een leidinglengte tot de breuk gelijk aan 5 meter. Wanneer het scenario een belangrijke risicobijdrage heeft, kan een verdere verfijning worden aangebracht door te rekenen met verschillende leidinglengtes in overeenstemming met onderstaande tabel:

leidinggedeelte	Leidinglengte tot breuk
0 – 20 m	5 m
20 – 50 m	30 m
50 – 100 m	70 m
100 – 200 m	130 m
...	...

De leidinglengte tot de breuk wordt gerekend vanaf het vat stroomopwaarts dan wel vanaf het vat waaruit de grootste uitstroming plaatsvindt. Voor een lek is de plaats van het lek niet van belang voor het uitstroomdebiet; een lek wordt gemodelleerd als een gat in een reservoir, rekening houdend met de pompdruk.

Voorbeeld:

Vanuit een reservoir loopt een bovengrondse losleiding (DN100) met een lengte van 150 meter. Leidingbreuk heeft een belangrijke risicobijdrage. De breuksenario's zijn dan gegeven in Tabel 30.

Tabel 30 Scenario's voor een bovengrondse leiding (DN100, lengte 150 meter)

Uitstroming	Frequentie (per jaar)
Breuk op 5 meter van het vat	$20 \times 3 \times 10^{-7}$
Breuk op 30 meter van het vat	$30 \times 3 \times 10^{-7}$
Breuk op 70 meter van het vat	$50 \times 3 \times 10^{-7}$
Breuk op 130 meter van het vat	$50 \times 3 \times 10^{-7}$
Lekkage	$150 \times 2 \times 10^{-6}$

- Om voor lange transportleidingen een representatieve risicocontour op te kunnen stellen, dienen faallocaties te worden geselecteerd die zich op een regelmatige afstand van elkaar bevinden. Het aantal dient voldoende hoog te zijn om te garanderen dat de risicocontour niet belangrijk verandert, wanneer het aantal faallocaties wordt verhoogd. Een aanvaardbare initiële afstand tussen twee faallocaties is 50 meter.
- Het falen van verbindingen zoals flenzen en lassen wordt verondersteld te zijn opgenomen in de faalfrequenties van de leidingen. Daarom moet altijd met een minimum lengte van 10 meter gerekend worden.
- De diameter van een leiding kan variëren over de afstand. In de QRA berekening wordt uitgegaan van één leidingdiameter, een gewogen gemiddelde. In de rapportage moet aangegeven worden hoe dit gewogen gemiddelde bepaald is.
- Bovengrondse transportleidingen kunnen onder bepaalde condities vergelijkbaar zijn met (ondergrondse) leidingen in een leidingstraat. Noodzakelijke voorwaarden zijn hierbij onder andere dat externe beschadiging uitgesloten is, er weinig tot geen flenzen en appendages aanwezig zijn en de leiding duidelijk gemarkeerd is. In zeer specifieke situaties is dan voor bovengrondse transportleidingen de toepassing van een lagere faalfrequentie, zoals de faalfrequentie van (ondergrondse) leidingen in een leidingstraat, te verdedigen. Met name voor aardgasleidingen zijn in specifieke situaties lagere faalfrequenties gehanteerd. De toepassing van faalfrequenties voor bovengrondse

transportleidingen, die lager zijn dan de waarden in Tabel 27, moet voor elk specifiek geval voorgelegd en goedgekeurd worden door het bevoegd gezag (artikel 8b van het Revi).

3.9 Reactorvat en procesvat

3.9.1 Definities

In reactorvaten vindt een verandering plaats van de chemische eigenschappen van de stoffen. Voorbeelden van reactorvaten zijn continue-, semi-batch- en batchreactoren.

In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden. Destillatiekolommen en condensoren worden apart beschreven.

Vaten waarin alleen de hoeveelheid stof verandert, moeten beschouwd worden als opslag (onder druk). Een buffervat in een procesinstallatie kan gezien worden als een voorbeeld hiervan.

3.9.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een reactor:

- leidingen voor de aan- en afvoer van stoffen
- instrumentatie voor niveau, druk (temperatuur)
- Drukveiligheid (facultatief)
- Snelafsluiters (facultatief)
- Koeling, roerder

Ook kunnen voorzieningen aanwezig zijn voor het toevoegen van een inhibitor om de reactie snel te stoppen.

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een procesvat:

- leidingen voor de aan- en afvoer van stoffen
- instrumentatie voor niveau, druk (temperatuur)
- Drukveiligheid (facultatief)
- Snelafsluiters (facultatief)

3.9.3 Scenario's

De scenario's voor reactorvaten en procesvaten zijn gegeven in Tabel 31, de opgenomen onderdelen in Tabel 32.

Tabel 31 Scenario's voor reactorvaten en procesvaten

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van het reactorvat/procesvat	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

Tabel 32 Onderdelen meegenomen in de scenario's voor een reactorvat/procesvat

Opgenomen in de standaard scenario's	Niet opgenomen in de standaard scenario's
- Instrumentatieleidingen - Leidingaansluitingen tot aan de eerste flens	- Leidingen - drukveiligheid

Aandachtspunten:

1. De samenstelling van de inhoud van het (batch-) reactorvat / procesvat en de condities in het reactorvat/procesvat variëren in de tijd. Indien relevant moet in de berekening daarom uitgegaan worden van enkele representatieve situaties en de daarbij behorende tijdsgecorrigeerde frequentie.
2. Voor het instantaan falen moet de faaldruk van de BLEVE worden ingevoerd, zie Module B, §3.3.6.

3.10 Destillatiekolom

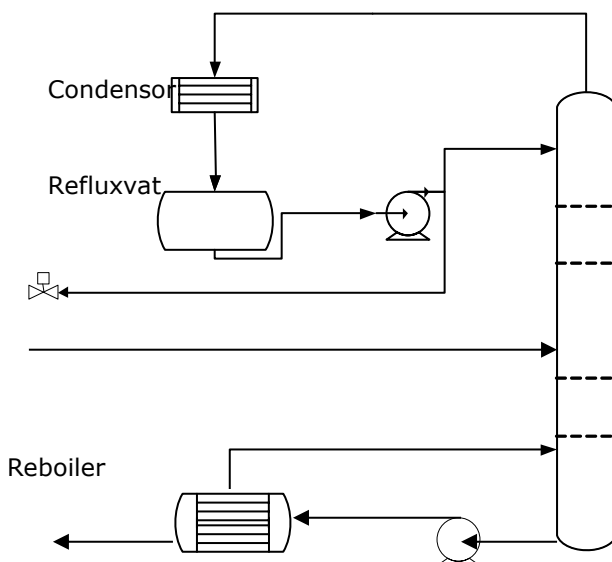
3.10.1 Definitie

Een destillatiekolom wordt gebruikt voor het scheiden van een mengsel door verschil in dampspanning.

3.10.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een destillatiekolom (zie ook Figuur 4).

- Kolom
- Condensor en refluxvat
- Reboiler
- Pomp
- Leidingen tussen de kolom en de condensor, tussen kolom en refluxvat, tussen de kolom en de reboiler en tussen condensor en refluxvat
- Aanvoerleiding voor het mengsel, afvoerleidingen voor het topproduct en bodemproduct
- Drukveiligheid
- Snelafsluiters (optioneel)
- Instrumentatie voor niveau, druk, reflux, temperatuur



Figuur 4 Schema van een destillatiekolom

3.10.3 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor de destillatiekolom zijn gegeven in Tabel 33. Daarnaast moeten scenario's meegenomen worden voor de condensor (paragraaf 3.12) pompen (paragraaf 3.11), de verschillende leidingen (paragraaf 3.8) en de vaten waarmee de kolom in verbinding staat (paragrafen 3.5 en 3.9). Elk stuk leiding tussen de verschillende onderdelen moet apart gemodelleerd worden. De scenario's en faalfrequenties voor de transportleidingen vanaf de afsluiters zijn gegeven in paragraaf 3.7, voor de drukveiligheid in paragraaf 3.13.

Tabel 33 Scenario's voor destillatiekolom

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van de kolom	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. In een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

3.10.4 Voorbeeld

Voor de destillatie unit zoals gegeven in Figuur 4 dienen de scenario's van Tabel 33 meegenomen te worden. Dit is verder uitgewerkt in Tabel 34.

Opmerkingen bij Tabel 34:

1. Bij het falen van de verschillende onderdelen, zoals het refluxvat, moet rekening worden gehouden met de toestroom uit andere installatieonderdelen, zoals de kolom.

2. Het 10 mm gat dient standaard verdeeld te worden over de twee secties.
3. De scenario's voor de condensor zijn beschreven in paragraaf 3.12. In het voorbeeld is aangenomen dat de ontwerpdruk van de mantel lager is dan de druk in de leiding. Omdat de inhoud van de condensor beperkt is, is de uitstroming uit het verbindend leidingwerk bepalend.

Tabel 34 Scenario's voor de destillatie unit van Figuur 4

Onderdeel	Scenario	Frequentie (per jaar)
Kolom	1. Instantaan vrijkomen	5×10^{-6}
	2. Vrijkomen in 10 min.	5×10^{-6}
	3a. 10 mm gat, rectificerende sectie 3b. 10 mm gat, strippende sectie	5×10^{-5} 5×10^{-5}
Condensor	1. Breuk 10 leidingen	1×10^{-5}
	2. Breuk leiding	1×10^{-3}
	3. lekkage	1×10^{-2}
Refluxvat	1. Instantaan vrijkomen	5×10^{-7}
	2. Vrijkomen in 10 min.	5×10^{-7}
	3. 10 mm gat	1×10^{-5}
Reboiler	1. Instantaan vrijkomen	5×10^{-6}
	2. Vrijkomen in 10 min.	5×10^{-6}
	3. 10 mm gat	1×10^{-4}
Leiding Kolom – Condensor	Breuk	Zie Tabel 27
	Lekkage	Zie Tabel 27
Leiding Condensor – Refluxvat	Breuk	Zie Tabel 27
	Lekkage	Zie Tabel 27
Leiding Refluxvat – Kolom	Breuk	Zie Tabel 27
	Lekkage	Zie Tabel 27
Leiding Kolom – Reboiler	Breuk	Zie Tabel 27
	Lekkage	Zie Tabel 27
Leiding Reboiler – Kolom	Breuk	Zie Tabel 27
	Lekkage	Zie Tabel 27
Pompen	Catastrofaal falen	Zie Tabel 35
	Lekkage	Zie Tabel 35

3.11 Pompen en compressoren

3.11.1 Kenmerken

Pompen kunnen globaal onderverdeeld worden in twee verschillende types namelijk de zuigerpompen en de centrifugaalpompen. Deze laatste categorie kan verder onderverdeeld worden in 'canned pumps' oftewel 'sealless pumps' en de pompen met seals (pakking). Een canned pump kan gedefinieerd worden als een "ingekapselde" pomp waarbij de procesvloeistof zich bevindt in de ruimte rond de rotor ('impeller') en waarbij geen gebruik gemaakt wordt van pakkingen.

Compressoren kunnen globaal onderverdeeld worden in twee types namelijk de zuiger compressoren en de centrifugale compressoren.

3.11.2 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor pompen en compressoren zijn gegeven in Tabel 35 en Tabel 36.

Tabel 35 Scenario's voor centrifugaal pompen en centrifugaal compressoren

	Canned (zonder pakking) Frequentie (per jaar)	Met pakking Frequentie (per jaar)
Catastrofaal falen	1×10^{-5}	$1,0 \times 10^{-4}$
Lek (10 % diameter)	5×10^{-5}	$4,4 \times 10^{-3}$

Tabel 36 Scenario's voor zuigerpompen en zuiger compressoren

	Frequentie (per jaar)
Catastrofaal falen	$1,0 \times 10^{-4}$
Lek (10 % diameter)	$4,4 \times 10^{-3}$

Opmerkingen:

1. Er is geen verschil in faalfrequentie tussen pompen met een enkele pakking en pompen met een dubbele pakking.
2. De scenario's zijn alleen van toepassing op de tijd dat de pomp of compressor in bedrijf is.
3. Het catastrofaal falen van een pomp (compressor) wordt gemodelleerd als een leidingbreuk van de toevoerleiding van de pomp (compressor). Het lek scenario wordt gemodelleerd als een lek in de toevoerleiding van de pomp (compressor).

3.12 Warmtewisselaars en condensors

3.12.1 Definitie

In een warmtewisselaar wordt warmte overgebracht van de ene (vloeï-)stof naar de andere. De verschillende vloeistoffen zijn van elkaar gescheiden door een vaste wand om mengen te voorkomen.

Condensors kunnen ondergebracht worden onder de warmtewisselaars daar ze dezelfde uitvoeringsvormen hebben en alleen verschillen in hun functie: in condensors treedt een faseverandering op van gas naar vloeistof.

3.12.2 Kenmerken en scenario's

Er kunnen verschillende typen warmtewisselaars worden onderscheiden:

- pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich buiten de pijpleidingen bevindt (Tabel 37);
- pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich in de pijpleidingen bevindt, en waarbij de mantel een ontwerpdruk heeft die hoger is dan of gelijk aan de maximaal optredende druk van de gevaarlijke stof in de pijpleiding (Tabel 38);
- pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich in de pijpleidingen bevindt, en waarbij de mantel een ontwerpdruk heeft die lager is dan de maximaal optredende druk van de gevaarlijke stof in de pijpleiding (Tabel 39)
- pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich zowel in de pijpleidingen als in de mantel bevindt (Tabel 40).
- plaatwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich bevindt in de kanalen tussen de verschillende platen (Tabel 37).

Tabel 37 Scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich buiten de pijpleidingen bevindt en voor plaatwarmtewisselaars

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-5}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. In een continue en constante stroom	5×10^{-5}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-3}

Tabel 38 Scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich binnen de pijpleidingen bevindt en waarbij de mantel een ontwerpdruk heeft die hoger is dan of gelijk aan de maximaal optredende druk van de gevaarlijke stof in de pijpleiding

	Frequentie
1. Breuk van 10 pijpen tegelijkertijd	1×10^{-6}

Tabel 39 Scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich binnen de pijpleidingen bevindt en waarbij de mantel een ontwerpdruk heeft die lager is dan of gelijk aan de maximaal optredende druk van de gevaarlijke stof in de pijpleiding

	Frequentie (per jaar)
1. Breuk van 10 pijpen tegelijkertijd	1×10^{-5}
2. Breuk van 1 pijp	1×10^{-3}
3. Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van één pijp, maximaal 50 mm	1×10^{-2}

Opmerkingen:

1. De stoffen komen bij alle scenario's direct in de atmosfeer vrij. Er wordt verondersteld dat een vervuiling van het koelmiddel niet leidt tot externe risico's. Indien de warmtewisselaar is uitgerust met veiligheidsvoorzieningen, bijv. met een veiligheidsklep, dient hiermee rekening te worden gehouden bij het bepalen van de uitstroming.
2. Bij breuk van 10 pijpen tegelijkertijd dient gerekend te worden met een effectieve leidingdiameter gelijk aan het totale uitstroomoppervlak.
3. De toevoer uit de verbonden pijpleidingen moet ook in beschouwing worden genomen (zie module B, paragraaf 3.2 opmerking 2). Bij een pijpwarmtewisselaar met de gevaarlijke stof in de mantel betekent dit dat, naast het instantaan vrijkomen van de inhoud van de mantel, ook de nalevering van de toe- en afvoerleidingen in het scenario moet worden meegenomen.
4. Wanneer naast de gevaarlijke stof in de pijpen er ook een gevaarlijke stof aanwezig is in de mantel van de warmtewisselaar moet bij breuk van de pijp rekening gehouden worden met de uitstroom van 2 gevaarlijke stoffen (zie Tabel 40).

Tabel 40 Scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich zowel binnen de pijpleidingen als in de mantel bevindt

	Scenario's
mantel heeft ontwerpdruk > max optredende druk van gevaarlijke stof in de pijpleiding	* uitstroom van stof in mantel → zie scenario's Tabel 37 * Uitstroom van stof in mantel én stof in pijpleidingen → Breuk 10 pijpen tegelijk: 10^{-6}
mantel heeft ontwerpdruk ≤ max optredende druk van gevaarlijke stof in de pijpleiding	* uitstroom van stof in mantel → zie scenario's Tabel 37 * Uitstroom van stof in mantel én stof in pijpleidingen → zie scenario's Tabel 39

5. Gezien de constructie van plaatwarmtewisselaars, namelijk de gevaarlijke stof in de kanalen tussen de platen, zal een lek of breuk van de mantel aanleiding geven tot uitstroming. Voor de modellering wordt gebruik

gemaakt van de scenario's van pijpwarmtewisselaars met gevaarlijke stoffen buiten de pijpleidingen (zie Tabel 37).

3.13 Drukveiligheid

3.13.1 Definitie

Een drukveiligheid is een component die opent wanneer de druk in het systeem een vooraf ingestelde druk overschrijdt. Onder drukveiligheden vallen o.a. veiligheidskleppen en breekplaten.

3.13.2 Scenario's

Het scenario voor het openen van een drukveiligheid is opgenomen in Tabel 41. De scenario's en frequenties zijn van toepassing op zowel veiligheidskleppen als breekplaten en combinaties hiervan. Dit scenario hoeft alleen meegenomen te worden wanneer het openen van een drukveiligheid leidt tot een emissie met risico's voor de omgeving.

Tabel 41 Scenario's voor het openen van een drukveiligheid

	Frequentie (per jaar)
1. Uitstroming met het maximale uitstroomdebiet	2×10^{-5}

3.14 Transportmiddelen

3.14.1 Definitie

Onder transportmiddelen worden verstaan: tankauto's, ketelwagens en schepen die zich binnen een inrichting bevinden en/of betrokken zijn bij een laad- en/of losactiviteit van een inrichting. Voor de scenario's met betrekking tot de verlading wordt verwezen naar paragraaf 3.15.

Atmosferische tankauto's (ketelwagens) zijn gedefinieerd als tankauto's (ketelwagens) voor het transport van gevaarlijke stoffen, met uitzondering van de stoffen die vallen in de ADR klasse 2.

Druktankauto's (-ketelwagens) worden gedefinieerd als tankauto's (ketelwagens) voor het transport van gevaarlijke stoffen die vallen in de ADR klasse 2.

3.14.2 Kenmerken

Onder de transportmiddelen vallen niet alleen de vaste vloeistof- of gasreservoirs, maar ook de vaste leidingen en appendages op of onder deze reservoirs, zoals stijgpipen, flenzen en de koppelingen voor het aansluiten van laad-/losslangen.

3.14.3 Scenario's

De in deze paragraaf weergegeven faalfrequenties dienen te worden gecorrigeerd voor het aantal transporteenheden en de tijdsfractie dat deze per jaar aanwezig zijn.

3.14.3.1 Tankauto

Onder tankauto's worden wagens met vaste reservoirs verstaan, maar ook met afneembare reservoirs. Daarnaast batterijwagens en voor zover deze op een wagen zijn geplaatst: tankcontainers, wissellaadtanks en MEGC's (multiple element gas container).

Voor de scenario's voor tankauto's op een inrichting wordt onderscheid gemaakt in de volgende categorieën:

- tankauto's met een atmosferische tank (Tabel 42)
- tankauto's met een reservoir onder druk (Tabel 43)

Tabel 42 Scenario's voor tankauto met een atmosferische tank

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	1×10^{-5}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	5×10^{-7}

Tabel 43 Scenario's voor tankauto met een reservoir onder druk

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	5×10^{-7}

Aandachtspunten:

1. In geval van compartimentering van atmosferische tanks moet bij het scenario van het vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting, ieder compartiment als een afzonderlijke tank worden beschouwd, waarbij de faalfrequentie van 5×10^{-7} per jaar verdeeld wordt over het aantal compartimenten. Voor de instantane scenario's moet de gecompartmenteerde tankauto als één enkelvoudige tank worden beschouwd.
2. Indien er zich bij een atmosferische tank geen aansluitingen aan de zij- of onderkant van de tank bevinden, hoeft het scenario van vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting, niet te worden meegenomen.
3. Er zijn geen scenario's opgenomen voor Loss of Containment ten gevolge van externe beschadiging van tankauto's of brand in de omgeving. Aangenomen wordt dat voldoende maatregelen zijn genomen om externe beschadiging van het reservoir te voorkomen, zoals een geïsoleerde opstelling en/of lage snelheid. Ook is aangenomen dat een beladen tankauto niet is opgesteld nabij brandbare vloeistoffen of nabij een dusdanige hoeveelheid brandbaar materiaal, dat de warmtestraling van een brand leidt tot het falen van de tankauto. Indien een dergelijke

situatie zich voordoet, dient deze bij voorkeur door het nemen van maatregelen opgeheven te worden.

Er zijn situaties waarin brand in de omgeving en/of externe beschadiging niet uit te sluiten is. Een voorbeeld hiervan is een LPG tankauto bij een LPG tankstation tijdens verlading. In een dergelijk geval moet een additioneel BLEVE scenario toegevoegd worden. Zie hiervoor de rekenmethodiek voor LPG tankstations.

4. Voor het instantaan falen moet de faaldruk van de BLEVE worden ingevoerd, zie Module B, §3.3.6.

3.14.3.2 Ketelwagens

Voor de scenario's voor ketelwagens op een inrichting wordt onderscheid gemaakt in de volgende categorieën:

- ketelwagens met een atmosferische tank (Tabel 44)
- ketelwagens met een reservoir onder druk (Tabel 45)

Tabel 44 Scenario's voor ketelwagens met een atmosferische tank

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	1×10^{-5}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	5×10^{-7}

Tabel 45 Scenario's voor ketelwagens met een reservoir onder druk

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	5×10^{-7}

Aandachtspunten:

1. In geval van compartimentering van atmosferische tanks moet bij het scenario van het vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting, ieder compartiment als een afzonderlijke tank worden beschouwd, waarbij de faalfrequentie van 5×10^{-7} per jaar verdeeld wordt over het aantal compartimenten. Voor de instantane scenario's moet de gecompartmenteerde ketelwagen als één enkelvoudige tank worden beschouwd.
2. Indien er zich bij een atmosferische tank geen aansluitingen aan de zij- of onderkant van de tank bevinden, hoeft het scenario van vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting, niet te worden meegenomen.
3. Er zijn geen scenario's opgenomen voor externe beschadiging van ketelwagens. Aangenomen wordt dat tijdens verlading voldoende maatregelen zijn genomen om externe beschadiging van het reservoir te voorkomen, zoals aanrijbeveiliging en lage snelheid. Voor de berekening van de frequentie is ook aangenomen dat een beladen ketelwagen niet is opgesteld nabij brandbare vloeistoffen of nabij een dusdanige hoeveelheid brandbaar materiaal, dat de warmtestraling van een brand leidt tot het

falen van de ketelwagens. Indien een dergelijke situatie zich voordoet, dient deze bij voorkeur door het nemen van maatregelen opgeheven te worden. Voor de rekenmethodiek ten aanzien van externe impact en brand op spoorwegemplacements (met een publieke functie) wordt verwezen naar de rekenmethode voor spoorwegemplacements.

4. Voor het instantaan falen moet de faaldruk van de BLEVE worden ingevoerd, zie Module B, §3.3.6.

3.14.3.3 Schepen

Voor schepen zijn er geen scenario's voor intrinsiek falen. Aangenomen wordt dat verlading plaatsvindt tijdens het grootste deel van de tijd, dat een schip aanwezig is, en de verladingsscenario's dominant zijn ten opzichte van intrinsiek falen.

De enige scenario's, naast de verlading, die van belang zijn, zijn externe beschadiging ten gevolge van scheepsbotsingen. Deze worden zeer sterk bepaald door de locale situatie. In het geval een schip gelegen is in een (kleine) haven buiten de transport routes, is de kans op een botsing die leidt tot een uitstroming dusdanig klein, dat deze niet beschouwd hoeft te worden. In andere gevallen dient op basis van het specifieke baanvak de basisfaalfrequentie voor ongevallen, f_0 , bepaald te worden.

Wanneer geen informatie bekend is, dient gerekend te worden met een algemene basisfaalfrequentie voor ongevallen, f_0 . Deze is gelijk aan $6,7 \times 10^{-11} \times T \times t \times N$. Daarbij is T het totale aantal schepen per jaar op de transportroute of in de haven, t de gemiddelde verladingduur per schip (in uren) en N het aantal verladingen per jaar.

De scenario's voor een schip zijn gegeven in Tabel 46 - Tabel 49.

Tabel 46 Scenario's voor gastankers

	Frequentie
1. Continu vrijkomen van 180 m ³ in 1800 s	$0,00012 \times f_0$
2. Continu vrijkomen van 90 m ³ in 1800 s	$0,025 \times f_0$

Tabel 47 Scenario's voor semi gastankers (gekoeld)

	Frequentie
1. Continu vrijkomen van 126 m ³ in 1800 s	$0,00012 \times f_0$
2. Continu vrijkomen van 32 m ³ in 1800 s	$0,025 \times f_0$

Tabel 48 Scenario's voor dubbelwandige vloeistoftankers

	Frequentie
1. Continu vrijkomen van 75 m ³ in 1800 s	$0,0015 \times f_0$
2. Continu vrijkomen van 20 m ³ in 1800 s	$0,006 \times f_0$

Tabel 49 Scenario's voor enkelwandige vloeistoftankers

	Frequentie
1. Continu vrijkomen van 75 m ³ in 1800 s	$0,1 \times f_0$
2. Continu vrijkomen van 30 m ³ in 1800 s	$0,2 \times f_0$

3.15 Verlading

Verlading vindt plaats van een opslagreservoir naar een transporteenheid (tankauto, ketelwagen of schip) of van een transporteenheid naar een opslagreservoir. De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een verlading.

- Beveiligingen tegen aanrijden en verplaatsen van de transporteenheid
- Slang of ladingsarm voor de verlading van het materiaal in de vloeistoffase
- Snelafsluiters in de vloeistofleidingen met noodstop-knoppen
- Pomp voor het verladen van stof
- Damp retour leiding, aangesloten op de dampfase
- Instrumentatie voor niveau, druk (temperatuur)

De scenario's voor verlading zijn gegeven in Tabel 50.

Tabel 50 Scenario's voor de verlading

	Frequentie Laad-/losarm (per uur)	Frequentie Laad-/losslang (per uur)
1. Breuk van de laad-/losarm of laad-/losslang	3×10^{-8}	4×10^{-6}
2. Lek van de laad-/losarm of laad-/losslang met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm.	3×10^{-7}	4×10^{-5}

Daarnaast moet voor de verlading van ontvlambare stoffen rekening worden gehouden met het falen van de tankauto (ketelwagen) ten gevolge van een domino-effect. Deze scenario's zijn gegeven in Tabel 51.

Tabel 51 Aanvullende scenario's voor de verlading van ontvlambare stoffen voor tankauto's en ketelwagens

Type tankauto/ketelwagen	Scenario	Frequentie (per uur)
1. Atmosferisch	Instantaan vrijkomen gehele inhoud, plasbrand	$5,8 \times 10^{-9}$
2. Druk	Instantaan vrijkomen gehele inhoud, BLEVE	$5,8 \times 10^{-10}$

Aandachtspunten:

1. De aanvullende scenario's voor de verlading van ontvlambare stoffen dienen ook meegenomen te worden voor stoffen die gemodelleerd worden als zowel ontvlambaar als toxisch.

4 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Maatregelen en systeemreacties

In de hoofdstukken 2 tot en met 4 wordt de rekenmethodiek voor Brzo inrichtingen beschreven. In dit hoofdstuk wordt het meenemen van maatregelen en systeemreacties voor Brzo inrichtingen beschreven. In de hoofdstukken 5 en verder worden de specifieke voor die categorie van toepassing zijnde maatregelen en systeemreacties beschreven.

4.1 Inleiding

Maatregelen zijn gericht op het voorkomen van een Loss of Containment (preventieve maatregelen, zie hoofdstuk 3) en op het verminderen van de effecten gegeven een Loss of Containment (repressieve maatregelen). In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de wijze waarop repressieve systemen meegenomen worden in de QRA. Daarnaast wordt aangegeven hoe gerekend moet worden met systeemreacties zoals een verandering in het pompdebiet. De volgende repressieve systemen worden meegenomen in een QRA berekening.

- Tankput (zie paragraaf 4.2.1)
- Inbloksystemen (zie paragraaf 4.2.2)
- Doorstroombegrenzers (zie paragraaf 4.2.3)
- Terugslagklep (zie paragraaf 4.2.4)
- Wegrijbeveiligingen en breekkoppelingen (zie paragraaf 4.2.5)
- Ingrijpen door operators (zie paragraaf 4.2.6)
- Brandbestrijdingssystemen (zie paragraaf 4.2.7)
- Overige repressieve systemen (zie paragraaf 4.2.8)

4.2 Repressieve systemen

4.2.1 Tankput

4.2.1.1 Definitie en kenmerken

Een tankput bestaat uit een omsloten of verdiept liggend gebied rondom een tank met als doel de verspreiding van een vloeistofplas te beperken. De inhoud van de tankput is ten minste gelijk aan de opslagcapaciteit van de tank. Indien meerdere tanks in de tankput aanwezig zijn is de inhoud ten minste gelijk aan de opslagcapaciteit van de grootste tank vermeerderd met 10% van de opslagcapaciteit van de overige tanks.

4.2.1.2 Modelleren

Een tankput wordt meegenomen in de berekening door het maximum plasoppervlak te beperken tot het oppervlak¹¹ van de tankput voor de continue scenario's en $1,5 \times$ het oppervlak van de tankput voor de instantane scenario's.

¹¹ Wanneer er meerdere tanks in één tankput staan, wordt gerekend met het oppervlak dat beschikbaar is voor de uitgestroomde vloeistof, dat wil zeggen het netto oppervlak.

Wanneer aangetoond wordt dat overtopping¹² niet mogelijk is (zie bijvoorbeeld [8, 9]), dan kan gerekend worden met een maximum plasoppervlak dat gelijk is aan het oppervlak van de tankput voor alle scenario's. Dit is het geval wanneer de hoogte van de dijkwand groter is dan de vloeistofkolom.

4.2.1.3 Voorbeeld

Een atmosferische tank met acrylonitril is geplaatst in een tankput van 2000 m². In de QRA moet gerekend worden met de scenario's zoals gegeven in Tabel 52.

Tabel 52 Scenario's voor een acrylonitril tank in een tankput van 2000 m²

LOC	Frequentie	Grootte vloeistofplas
Instantaan	5×10^{-6} per jaar	3000 m ²
10 minuten uitstroming	5×10^{-6} per jaar	2000 m ²
10 mm gat	1×10^{-4} per jaar	2000 m ²

4.2.2 Inbloksystemen

4.2.2.1 Definitie en kenmerken

Inbloksystemen dienen om de vrijgekomen hoeveelheid na een LOC te beperken. Een inbloksysteem bestaat uit een detectiesysteem, bijvoorbeeld gasdetectie, in combinatie met afsluitkleppen. De afsluiters kunnen automatisch of handmatig worden gesloten.

De effectiviteit van een inbloksysteem wordt bepaald door verschillende factoren, zoals de positie van gasdetectiemonitors en de verdeling daarvan over de verschillende windrichtingen. Verder zijn ook de detectielimiet en de reactietijd van het systeem evenals de interventietijd van de operator van belang.

Voor het meenemen van de werking van een inbloksysteem in de risicoanalyse moet voldaan worden aan de volgende voorwaarden:

- er moet een automatisch detectiesysteem aanwezig zijn, dat leidt tot een signalering in de controlekamer dan wel automatische aansturing van de inlokafsluiters. Een voorbeeld hiervan is een gasdetectiesysteem met monitors van voldoende gevoeligheid en voldoende detectiepunten. Bij signalering in de controlekamer dient deze continu bemand te zijn.
- het detectiesysteem en de afsluitkleppen moeten regelmatig getest worden.

Voor de situatie waarin geen sprake is van een automatisch detectiesysteem maar alleen van (visueel) toezicht door een operator wordt verwezen naar paragraaf 4.2.6.

4.2.2.2 Modelleren

Het effect van een inbloksysteem moet worden bepaald met behulp van een specifieke gebeurtenissenboom, waarbij tevens het falen van het systeem wordt beschouwd. Als richtlijn kan gebruik worden gemaakt van de hier genoemde

¹² het verschijnsel dat bij catastrofaal falen van de tank een vloedgolf ontstaat waardoor een gedeelte van de vloeistof over de rand van de tankput slaat en buiten de tankput terechtkomt.

standaardwaarden voor drie representatieve systemen. Met nadruk wordt er op gewezen dat onderstaande waarden alleen zijn opgenomen om een indruk te geven van algemeen geaccepteerde waarden. Voor een QRA dient uitgegaan te worden van de feitelijke situatie, zeker wanneer de faalkansen en reactietijden significant afwijken van de hier genoemde standaardwaarden.

1 Automatisch inbloksysteem

Een automatisch inbloksysteem is een systeem waarbij de detectie van het lek en het sluiten van de inlokafsluiters automatisch plaatsvindt. Actie van een operator is niet nodig. De kans op falen per aanspraak is gelijk aan 0,001, de tijd nodig voor het sluiten van de inlokafsluiters is gelijk aan 2 minuten.

2 Semi-automatisch inbloksysteem

Een semi-automatisch inbloksysteem is een systeem waarbij de detectie van het lek automatisch plaatsvindt en leidt tot een alarmsignaal in een continu bemande controlekamer. Na validatie van het signaal sluit de operator de inlokafsluiters met behulp van een schakelaar in de controlekamer. De kans op falen per aanspraak is gelijk aan 0,01, de tijd nodig voor het sluiten van de inlokafsluiters is gelijk aan 10 minuten.

3 Niet-automatisch inbloksysteem

Een niet-automatisch inbloksysteem is een systeem waarbij de detectie van het lek automatisch plaatsvindt en leidt tot een alarmsignaal in een continu bemande controlekamer. De operator heeft niet de mogelijkheid de inlokafsluiters dicht te doen met behulp van een schakelaar in de controlekamer, maar dient hiervoor buiten de controlekamer actie te ondernemen. Voor een dergelijk systeem geldt dat de benodigde tijd voor het goed uitvoeren van de benodigde acties dusdanig lang is, dat er geen effect is in de QRA, gegeven de algemeen toegepaste maximum uitstroomduur van 30 minuten.

Wanneer er meerdere inbloksystemen aanwezig zijn, moet de kans op falen van het hele inbloksysteem bepaald worden. Dit is niet zonder meer gelijk aan het product van de afzonderlijke faalkansen van elk inbloksysteem, omdat vaak sprake is van 'common mode failures'. In de praktijk blijkt het zeer moeilijk te zijn een faalkans van 0,001 of lager te bereiken voor (een combinatie van) inbloksystemen. Wanneer in een QRA gerekend wordt met een faalkans per aanspraak van minder dan 0,001, moet deze expliciet onderbouwd worden met een foutenboomanalyse, rekening houdend met 'common mode failures'.

4.2.2.3 Voorbeeld

Een 10 meter leiding (3") is verbonden met de vloeistoffase van een druktank ammoniak (inhoud 100 ton). Er is een inlokafsluiter aanwezig tussen de leiding en de tank. De scenario's voor breuk van de leiding zijn voor de verschillende systemen gegeven in Tabel 53.

Tabel 53 Scenario's voor leidingbreuk (3", 10 meter) aan een ammoniak druktank (inhoud 100 ton) voor verschillende typen inbloksystemen

Inbloksysteem	Werking	Frequentie	Debiet	Uitstroomduur
Geen	n.v.t.	3×10^{-6} per jaar	16,5 kg/s	1800 s
Automatisch inbloksysteem	faalt werkt	3×10^{-9} per jaar $2,997 \times 10^{-6}$ per jaar	16,5 kg/s 16,5 kg/s	1800 s 120 s
Semi-automatisch inbloksysteem	faalt werkt	3×10^{-8} per jaar $2,97 \times 10^{-6}$ per jaar	16,5 kg/s 16,5 kg/s	1800 s 600 s
Niet-automatisch inbloksysteem	n.v.t.	3×10^{-6} per jaar	16,5 kg/s	1800 s

4.2.3 Doorstroombegrenzer

4.2.3.1 Definitie

Een doorstroombegrenzer is een klep die sluit wanneer het debiet een ingestelde waarde overschrijdt.

4.2.3.2 Kenmerken

Een doorstroombegrenzer is een passief systeem, dat wil zeggen dat de klep automatisch dichtgaat wanneer het debiet een ingestelde waarde overschrijdt, bijvoorbeeld doordat de druk op een klep de veerdruk overschrijdt.

Een systeem waarbij een detector een signaal afgeeft waardoor een klep wordt dichtgestuurd is geen doorstroombegrenzer, maar een inbloksysteem (zie paragraaf 4.2.2).

4.2.3.3 Modelleren

Een doorstroombegrenzer wordt meegenomen in een QRA. De werking is afhankelijk van de verhouding tussen het berekende uitstroomdebiet en de instelwaarde van de doorstroombegrenzer. Hierbij gelden de faalkansen zoals weergegeven in Tabel 54.

Tabel 54 Faalkansen doorstroombegrenzer

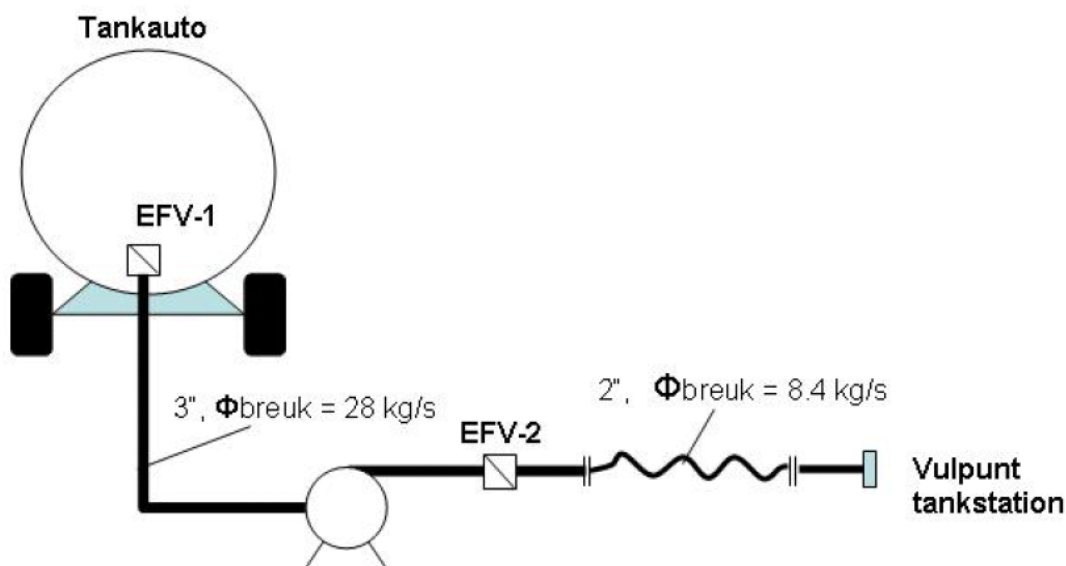
Verhouding uitstroomdebiet en instelwaarde	Kans op niet sluiten
uitstroomdebiet $\leq$ instelwaarde	1
instelwaarde < uitstroomdebiet $\leq 1,2 \times$ instelwaarde	0,12
Uitstroomdebiet > $1,2 \times$ instelwaarde	0,06

De reactietijd van de doorstroombegrenzer is gelijk aan vijf seconden.

4.2.3.4 Voorbeeld

Bij de verlading van een tankauto met 20 ton LPG (zie Figuur 5) zijn twee doorstroombegrenzers aanwezig, namelijk inwendig (EFV-1 tussen tankauto en pomp, instelwaarde 13,1 kg/s) en na de pomp (EFV-2 tussen pomp en vulpunt, instelwaarde 7,4 kg/s). Op basis van de uitstroomdebieten [10] zijn de

faalkansen voor de verschillende LOC's gegeven in Tabel 55, de resulterende scenario's zijn gegeven in Tabel 56.



Figuur 5 Verlading van een LPG tankauto [10]

Tabel 55 LOC's voor de verlading en de faalkansen voor de doorstroombegrenzers

LOC	Debiet (kg/s)	Kans op sluiten EFV-1	Kans op sluiten EFV-2
Breuk bodemleiding	28	0,94	n.v.t.
Lekkage bodemleiding	1,1	0	n.v.t.
Breuk losslang	8,4	0	0,88
Lekkage losslang	0,5	0	0

Tabel 56 Scenario's voor de verlading

LOC	Systeemreactie	Vervolgkans	Debiet	Tijdsduur
Breuk bodemleiding	EFV-1 sluit	0,94	28,0 kg/s	5 s
Breuk bodemleiding	EFV-1 faalt	0,06	28,0 kg/s	714 s
Lekkage bodemleiding	EFV-1 sluit niet	1	1,06 kg/s	1800 s
Breuk losslang	EFV-2 sluit	0,88	8,4 kg/s	5 s
Breuk losslang	EFV-2 faalt	0,12	8,4 kg/s	1800 s
Lekkage losslang	EFV-2 sluit niet	1	0,46 kg/s	1800 s

Opmerkingen:

1. De uitstroomduur van 5 s dient nog verlengd te worden met de tijd benodigd voor de uitstroom van de inhoud van de slangen met het gegeven uitstroomdebiet.
2. Er dient nog rekening gehouden te worden met de bijdrage van de uitstroming vanuit de opslagtank (zie paragraaf 4.2.4.4).

4.2.4 *Terugslagklep*

4.2.4.1 Definitie

Een terugslagklep is een klep die sluit wanneer de richting van het debiet tegengesteld is aan de ingestelde richting.

4.2.4.2 Kenmerken

Een terugslagklep is een passief systeem, dat wil zeggen dat de klep automatisch dichtgaat wanneer terugstroming optreedt.

Een systeem waarbij een detector een signaal afgeeft waardoor een klep wordt dichtgestuurd is geen terugslagklep, maar een inbloksysteem (zie paragraaf 4.2.2).

4.2.4.3 Modelleren

Een terugslagklep is in het algemeen weinig betrouwbaar. Indien deze niet regelmatig getest wordt, wordt de terugslagklep niet meegenomen in een QRA.

Wanneer een terugslagklep regelmatig getest wordt, wordt deze meegenomen in een QRA. De default reactietijd is gelijk aan vijf seconden en de default kans op falen is gelijk aan 0,06 per aanspraak.

4.2.4.4 Voorbeeld

Bij de verlading van een LPG tankauto naar een opslagtank treedt bij breuk van de verlaadslang ook terugstroming op. Het uitstroomdebiet vanuit de opslagtank is gelijk aan 7 kg/s. Bij aanwezigheid van een terugstroomklep is de bijdrage van de terugstroming aan het breukscenario gegeven in Tabel 57.

Tabel 57 Bijdrage van de terugstroming uit de opslagtank aan het breukscenario

LOC	Systeemreactie	vervolgkans	Debiet	Tijdsduur
Breuk losslang	Terugslagklep sluit	0,94	7 kg/s	5 s
Breuk losslang	Terugslagklep faalt	0,06	7 kg/s	1800 s

4.2.5 *Brekkoppelingen en wegrijbeveiligingen*

Brekkoppelingen en wegrijbeveiligingen zijn standaardvoorzieningen. Aangenomen wordt dat de aanwezigheid en de goede werking van deze voorzieningen opgenomen zijn in de faalfrequenties. Daarom worden brekkoppelingen en wegrijbeveiligingen niet meegenomen in de QRA als repressieve maatregelen.

4.2.6 Ingrijpen door operators

4.2.6.1 Beschrijving

Bij verlading is vaak een operator¹³ ter plaatse aanwezig die toezicht houdt op het proces en met behulp van een noodstopvoorziening een afsluiter kan bedienen. Het ingrijpen van een operator bij de verlading kan worden meegenomen in de QRA, mits voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

1. De ter plaatse aanwezige operator heeft van het begin tot en met het einde van de verlading zicht op de verlading en de laad-/losslang of -arm. In het bijzonder zit de operator tijdens de verlading niet in de cabine van de tankwagen of binnen in een gebouw.
2. Het ter plaatse aanwezig zijn van de operator wordt geborgd door een voorziening zoals een dodemansknop of door een procedure in het veiligheidsbeheerssysteem en wordt tijdens inspecties gecontroleerd.
3. Het inschakelen van de noodstopvoorziening door de aanwezige operator in het geval van een lekkage tijdens de verlading is vastgelegd in een procedure.
4. De ter plaatse aanwezige operator is voldoende opgeleid en is tevens bekend met de geldende procedures.
5. De noodstopvoorziening is volgens geldende normen gepositioneerd, zodanig dat er in korte tijd ongeacht de uitstroomrichting een noodknop bediend kan worden.

Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan kan de uitstroomduur in de QRA beperkt worden tot twee minuten. Als aan één van deze voorwaarden niet voldaan wordt, bedraagt de in de QRA aan te houden uitstroomduur 30 minuten. Het effectief aanspreken van een noodstopvoorziening heeft een faalkans van 0,1 per aanspraak.

4.2.6.2 Voorbeeld

Bij de verlading van ammoniak naar een tankauto (uitstroomdebiet 8,4 kg/s) is continu toezicht door de operator. De aanwezigheid van de operator is gewaarborgd door een procedure. De operator heeft de mogelijkheid direct een noodknop in te drukken, die de verlading stopt en kleppen sluit. De scenario's voor de verlading zijn gegeven in Tabel 58.

Tabel 58 Verlading scenario's bij continue aanwezigheid van een operator

LOC	systeemreactie	vervolgkan s	Debiet	Tijdsduur
Breuk laadslang	Ingrijpen operator	0,9	8,4 kg/s	120 s
Breuk laadslang	Geen ingrijpen operator	0,1	8,4 kg/s	1800 s
Lek laadslang	Ingrijpen operator	0,9	0,46 kg/s	120 s
Lek laadslang	Geen ingrijpen operator	0,1	0,46 kg/s	1800 s

Opmerkingen:

1. De uitstroomduur dient nog verlengd te worden met de tijd benodigd voor de uitstroom van de inhoud van de slangen met het gegeven uitstroomdebiet.

¹³ Een chauffeur kan bij verlading ook gezien worden als een operator

2. Er dient nog rekening gehouden te worden met een eventuele bijdrage van de uitstroming vanuit de tankauto.

4.2.7 *Brandbestrijdingssystemen (beperking brandoppervlak)*

De methode voor het waarderen van brandbestrijdingssystemen is voor PGS 15 opslagen uitgewerkt in hoofdstuk 8.

4.2.8 *Overige repressieve systemen*

Verschillende andere repressiesystemen kunnen zijn aangebracht om de gevolgen van een LOC zoveel mogelijk te beperken. Voorbeelden zijn waterschermen om de dispersie van (in water oplosbare) stoffen in de atmosfeer te beperken en het gebruik van schuim om plasverdamping te verminderen. Dergelijke repressiesystemen kunnen in de QRA-berekeningen gewaardeerd worden op voorwaarde dat de effectiviteit van het systeem vooraf is aangetoond bij het bevoegd gezag met bijvoorbeeld testen. Opname van het effect van een repressiesysteem in de QRA gebeurt als volgt:

1. Bepaal de reactietijd van het systeem, t_{react} .
2. Bepaal de effectiviteit van het systeem.
3. Stel de bronterm voor de tijdsperiode 0 tot t_{react} gelijk aan de bronterm zonder gebruik van het repressiesysteem.
4. Corrigeer de bronterm in de tijdsperiode volgend op t_{react} voor de effectiviteit van het repressiesysteem.
5. Verdisconteer de kans van falen op aanspraak van het repressiesysteem. Deze kans van falen moet voor elke situatie afzonderlijk bepaald worden en kan berekend worden met methodes als een foutenboomanalyse. (Indicatief voor algemeen geaccepteerde waarden is een waarde rond 0,05 per aanspraak)

4.3 **Systeemreacties**

In de QRA moet rekening worden gehouden met systeemreacties, zoals een verandering in het pompdebiet wanneer de tegendruk wegvalt.

4.3.1 *Pompen*

De aanwezigheid van pompen in leidingen en hun volumetrische stroom moeten worden betrokken bij het berekenen van de uitstroming. Bij breuk stroomafwaarts van de pomp kan, wanneer het pompdebiet bepaald is voor het uitstroomdebiet¹⁴, standaard worden uitgegaan van een uitstroomdebiet van 1,5 maal het nominale pompdebiet (50% toename door verlies van druk). In bijzondere gevallen kan op basis van de pompkarakteristiek bepaald worden wat het uitstroomdebiet is. Ook kan rekening worden gehouden met de werking van pompbeveiligingen en uitval van een pomp.

¹⁴ Bij een (tot vloeistof verdicht) gas onder druk zal het uitstroomdebiet vaak bepaald worden door de druk in de leiding (verzadigingsdruk plus pompdruk)

5 Stuwadoorsbedrijven als bedoeld in artikel 2.1 onder b Bevi

Voor stuwadoorsbedrijven is nog geen vastgestelde rekenmethode beschikbaar. Een concept rekenmethode is beschikbaar via de website van het RIVM.

6 Spoorwegemplacementsen als bedoeld in artikel 2.1 onder c Bevi

Voor spoorwegemplacementsen is nog geen vastgestelde rekenmethode beschikbaar. Een concept rekenmethode is beschikbaar via de website van het RIVM.

7 LPG tankstations als bedoeld in artikel 2.1 onder e Bevi

Voor LPG tankstation wordt gebruik gemaakt van vaste afstanden. Alleen in specifieke gevallen kan voor het groepsrisico nog een berekening worden uitgevoerd.

8 Inrichtingen met opslagvoorzieningen voor gevaarlijke stoffen als bedoeld in artikel 2.1, onder f Bevi

8.1 Inleiding rekenmethode PGS 15

In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor Inrichtingen met opslagvoorzieningen voor verpakte gevaarlijke stoffen, in het vervolg kortweg 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 worden elders 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.

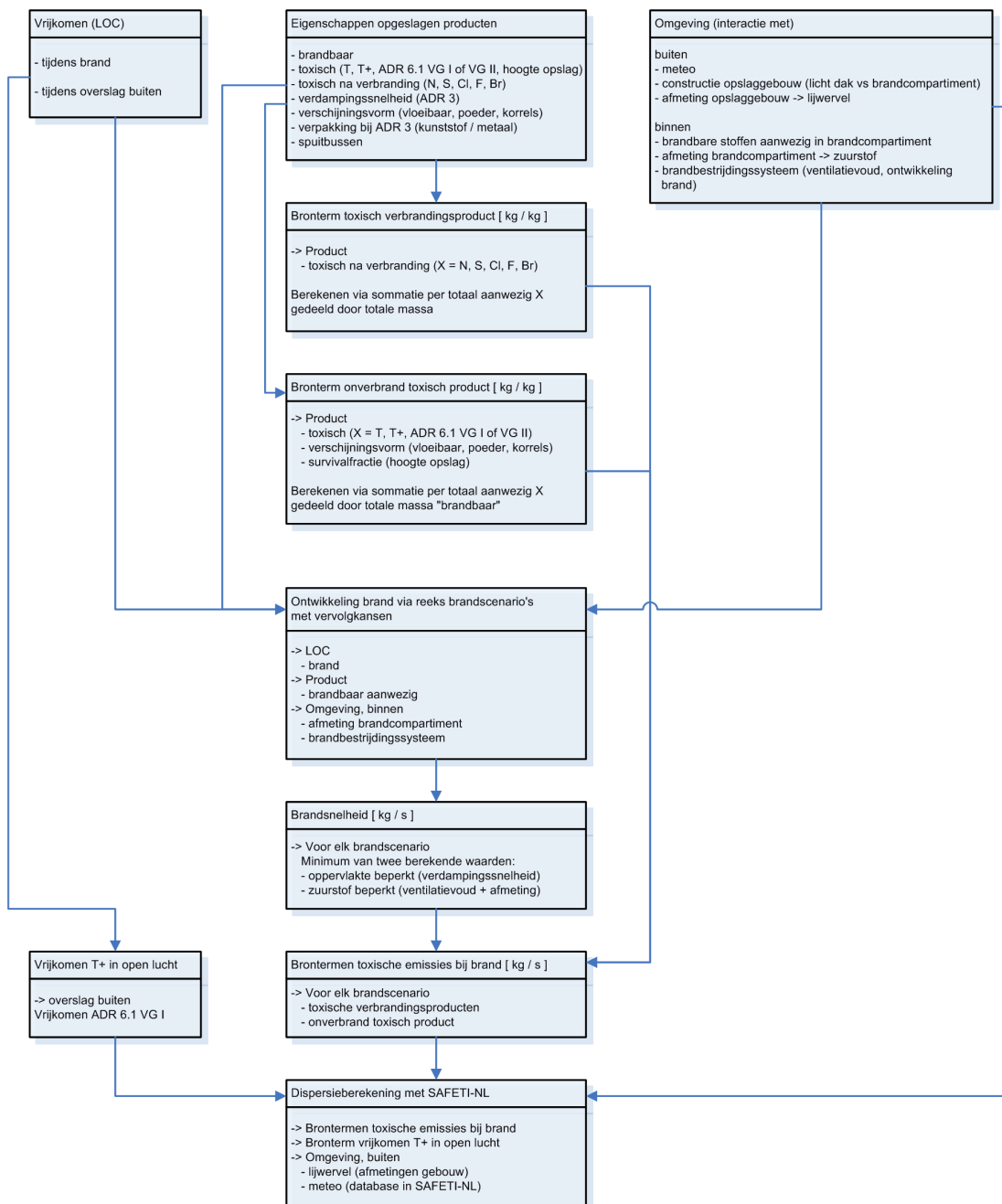
Het risico van een brand in een PGS 15-inrichting wordt dus bepaald door de volgende parameters:

1. Er moet een brand mogelijk zijn. In het brandcompartiment moet dus brandbaar materiaal aanwezig zijn. Zie de definitie van brandcompartiment in PGS 15 [11] en brandbare gevaarlijke stof in paragraaf 8.4.3 en in de verantwoording.
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 6 Stroomdiagram berekening risico's PGS 15 opslagvoorziening

8.2 Ontwikkeling brand: brandscenario's en kansen

8.2.1 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 [12] zijn beschrijvingen te vinden van de voorkomende brandbestrijdingssystemen. In PGS 15 [11] 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.

8.2.2 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.

8.2.3 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

De scenario's voor brand in een opslagvoorziening en de bijbehorende frequenties zijn gegeven in Tabel 59.

Tabel 59 Brand in een opslagvoorziening

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)	
	<i>beschermingsniveau</i> 1 en 2	3
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(fluor/broom)houdende stoffen hoeven zelf niet brandbaar te zijn.

- De brandfrequentie geldt per brandcompartiment. Voor opslagvoorzieningen die (nog) niet voldoen aan PGS 15 [11] (maar aan de CPR 15 richtlijn, [13] of [14]), 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 'hoger' (strikter) beschermingsniveau worden opgeslagen dan voorgeschreven in PGS 15, geldt de brandfrequentie behorende bij het in PGS 15 voorgeschreven beschermingsniveau.

8.2.4 *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 verversd). Met name de verbrandingssnelheid van de opgeslagen stoffen is hiervan afhankelijk.

In *Tabel 60* 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 weergegeven in *Tabel 61*).

Tabel 60 Ventilatievoud en (vervolg)kansen op brand van een bepaalde omvang per brandbestrijdingssysteem (als percentage van de totale brandkans, genoemd in Tabel 59)

Brandbestrijdingssysteem	Ventilatie-voud	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 ¹⁵	4 & ∞	35%	45%	10%	5%	5%
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval	∞	-	20%	30%	28%	22%
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer ¹⁵	4 & ∞	-	20%	30%	25%	25%
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	4 & ∞	-	-	-	60%	40% ¹⁶
Beschermingsniveau 2 –						
inzettijd < 6 min	∞	-	-	-	72%	28%
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	20%	30%	28%	22%
2.1b Idem NIET in kunststof	∞	-	20%	30%	28%	22%
2.1c Geen ADR klasse 3						

¹⁵ 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.

¹⁶ Bij "Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer" geldt een maximaal opslagoppervlak van 500 m².

Beschermingsniveau 2 – inzettijd < 15 min	∞	-	-	-	55%	45%
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	-	-	78%	22%
2.2b Idem NIET in kunststof	∞	-	-	-	78%	22%
2.2c Geen ADR klasse 3						
Beschermingsniveau 3	∞	-	-	-	78%	22%

Opmerkingen:

- De in *Tabel 60* vermelde brandbestrijdingssystemen worden beschreven in het handboek brandbestrijdingssystemen [12]. In PGS 15 [11] zijn acht brandbeveiligings-installaties 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 59.
- 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 61*) 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 [15]:
 - 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 60 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 vervolgcansen van de brand-oppervlakken groter dan die van de betreffende opslagvoorziening opgeteld bij de kans op brand ter grootte van de opslagvoorziening. De vervolgcans voor het brandscenario in een 200 m² opslagvoorziening is bijvoorbeeld gelijk aan de som van de vervolgcansen 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 60* en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. Dit brandoppervlak kan groter zijn dan 900 m², zonder dat pluimstijging wordt aangenomen. De vervolgcans bij het laatstgenoemde brandscenario is 1 – (vervolg)kans op het kleinste brandoppervlak.

Voor opslag van ADR klasse 3 stoffen gelden volgens PGS 15 onder bepaalde omstandigheden afwijkende maximaal toegestane opslagoppervlakken (ten opzichte van *Tabel 60*).

8.2.5 *Bepaling brandduur per brandbestrijdingssysteem*

In *Tabel 61* is per brandbestrijdingssysteem voor brandcompartimenten met een oppervlak tot 2.500 m² de brandduur en de ventilatievoud voor verschillende brandoppervlakken samengevat.

Tabel 61 Brandduur per brandbestrijdingssysteem

Brandbestrijdingssysteem	Brandduur [minuten]									
	20 m ²		50 m ²		100 m ²		300 m ²		900 m ²	
brandoppervlak	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞
ventilatievoud	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 ¹⁷	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 ¹⁸
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 6 min	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
2.1b Idem NIET in kunststof	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
2.1c Geen ADR klasse 3										
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2b Idem NIET in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2c Geen ADR klasse 3										
Beschermingsniveau 3	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30

¹⁷ De handbediende deluge-installatie 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.

¹⁸ 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.

8.3 Parameter: Resulterende brandsnelheid [kg/s]

8.3.1 Definitie

De brandsnelheid is de hoeveelheid uitgangspanduct 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 8.3.2).

8.3.2 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 3¹⁹ 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.

8.3.3 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

¹⁹ in voorkomende gevallen moet ook het aandeel ADR klasse 2 stoffen meegenomen worden

brandsnelheid $B_{\max}$ is gelijk aan het product van de brandsnelheid en het brandoppervlak A:

$$B_{\max} = B \times A \quad (8.1)$$

waarin

$B_{\max}$	= maximale brandsnelheid [kg/s]
B	= brandsnelheid [kg/m ² .s]
A	= brandoppervlak [m ²]

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:

$$B = 0,100 \times \langle y \rangle + 0,025 \times (1 - \langle y \rangle) \quad (8.2)$$

waarin

B	= brandsnelheid [kg/m ² .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.

8.3.4 *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 $C_aH_bO_cCl_dNeS_fX$ als gedefinieerd in paragraaf 8.4.3 - als volgt berekend:

$$B_{O_2} = \Phi_{O_2} \times M_w / ZB \quad (8.3)$$

met

$$\Phi_{O_2} = 0,2 (1 + 0,5 \times F) V / (24 \times 1800) \quad (8.4)$$

en

$$ZB = \langle a \rangle + 0,25 \langle b \rangle - 0,5 \langle c \rangle - 0,25 \langle d \rangle + 0,1 \langle e \rangle + \langle f \rangle \quad (8.5)$$

waarin

- B_{O_2} = brandsnelheid, uitgaande van een zuurstofbeperkte brand [kg/s];
- Φ_{O_2} = beschikbare (of toegevoerde) hoeveelheid zuurstof [kmol/s];
- M_w = gemiddelde molgewicht²⁰ van de gemiddelde samenstelling $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fX$ uit paragraaf 0 [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 <a>, , <c>, <d>, <e> en <f> 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%. De denkbeeldige stof $C_{3,90}H_{8,50}O_{1,06}Cl_{0,46}N_{1,17}S_{0,51}P_{1,35}$ voldoet aan dit criterium.

8.3.5 *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 8.5 en 8.6), is daarmee de minimum waarde van B_{max} en B_{O_2} .

²⁰ Het gewichtsgemiddelde molgewicht is het molgewicht gecorrigeerd voor de aanwezige massa stof.

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

8.4.1 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.

8.4.2 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.

8.4.3 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_{*i*}H_{*i*}O_{*i*}Cl_{*i*}N_{*i*}S_{*i*}Z afzonderlijk het aantal molen N te berekenen en het totaal te sommeren:

$$N = \sum (<v> \times \%_{\text{actief}(i)}) \times Q_i / M_{w(i)} \quad (8.6)$$

waarin

N	= aantal molen stikstof in het brandcompartiment [mol];
<v>	= aantal stikstofatomen in de werkzame stof <i>i</i> [-];
Q _{<i>i</i>}	= opgeslagen hoeveelheid stof <i>i</i> [kg];
% _{actief} (<i>i</i>)	= gewichtsfractie werkzame stof in stof <i>i</i> [-]
M _w (<i>i</i>)	= molgewicht stof <i>i</i> [kg/kmol].

De waarde <e> in de gemiddelde samenstelling C_{*a*}H_{*b*}O_{*c*}Cl_{*d*}N_{*e*}S_{*f*}X wordt als verkregen door het aantal molen stikstof in het brandcompartiment (N) te delen op het aantal molen van de gemiddelde samenstelling in het brandcompartiment ((Q_{totaal} × %_{actief}) / $\overline{M}_w$):

$$<e> = N \times \overline{M}_w / (Q_{\text{totaal}} \times \%_{\text{actief}}) \quad (8.7)$$

waarin

$\overline{M}_w$	= gewichtsgemiddelde ²¹ molgewicht van de opgeslagen stoffen [kg/mol];
------------------	---

²¹ Het gewichtsgemiddelde molgewicht is het molgewicht gewogen over de aanwezige massa stof.

$$Q_{\text{totaal}} = \sum Q_i, \text{ de totale hoeveelheid, in het brandcompartiment opgeslagen stoffen [kg]}$$

$$\overline{\%}_{\text{actief}} = \text{gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof in de opgeslagen stoffen [-].}$$

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 8.9 is een voorbeeldberekening gegeven.

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. De gemiddelde samenstelling moet in overleg met het bevoegd gezag bepaald worden. Uitgangspunt hierbij is de vergunde situatie, zodat de gemiddelde samenstelling niet mag worden overschreden gedurende het jaar.
- 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 een beginnende 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 molecuul-formule 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 in overleg met het bevoegd gezag een representatieve samenstelling worden bepaald. Een defaultwaarde is een stikstof-, chloor- en zwavelgehalte van 10%.

8.5 Parameter: Bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

8.5.1 Definitie

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

8.5.2 Kenmerken

Omrekening op basis van molgewichten en omzettingpercentages.

8.5.3 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 .

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 ($F = \infty$):

$$\Phi_{NO_2} = B_{max} \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{NO_2} / M_w \quad (8.8)$$

$$\Phi_{HCl} = B_{max} \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{HCl} / M_w \quad (8.9)$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{max} \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{SO_2} / M_w \quad (8.10)$$

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

$$\Phi_{NO_2} = \text{Min}(B_{max}, B_{O_2}) \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{NO_2} / M_w \quad (8.11)$$

$$\Phi_{HCl} = \text{Min}(B_{max}, B_{O_2}) \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{HCl} / M_w \quad (8.12)$$

$$\Phi_{SO_2} = \text{Min}(B_{max}, B_{O_2}) \times \overline{\%_{oactief}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{SO_2} / M_w \quad (8.13)$$

waarin

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

η = omzettingpercentage [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%.

8.6 Parameter: Bronterm onverbrand toxisch product [kg/s]

8.6.1 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.

8.6.2 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.

8.6.3 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 ($F = \infty$):

$$\Phi_{\text{tox}} = B_{\text{max}} \times \text{massa \%} \times \overline{\%_{\text{actief, tox}}} \times sf \quad (8.14)$$

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

$$\Phi_{\text{tox}} = \text{Min}(B_{\text{max}}, B_{\text{O2}}) \times \text{massa \%} \times \overline{\%_{\text{actief, tox}}} \times sf \quad (8.15)$$

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 [-];

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

sf = survivalfractie [-].

Tabel 62 Rekenwaarde voor de survivalfractie

Rekenwaarde voor de survivalfractie	Opslaghoogte toxische stoffen	
	≤ 1,80 m	> 1,80 m
Toxische vloeistoffen en poeders		
<u>Beschermingsniveau 1</u>		
- Alle brandbestrijdingssystemen m.u.v. 1.5 en 1.8 ²²		
- opslagen ≤ 300 m ²	10%	30%
- opslagen > 300 m ²	1%	10%
- Brandbestrijdingssysteem 1.5 en 1.8 ^d	1%	10%
<u>Beschermingsniveau 2 of 3</u>	1%	10%
Overige toxische vaste stoffen (granulaat)		
Beschermingsniveau 1, 2 of 3	1%	1%

Opmerkingen:

- Bij de berekeningen wordt per brandcompartiment uitgegaan van één survivalfractie (uit Tabel 62) 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% ($\frac{2}{3} \times 1\% + \frac{1}{3} \times 10\%$).
- 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.

8.6.4 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]

²² De nummers corresponderen met de brandbestrijdingssystemen

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

8.7.1 Definitie

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

8.7.2 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.

8.7.3 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 63.

Tabel 63 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.

8.7.4 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:

$$\Phi_{V,1} = 0,1 \times p \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times f_{<10\mu\text{m}} \quad (8.16)$$

waarin

- $\Phi_{V,1}$ = bronsterkte ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I [kg]
 $f_{<10\mu\text{m}}$ = fractie van de deeltjes met een diameter $\leq 10 \mu\text{m}$; deze fractie kan na inhalatie door mensen schade veroorzaken [-]
 p = verpakkingsgrootte[kg]. Deze primaire verpakking kan een kleinere hoeveelheid zijn dan de in Tabel 63 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 8.6.4 vermelde dosis-effect relatie voor verpakingsgroep I:

$$\text{Pr} = -5,47 + \ln (C^2 \times t)$$

8.7.5 *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 verpakingsgroep 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.

8.8 Overige invoerparameters in SAFETI-NL

De scenario's moeten worden ingevoerd met het 'warehouse'-model in SAFETI-NL. In aanvulling op Module B van de Handleiding Risicoberekeningen BEVI gelden de volgende kanttekeningen:

- In SAFETI-NL kan bij het tabblad *<materials>* een 'warehouse material' worden aangemaakt, waarbij de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen in het brandcompartiment direct kan worden ingevoerd (bijvoorbeeld berekend op basis van een via de website van het RIVM beschikbaar gestelde spreadsheet programma)²³. Zijn in een stof of mengsel andere elementen aanwezig dan de 13 weergegeven in het 'warehouse material', dan moet daar rekening mee worden gehouden door de (gemiddelde) molmassa van de betreffende stof of mengsel bij 'total molecular weight' in te vullen.
- In het warehouse model kan bij het tabblad *<warehouse materials>* het aangemaakte mengsel of de afzonderlijke stoffen worden geselecteerd, waarbij zowel de opgeslagen hoeveelheid ('stored mass') als de fractie werkzame stof ('active mass') moet worden aangegeven.
- Bij de berekening van de dispersie moet rekening worden gehouden met de door het gebouw optredende lijwervel. In het tabblad *<building>* is de optie 'roof / lee effect' standaard aangevinkt. Voor de lengte ('length') en de breedte ('width') wordt de wortel uit de (vloer)oppervlakte van het opslaggebouw genomen. Er dient derhalve altijd van een vierkant gebouw te worden uitgegaan. Voor de hoogte ('height') wordt de hoogte van het

²³ Het warehouse model biedt ook de mogelijkheid de molecuulformule voor alle stoffen afzonderlijk in te voeren. Deze aanpak is i.t.t. spreadsheet op de website niet gecontroleerd en wordt derhalve niet voorgeschreven

gebouw genomen. Verder moet een 'building angle' van 0 graden worden gehanteerd.

- Indien de opslagvoorziening deel uitmaakt van een groter (opslag)gebouw kan dat worden aangegeven door de optie '*warehouse is part of a larger building*' aan te vinken en vervolgens het oppervlak ('*warehouse area*') en de hoogte ('*warehouse height*') van de opslagvoorziening in te voeren. De ingevoerde afmetingen van de opslagvoorziening zijn daarbij altijd kleiner (of gelijk aan) dan die van het opslaggebouw. Hierbij geldt dat er met maximaal 2.500 m² gerekend moet worden (50 m × 50 m), 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.
- In het tabblad <*fire scenarios*> moet altijd '*use PGS-15 scenarios*' zijn aangevinkt. Selecteer het van toepassing zijnde brandbestrijdingssysteem ('*fire-fighting system*'). De nummers komen overeen met die in *Tabel 60* en *Tabel 61*. Bij '*method of setting likelihood of doors being open*' moet gekozen worden tussen handbediende deuren ('*manual closing*') en automatische, bij brand zelfsluitende deuren ('*automatic closing*'). Bij '*K1/K2 liquids*' moet worden aangegeven of ADR klasse 3 stoffen aanwezig zijn en zo ja in welke soort verpakking (wel of geen kunststof): '*not stored*', '*stored in synthetic packaging*' of '*stored in other packaging*'. Voor de brandsnelheid tenslotte moet bij '*reaction rate calculation*' via de optie '*from K1/K2 mass fraction*' het aandeel ADR klasse 3 worden aangegeven ('*mass fraction*'). Op basis van formule (8.2) berekent SAFETI-NL de gemiddelde brandsnelheid. In een QRA mag op basis van beschikbare specifieke gegevens een afwijkende brandsnelheid worden gehanteerd. In dat geval kan de optie '*user defined*' worden geselecteerd en vervolgens een berekende brandsnelheid worden opgegeven ('*specified reaction rate*').
- In het tabblad <*geometry*> worden de coördinaten ingevuld.
- In het tabblad <*risk*> is de brandfrequentie al via het geselecteerde brandbestrijdingssysteem ingevuld.
- Als alle noodzakelijke velden zijn ingevuld en op OK wordt gedrukt, worden op basis van *Tabel 59*, *Tabel 60* en *Tabel 62* alle brandscenario's gegenereerd. Indien afwijkende brandscenario's moeten worden gehanteerd, bijvoorbeeld bij de opslag van spuitbussen of bij afwijkende brandbestrijdingssystemen, moet in het tabblad <*fire scenarios*> de optie '*use PGS-15 scenarios*' worden uitgezet. Daarna kan per scenario het brandoppervlak ('*fire surface area*'), ventilatievoud ('*ventilation rate option*': '*specified*' of '*infinite*'), brandduur ('*fire duration*') en de vervolgcans ('*probability*') worden aangepast. In het tabblad <*risk*> kan vervolgens de brandfrequentie worden ingevuld.
- 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'. Indien deze bijdrage relevant is ten opzichte van de toxische verbrandingsproducten, wordt het vrijkomen van deze onverbrande stoffen afzonderlijk gemodelleerd met behulp van het <*user-defined source*>-model. Dit leidt nabij de opslagvoorziening in principe tot een overschatting van het risico. Omdat in de praktijk vaak of de toxische verbrandingsproducten of één van de onverbrande toxische voorbeeldstoffen bepalend zijn voor het risico, werkt deze benadering in de praktijk voldoende.

8.9 Voorbeeldberekening

Dit voorbeeld dient uitsluitend ter illustratie van de rekenmethodiek.

8.9.1 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 64 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 ²⁴	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			

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.

8.9.2 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 59). De vervolgekans op een brand met een omvang van 20, 50, 100, 300 en 600 m² bedraagt respectievelijk 89%, 9%, 1%, 0,5% en 0,5. Volgens Tabel 60 en Tabel 61 zijn de volgende brandscenario's van toepassing:

²⁴ Ammonia ("NH₄OH") is een oplossing van 25% ammoniak (NH₃) in water. Bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opslagen stoffen wordt het water niet meegenomen.

Tabel 65 Ventilatievoud, brandoppervlak, -duur en -frequentie

Ventilatievoud [-]	Brandoppervlak [m ²]	Brandduur [min]	Kans [per jaar]
Deur gesloten: 4	20	10	$0,89 \times 0,98^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 7,68 \times 10^{-4}$
4	50	10	$0,09 \times 0,98^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 7,76 \times 10^{-5}$
4	100	10	$0,01 \times 0,98^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
4	300	30	$0,01 \times 0,98^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
Deuren open: ∞	20	30	$0,89 \times 0,02^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,57 \times 10^{-5}$
∞	50	30	$0,09 \times 0,02^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,58 \times 10^{-6}$
∞	100	30	$0,01 \times 0,02^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,76 \times 10^{-7}$
∞	300	30	$0,005 \times 0,02^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-8}$
∞	600 ²⁶	30	$0,005 \times 0,02^{25} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-8}$
			Totaal = $8,80 \times 10^{-4}$

8.9.3 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 de formule in paragraaf 8.4.3 10.300 kg stikstof:

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

734 kmol stikstof komt overeen met $734 \times 14,01 =$ 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 ($1 \times 100.000 \times 20\% \times 14,01/172,0$) en 250 ton TDI 40.200 kg ($2 \times 250.000 \times 100\% \times 14,01/174,2$). Daarmee komt de totale in de opgeslagen stoffen aanwezige hoeveelheid stikstof op 52 ton (zie Tabel 66). 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

²⁵ De kans dat de automatische bij brand zelfsluitende deuren niet functioneren en de deuren blijven openstaan, is 0,02 [15].

²⁶ Vanwege het feit dat de 50 ton kryoliet naar verwachting niet bij een brand betrokken zal raken (zie paragraaf 8.9.3), mag worden gerekend met een brandoppervlak van de opslagloods verminderd met het door kryoliet daadwerkelijk ingenomen vloeroppervlak (tenzij deze stof over het gehele brandcompartiment verspreid is opgeslagen).

chloor (Cl; 35,45 kg/kmol), 5 ton zwavel (S; 32,06 kg/kmol) en 3 ton fosfor (P; 31,97 kg/kmol):

Tabel 66 Aanwezige hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P [in ton]

	C	H	O	Cl	N	S	P
Ammonia (NH ₃)	0,0	2,2	5,7	0,0	10,3	0,0	0,0
Dichlobenil C ₇ H ₃ 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

- Voor het bepalen van de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fP_g is de gewichts-gemiddelde fractie werkzame stof en het gewichtsgemiddelde molgewicht nodig. De fractie werkzame stof $\overline{\%_{\text{actief}}}$ 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 gewichtsgemiddelde molgewicht wordt als volgt berekend: $(50/750) \times 17,0$ (ammonia) + $(100/750) \times 172,0$ (dichlobenil) + $(150/750) \times 46,1$ (ethanol) + $(200/750) \times 242,4$ (ethoprophos) + $(250/750) \times 174,2$ (TDI) = 156,0 kg/kmol.
- De waarde $\langle e \rangle$ voor stikstof in de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fP_g kan met formule in paragraaf 8.4.3 worden afgeleid (met N in kmol):

$$\langle e \rangle = N \times \overline{M}_w / (Q_{\text{totaal}} \times \overline{\%_{\text{actief}}}) = (52 / 14,01) \times 156 / (750 \times 60,3\%) = 1,28$$

De waarde $\langle a \rangle$ voor koolstof bedraagt $(251/12,01) \times 156 / (750 \times 60,3\%) = 7,21$ etc. Dit leidt uiteindelijk tot de volgende samenstelling: C_{7,21}H_{11,12}O_{2,17}Cl_{0,08}N_{1,28}S_{0,06}P_{0,03}. Het stikstof-, zwavel- en chloorgehalte kan als volgt worden berekend:

- stikstofgehalte = $1,28 \times 14,01 \times 60,3\% / 156 = 7,0\%$
- zwavelgehalte = $0,06 \times 32,06 \times 60,3\% / 156 = 0,7\%$
- chloorgehalte = $0,08 \times 35,45 \times 60,3\% / 156 = 1,1\%$

Het verwerken van de fractie werkzame stof ($\%_{\text{actief}}$) in de formule's in paragraaf 8.4.3 kan eventueel achterwege worden gelaten door te rekenen met een gecorrigeerde hoeveelheid aanwezige (100% werkzame) stof (Q_i).

8.9.4 Brandsnelheid

Zuurstofbeperkte brand

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof kleiner is dan de benodigde hoeveelheid zuurstof, is de brand zuurstofbeperkt. De brandsnelheid B_{O2} kan met de formules hieronder worden berekend:

$$B_{O_2} = \Phi_{O_2} \times M_w / ZB \quad (8.3)$$

$$\Phi_{O_2} = 0,2 (1 + 0,5 \times F) V / (24 \times 1800) \quad (8.4)$$

$$ZB = <a> + 0,25 - 0,5 <c> - 0,25 <d> + 0,1 <e> + <f> \quad (8.5)$$

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 Φ_{O_2} $0,2 (1 + 0,5 \times 4) \times 3600 / (24 \times 1800) = 0,05 \text{ kmol/s}$. De zuurstofbehoefte ZB is $7,21 + (0,25 \times 11,12) - (0,5 \times 2,17) - (0,25 \times 0,08) + (0,1 \times 1,28) + 0,06 = 9,1 \text{ [mol/mol]}$. De brandsnelheid B_{O_2} waarbij de toevoer van zuurstof limiterend is, bedraagt volgens de eerste formule $0,05 \times 156 / 9,1 = 0,86 \text{ kg/s}$.

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 :

$$B_{\max} = B \times A \quad (8.1)$$

$$B = 0,100 \times <y> + 0,025 \times (1 - <y>) \quad (8.2)$$

De verdampingssnelheid B wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheid ADR klasse 3 stoffen volgens formule (8.2). Omdat alleen ethanol in deze stofcategorie valt, is het aandeel ontvlambare stoffen $<y>$ 20 massa% (150 ton / 750 ton). Dit resulteert in een gemiddelde verdampingssnelheid van $0,040 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ($0,100 \times 20\% + 0,025 \times 80\%$).

De maximale brandsnelheid $B_{\max}$ is bij een brandoppervlak van 20 m^2 bedraagt $0,040 \times 20 = 0,80 \text{ kg/s}$. 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 $B_{\max} > B_{O_2}$ en de brand zuurstofbeperkt wordt.

8.9.5 *Bronsterkte toxische verbrandingsproducten en onverbrande toxische stoffen*

Toxische verbrandingsproducten

Bij een brand in een opslagvoorziening waarin verpakte gevaarlijke stoffen met een gemiddelde samenstelling van $C_{7,21}H_{11,12}O_{2,17}Cl_{0,08}N_{1,28}S_{0,06}P_{0,03}$ worden opgeslagen, komen onder andere stikstofdioxide (NO_2), zwaveldioxide (SO_2) en zoutzuurgas (HCl) vrij. Het verbrandingsproduct van fosfor (P) wordt niet beschouwd: fosfor is alleen meegenomen om de massabalans in de voorbeeldberekening kloppend te krijgen. Bij een brandoppervlak van 50 m^2 worden bijvoorbeeld de volgende bronsterkten berekend (formule 8.8 t/m 8.13):

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

$$\Phi_{\text{NO}_2} = B_{\text{max}} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{\text{NO}_2} / M_w = 2 \times 60,3\% \times 1,28 \times 46 \times 10\% / 156 = 0,046 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{\text{HCl}} = B_{\text{max}} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{\text{HCl}} / M_w = 2 \times 60,3\% \times 0,08 \times 36,5 \times 100\% / 156 = 0,023 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{\text{SO}_2} = B_{\text{max}} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{\text{SO}_2} / M_w = 2 \times 60,3\% \times 0,06 \times 64 \times 100\% / 156 = 0,028 \text{ kg/s}$$

Bij ventilatievoud 4 is de brand zuurstofbeperkt :

$$\Phi_{\text{NO}_2} = B_{\text{O}_2} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{\text{NO}_2} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 1,28 \times 46 \times 10\% / 156 = 0,020 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{\text{HCl}} = B_{\text{O}_2} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{\text{HCl}} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 0,08 \times 36,5 \times 100\% / 156 = 0,010 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{\text{SO}_2} = B_{\text{O}_2} \times \overline{\%_{\text{actief}}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{\text{SO}_2} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 0,06 \times 64 \times 100\% / 156 = 0,012 \text{ kg/s}$$

Voor de andere oppervlakken zijn de bronsterkten weergegeven in Tabel 67.

Onverbrande (zeer) toxische stoffen

Ten gevolge van 'niet-optimale' verbrandingscondities komt een deel van de opgeslagen stoffen 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 62).

Bij een brandoppervlak van opnieuw 50 m² worden bijvoorbeeld de volgende bronsterkten berekend voor het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen (formule 8.14 en 8.15). Voor de andere oppervlakken zijn de bronsterkten weergegeven in Tabel 67.

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

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

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

Bij ventilatievoud 4 is de brand zuurstofbeperkt :

$$\text{VG I: } \Phi_{\text{T+}} = B_{\text{O}_2} \times \text{massa \%} \times \overline{\%_{\text{actief, tox}}} \times sf = 0,86 \times 27\% \times 10\% \times 10\% = 0,002 \text{ kg/s}$$

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

In Tabel 67 zijn per brandscenario alle relevante QRA parameters samengevat.

Tabel 67 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 ²⁷	VG II ²⁷
20	4	10	7,68E-04	0,80	0,018	0,011	0,009	0,002	0,027
50	4	10	7,76E-05	0,86	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
100	4	10	8,62E-06	0,86	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
300	4	30	8,62E-06	0,86	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	0,272	0,064	0,800

8.9.6 Dispersie

Bij de berekening van de dispersie moet rekening worden gehouden met de door het gebouw optredende lijwervel. Volgens paragraaf 8.8 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.

8.9.7 Resultaat risicoberekening in SAFETI-NL

De scenario's zijn ingevoerd in SAFETI-NL. De resultaten voor het plaatsgebonden risico zijn in Figuur 7 weergegeven: de opslag van verpakte gevaarlijke stoffen leidt in dit voorbeeld niet tot een PR 10⁻⁶ contour.

²⁷ VG = verpakkingsgroep



Figuur 7 Plaatsgebonden risico voorbeeldberekening

9 Ammoniakoelinstallaties als bedoeld in artikel 2.1 onder g Bevi

Voor ammoniak koelinstallaties is nog geen vastgestelde rekenmethode beschikbaar. Een concept rekenmethode is beschikbaar via het RIVM.

- 10 Gastransportinrichtingen als bedoeld in artikel 1b, onderdeel h, van de Revi en Mijnbouwwerken als bedoeld in artikel 1b, onderdeel i, van de Revi.

Lijst met afkortingen

Bevi	Besluit externe veiligheid inrichtingen
Bevb	Besluit externe veiligheid buisleidingen
Brzo	Besluit risico's zware ongevallen
CBOP	Casing blowout potential
CITHP	Closed-in tubing head pressure.
FBHP	Flowing bottom hole pressure
IeM	Het ministerie van Infrastructuur en Milieu
LoC	Loss of containment
Revi	Regeling externe veiligheid inrichtingen
NOGEPA	Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
TBOP	Tubing blowout potential

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Blowout	Een ongeplande en ongehinderde uitstroming van olie en/of gas vanuit de put ter hoogte van de putmond ('well head').
Casing	De buitenste leiding in een put.
Casing blowout potential	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de casing.
Closed-in tubing head pressure	Druk die boven in de put (ter hoogte van de 'upper master gate valve') heerst als de production valve en/of de master gate valves lange tijd gesloten zijn (limietwaarde).
Coiled-tubing	Putonderhoud waarbij een flexibele leiding vanaf een spoel in de tubing wordt aangebracht (met als doel chemicaliën te kunnen toevoegen aan de put). De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
Completion	Laatste fase in het proces waarbij de put gereedgemaakt wordt voor productie.
Flowing bottom hole pressure	Druk die onderin de put (ter hoogte van de 'bottom hole valve') heerst tijdens regulier gebruik (productie of injectie).
Gastransport-inrichting	Inrichting bestemd voor het transport en de distributie van aardgas.
Mijnbouwwerk	Mijnbouwwerk als bedoeld in artikel 1, onderdeel n, van de Mijnbouwwet, bestemd voor de winning, opslag, bewerking en het gereedmaken voor transport van gevaarlijke stoffen, dat tevens een inrichting is op grond van de Wet milieubeheer, met uitzondering van mijnbouwinstallaties als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet.
Offgas	Verzamelaam voor verschillende typen residugassen.
Snubbing	Putonderhoud waarbij onderdelen in de put worden gebracht

Tubing	door het tijdelijk verhogen van de druk bovenin de put. Deze techniek wordt naar verluidt niet in Nederland toegepast.
Tubing blowout potential	De binnenste leiding in een put en tevens het deel waardoor de olie en/of het gas stroomt.
Wireline	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de tubing.
Workover	Putonderhoud waarbij onderdelen met behulp van een kabel in de put worden gebracht of uit de put worden verwijderd. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
	Grootschalig onderhoud aan de put waarbij (doorgaans) delen van de tubing, verbindingstukken of andere leidingstukken worden vervangen. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie (zie Figuur 8) is gesloten. De put zelf is ontdaan van winningsproduct.

10.1 Inleiding rekenmethode mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

In dit hoofdstuk wordt de rekenmethode voor de externe veiligheid van mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen beschreven. De rekenmethode is alleen van toepassing op risicoberekeningen in het kader van het externe-veiligheidsbeleid dat is vastgelegd in het Bevi.

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 saneringssituaties te voorkomen, moet ook de bronkant van deze 10^{-6} contour via de Wet milieubeheer geborgd zijn. Een "Bevi-QRA" moet dus zoveel mogelijk uitgaan van de vergunde situatie en maximaal optredende drukken.

De rekenmethode is van toepassing op de volgende typen inrichtingen:

- Brzo-plichtige mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen. Deze zijn aangewezen via artikel 2.1, onderdeel a, van het Bevi.
- Inrichtingen waar aardgasdruk gereduceerd wordt of aardgashoeveelheid gemeten wordt, voor zover de gastoevoerleiding een grotere diameter heeft dan 20 inch. Deze zijn aangewezen via artikel 1b, onderdeel g, van de Revi.
- Mijnbouwwerken die in 2015 worden aangewezen via artikel 1b, onderdeel h, van de Revi.

De volgende activiteiten vallen binnen het toepassingsgebied van de rekenmethode:

- Productie van aardgas en aardolie vanuit ondergrondse reservoirs.
- Injectie van aardgas en aardolie in ondergrondse reservoirs.
- Behandeling van aardgas, aardolie en mengsels van aardgas en aardgascondensaat.
- Activiteiten ter ondersteuning van het transport en de distributie van aardgas, aardolie en aardgascondensaat.

Voor andere stoffen of omstandigheden dan waarin deze rekenmethode voorziet, moet gerekend worden naar het oordeel van het bevoegd gezag en de wetenschappelijke inzichten inzake risicoberekeningen. Hierbij moet waar mogelijk aangesloten worden bij de uitgangspunten van dit hoofdstuk.

Dit hoofdstuk is een aanvulling op de algemene uitgangspunten die beschreven zijn in Module B. Daar waar relevant zijn verwijzingen opgenomen naar de betreffende paragrafen van Module B.

10.2 Algemene uitgangspunten

10.2.1 Inrichtingsgrens

De risicoberekening wordt uitgevoerd voor de bovengrondse en ondergrondse installatie-onderdelen binnen de inrichtingsgrens. Voor doorgaande transportleidingen, veelal ondergronds gelegen, geldt het volgende:

- Transportleidingen die vertakken naar de inrichting, horen bij de inrichting vanaf het overgangspunt. Het bevoegd gezag geeft aan waar het overgangspunt ligt.
- Doorgaande transportleidingen die de inrichting kruisen zonder te vertakken naar de inrichting, horen niet bij de inrichting.

10.2.2 Mengsels en voorbeeldstoffen

Voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen zijn de belangrijkste producten:

- aardgas;
- (aardgas)condensaat;
- mengsels van aardgas en aardgascondensaat;
- olie;
- mengsels van gas en olie.

Deze mengsels kunnen naast koolwaterstoffen ook andere stoffen bevatten die in het reservoir aanwezig zijn. De meest voorkomende 'verontreinigingen' in de genoemde mengsels zijn water, stikstof, kooldioxide, koolmonoxide en zwavelwaterstof.

10.2.2.1 Toxiciteit en ontvlambaarheid

Mengsels van aardgas en (aardgas)condensaat met minder dan 4,3 vol% toxische stoffen worden ingedeeld als alleen ontvlambaar. Voor mengsels met 4,3 vol% toxische stoffen of meer moet op basis van de uitstroomcondities en de compositie van het mengsel worden afgewogen of toxische effecten relevant zijn voor het plaatsgebonden risico en/of het groepsrisico. De opsteller van de QRA dient een onderbouwing te geven van de gekozen risicomodellering. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

10.2.2.2 Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels

Pure componenten worden als zodanig ingevoerd in SAFETI-NL. Voor ontvlambare mengsels worden de gevaarscategorieën van

Tabel 68 en de bijbehorende voorbeeldstoffen gebruikt. Voor ongestabiliseerde mengsels en voor gestabiliseerde mengsels categorie 1 is geen voorbeeldstof gedefinieerd. Voor deze mengsels moet de opsteller van de QRA zelf met een onderbouwd voorstel voor de risicoberekening komen. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

Tabel 68 Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels

Klasse	Definitie	Voorbeeldstof
Aardgas	Mengsel van hoofdzakelijk methaan en andere gasvormige producten met minder dan 80 m ³ condensaat per miljoen Nm ³ gas	Methaan
Ongestabiliseerde mengsels	Alle ontvlambare mengsels die meer dan 80 m ³ (aardgas)condensaat bevatten per miljoen Nm ³ gas, niet zijnde gestabiliseerde mengsels.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 1	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ²⁸ kleiner of gelijk aan 35°C.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 2	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ²⁸ groter dan 35°C.	n-Hexaan
Gestabiliseerde mengsels categorie 3	Mengsels met een vlampunt groter of gelijk aan 23°C en kleiner of gelijk aan 60°C.	n-Nonaan

10.2.3 Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties

Uitgangspunt voor de toepassing van de standaard uitstroomfrequenties in een QRA is dat het bedrijf voldoet aan de standaarden voor een goede bedrijfsvoering. Dit betekent onder andere dat het beleid ten aanzien van de beheersing van de risico's voldoet aan de eisen en dat er voldoende maatregelen zijn genomen tegen alle voorziene faalmechanismen. Zie ook paragraaf 3.2.3. In paragraaf 10.2.4 is beschreven welke additionele faaloorzaken beschouwd moeten worden. Voor het eventueel afwijken van de standaard uitstroomfrequenties is paragraaf 3.2.4 van toepassing.

10.2.4 Additionele faaloorzaken

In de uitstroomfrequenties is de eventuele bijdrage van runaway reacties, van beschadiging door externe activiteiten en van natuurrampen niet verdisconteerd. Voor hogedruk gastransportleidingen is ook de eventuele bijdrage van een intern domino-effect niet in de uitstroomfrequentie opgenomen. In de volgende paragrafen wordt beschreven onder welke omstandigheden de additionele faaloorzaken moeten worden meegenomen en onder welke omstandigheden deze oorzaken buiten beschouwing gelaten kunnen worden.

10.2.4.1 Runaway reacties

Met betrekking tot de uitstroomfrequenties wordt verondersteld dat er geen runaway reacties mogelijk zijn. Als er wel runaway reacties mogelijk zijn, dan moeten daarvoor de uitgangspunten van paragraaf 3.2.1 worden aangehouden.

²⁸ Voor mengsels gaat om het beginkookpunt. Dit is de temperatuur waarbij de dampspanning van het mengsel gelijk is aan omgevingsdruk (101,325 kPa).

10.2.4.2 Externe beschadiging

Externe beschadiging betreft een Loss of Containment ten gevolge van mechanische impact van buiten af. De kans op een uitstroming ten gevolge van een externe beschadiging is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Er wordt onderscheid gemaakt naar externe beschadiging door activiteiten binnen de inrichting (zoals aanrijdingen en het vallen van voorwerpen) en door activiteiten buiten de inrichting (zoals het falen van windturbines en vliegtuigongevallen).

De bijdrage van externe beschadiging ten gevolge van activiteiten binnen de inrichting moet additioneel in rekening worden gebracht tenzij kan worden aangetoond dat op de inrichting voldoende maatregelen genomen zijn om externe beschadiging van installatieonderdelen te voorkomen. Het betreft onder meer maatregelen tegen aanrijdingen en maatregelen tegen het vallen van voorwerpen bij hijswerkzaamheden. Als dergelijke maatregelen niet genomen zijn, dan moet de opsteller van de risicoanalyse een gemotiveerd voorstel doen voor de additionele bijdrage van deze faaloorzaken aan de uitstroomfrequentie.

Voor externe beschadiging door activiteiten van buiten de inrichting worden alleen vliegtuigen en windturbines beschouwd. Zie daarvoor paragraaf 3.2.2.

10.2.4.3 Interne domino-effecten

Interne domino-effecten worden (alleen) voor hogedruk gastransportleidingen (voorheen 'interunit leidingen' genoemd) additioneel in rekening gebracht. Het betreft de mogelijkheid dat een leiding breekt als gevolg van aanstraling door een brand volgend op een flenslekkage in een nabijgelegen systeem (leiding of vat).

1. Interne domino-effecten worden *niet* additioneel in rekening gebracht:
 - a. voor delen van de inrichting waar een werkend brand- en gasdetectiesysteem aanwezig is;
 - b. voor delen van de inrichting waar ontwerpmaatregelen genomen zijn die domino-effecten als gevolg van een flenslekkage voorkomen;
 - c. voor ondergrondse gelegen (ontvangende) leidingen.
2. Indien op basis van punt 1 interne domino-effecten als gevolg van flenslekkages niet kunnen worden uitgesloten, moet worden bekeken hoeveel flenzen de naburige systemen bevatten. Voor een relevante bijdrage (> 10%) aan de uitstroomfrequentie moet het aantal flenzen in naburige systemen groter zijn dan $0,6 \times$ de lengte van het ontvangende leidingdeel in meters. De bijdrage van domino-effecten is dan relevant en moet verder worden onderzocht (zie punt 3).
3. Indien uit punt 2 blijkt dat de bijdrage van domino-effecten niet zonder meer verwaarloosbaar is, moet de kans op een domino-effect in detail worden bepaald. Daarbij gelden de volgende uitgangspunten:
 - a. Een flenslekkage kan alleen een domino-effect geven op naastgelegen leidingen en installatie-onderdelen. Verder gelegen leidingen en installatie-onderdelen worden beschermd door de tussenliggende leidingen en installatie-onderdelen.
 - b. Alle flenzen in naastgelegen systemen, ook die bijhorend bij bijvoorbeeld een vat, worden meegenomen in de beschouwing. Overige uitstroomscenario's (zoals lekkage vanuit een vat) worden niet meegenomen.

- c. Een flenslekkage vanuit een naburig systeem kan alleen leiden tot een domino-effect als de warmtestraling ter plaatse van de ontvangende leiding op enig punt groter is (of kan zijn) dan 35 kW/m^2 . Deze effectafstanden kunnen worden afgelezen uit Tabel 69. Voor het flenslek wordt een diameter aangehouden van 10% van de leidingdiameter, met een maximum van 50 mm.
- d. Voor elke flens die een domino-effect kan veroorzaken, wordt de uitstroombrequentie voor breuk van het ontvangende leidingdeel met $9,3 \times 10^{-10}$ per jaar verhoogd. Deze verhoging wordt verdeeld over het hele ontvangende leidingdeel.

Tabel 69 Effectafstanden voor domino-effecten (35 kW/m^2 warmtestraling horend bij de fakkelbrand bij weertype D9)

Diameter lek Overdruk	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	50 mm
16 bar	5 m	10 m	15 m	20 m	35 m
25 bar	10 m	15 m	20 m	20 m	40 m
40 bar	10 m	15 m	20 m	25 m	50 m
60 bar	15 m	20 m	25 m	30 m	60 m
80 bar	15 m	20 m	30 m	35 m	65 m
100 bar	20 m	25 m	35 m	40 m	75 m
140 bar	20 m	30 m	40 m	50 m	85 m
200 bar	25 m	35 m	50 m	60 m	100 m
300 bar	30 m	45 m	55 m	70 m	115 m

10.2.4.4 Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden

Het falen van installaties door uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden, zoals overstromingen, aardbevingen en orkanen, is niet in de standaard uitstroomb frequenties verdisconteerd. De extra bijdragen hoeven echter niet in rekening gebracht te worden, op voorwaarde dat de installaties voldoen aan de geldende standaarden voor goede bedrijfsvoering inclusief eisen ten aanzien van het Veiligheidsbeheersysteem.

10.2.4.5 Moedwillige verstoring

De mogelijke bijdrage van moedwillige verstoring aan het risico buiten de inrichting wordt niet in rekening gebracht op voorwaarde dat voldaan wordt aan vigerend beleid tegen moedwillige verstoring.

10.2.5 Boringen

De risico's van boringen en van 'completion' van de put worden niet meegenomen. Dit zijn eenmalige activiteiten waarvoor het afwegingskader van Bevi niet geschikt is. Bij de aanvraag voor een boorvergunning wordt afgewogen of de risico's voor de omgeving acceptabel zijn.

10.2.6 Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten

Insluitsystemen met de volgende typen stoffen hoeven niet te worden meegenomen:

1. Ontvlambare vloeistoffen met een vlampunt boven 60° , op voorwaarde dat de operationele temperatuur lager is dan het vlampunt.

2. Mengsels van olie en water met meer dan 55 massa% water.

Ook de volgende insluitsystemen hoeven niet te worden meegenomen in een QRA, onder voorwaarde dat de installaties in de buitenlucht zijn opgesteld en dat het falen van deze systemen niet *duidelijk* zal leiden tot een domino-effect:

1. Glycolopslag en regeneratiesysteem voor zover de procestemperatuur lager is dan het vlampunt en de operationele druk lager is dan 10 bar (overdruk);
2. Brandstof distributiesystemen (fuel gas systems) met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
3. Offgas-systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
4. Afdekgas (blanket gas) systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
5. Afgas- en fakkelsystemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
6. Systemen voor het schoonmaken van leidingen (ragerinstallaties).
7. Open en gesloten drainagesystemen;
8. Systemen voor chemicaliën- en methanolinjectie.

10.2.7 Afkapgrens

In de QRA hoeven alleen uitstroomscenario's te worden meegenomen als de frequentie van het scenario groter is of gelijk aan 1×10^{-9} per jaar. Scenario's waarbij de effectafstand kleiner is dan de afstand tot de terreingrens hoeven ook niet te worden meegenomen. Dat is het geval voor (alle) lekkages van leidingen met verticale uitstroomrichting, voor sommige lekkages met horizontale uitstroomrichting (zie Tabel 70²⁹) en voor sommige leidingbreuken met verticale uitstroomrichting (zie Tabel 71).

Tabel 70 Maximale effectafstand (10 kW/m^2) voor een lekkage met horizontale uitstroomrichting

Overdruk Diameter gat	25 bar	40 bar	60 bar	100 bar	140 bar	200 bar
2,5 mm (0,1 inch)	0 m	0 m	5 m	5 m	5 m	5 m
5,1 mm (0,2 inch)	5 m	5 m	5 m	10 m	10 m	15 m
12,7 mm (0,5 inch)	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
25,4 mm (1 inch)	20 m	30 m	35 m	45 m	55 m	65 m
50,8 mm (2 inch)	45 m	55 m	70 m	85 m	100 m	120 m

Tabel 71 Maximale effectafstand (10 kW/m^2) voor breuk van een hogedruk aardgasleiding met verticale uitstroomrichting

Overdruk Diameter leiding	20 bar	40 bar	60 bar	80 bar	100 bar	120 bar
102 mm (4 inch)	55 m	70 m	85 m	100 m	110 m	115 m
152 mm (6 inch)	80 m	110 m	130 m	145 m	160 m	170 m
203 mm (8 inch)	105 m	145 m	170 m	190 m	205 m	220 m
254 mm (10 inch)	135 m	175 m	205 m	230 m	250 m	265 m
305 mm (12 inch)	160 m	205 m	240 m	270 m	290 m	310 m
356 mm (14 inch)	180 m	235 m	270 m	305 m	330 m	355 m
406 mm (16 inch)	200 m	260 m	305 m	340 m	370 m	395 m

²⁹ Voor waarden voor overdruk en leidingdiameter die niet in de tabel zijn opgenomen, moeten de eerstvolgende waarden gebruikt worden.

10.2.8 *Maatregelen en systeemreacties*

Maatregelen zijn bedoeld om de kans op het optreden van een Loss of Containment (LoC) te verkleinen of de effecten van een LoC te verminderen. Het betreft onder meer de aanwezigheid van veiligheidskleppen en inbloksystemen. In Hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe mitigerende maatregelen doorwerken in de QRA. In aanvulling hierop gelden voor mijnbouwwerken nog de volgende opmerkingen:

- Ongevallen kennen soms een aanloop. Daarbij kunnen afblaas- en inbloksystemen worden aangesproken die reageren voordat de LoC optreedt. In de QRA wordt geen rekening gehouden met het vooraf inblokken van het systeem³⁰. Inbloksystemen die reageren nadat de LoC optreedt, worden meegenomen in de berekening van het uitstroomdebiet en de bijbehorende effecten. Voor hogedruk gasinstallaties wordt het effect van inbloksystemen beschreven in paragraaf 10.8.2. Als het effect van inbloksystemen wordt meegenomen in de QRA, dan dient de gebruikte sluittijd van de kleppen en de faalkans van het inblokken ('probability of failure on demand') door de opsteller van de QRA te worden verantwoord. Hiervoor zijn de voorwaarden van paragraaf 4.2.2.2 van kracht. Dat betekent dat de feitelijke situatie maatgevend is, in het bijzonder wanneer faalkansen en reactietijden significant afwijken van de in paragraaf 4.2.2.2 vermelde standaardwaarden.
- De invloed van pompen en compressoren op de uitstroming aan de perszijde wordt bepaald aan de hand van de pomp-/compressorkarakteristieken. Als deze niet bekend zijn, mag worden uitgegaan van 150% van de nominale doorzet (zoals vastgelegd in de *Process Flow Diagram* of massa- & energiebalans).

De uitstroomscenario's voor het falen van de put (blowout en lekkage) zijn afgeleid voor de put inclusief aanwezige beveiligingen in de put. Daarom mogen putbeveiligingen voor deze uitstroomscenario's niet als extra veiligheidsmaatregel verdisconteerd worden in de QRA.

10.2.9 *Nalevering*

In overeenstemming met paragraaf 3.2 van Module B moet er rekening gehouden worden met nalevering als de nageleverde hoeveelheid significant is (zie in het bijzonder opmerking 2 in de genoemde paragraaf). In aanvulling hierop zijn de volgende afspraken gemaakt:

- Nalevering hoeft niet te worden meegenomen voor het "tien minuten scenario".
- Nalevering hoeft niet te worden meegenomen voor kleine lekkages, waaronder het "tien millimeter lek" voor opslag- en reactievaten en een "lek met een diameter van 10% van de nominale diameter" voor leidingen.

10.2.10 *Rapportageplicht*

Met betrekking tot de rapportage gelden dezelfde eisen als voor andere Bevi-plichtige bedrijven. Deze eisen zijn vermeld in paragraaf 4.2 van Module B. In aanvulling daarop moeten voor putten de volgende reservoirkarakteristieken worden opgenomen in het QRA-rapport:

- de lengte en diameter van de tubing en de casing;
- de flowing bottom hole pressure (FBHP);
- het productiedebiet;

³⁰ Er is wel een generieke invloed van inbloksystemen die reageren voordat de LoC optreedt, namelijk via de uitstroomfrequenties die zijn vastgesteld.

- de 'closed-in tubing head pressure' (CITHP);
- de 'casing blowout potential' (CBOP);
- de 'tubing blowout potential' (TBOP);
- indien van toepassing de gehanteerde tijdsfracties voor productie en injectie;
- de gebruikte frequenties voor onderhoudswerkzaamheden.

Als voor de scenario's instantaan falen en breuk van de leiding maatwerk is verricht (zie paragraaf 10.9) dan moeten de uitgangspunten in het QRA rapport op een herleidbare manier beschreven worden.

10.2.11 *Installatieonderdelen, uitstroombesonderingen en uitstroomfrequenties*

In Tabel 72 wordt een overzicht gegeven van de verschillende onderdelen waarvoor specifieke uitstroombesonderingen en/of uitstroomfrequenties zijn opgesteld. Voor de overige onderdelen worden de scenario's en frequenties van Brzo-bedrijven (Hoofdstuk 3) of PGS 15 opslagen (8) gebruikt.

Tabel 72 Installatieonderdelen waarvoor nieuwe scenario's en frequenties zijn vastgesteld

Onderdeel	Verwijzing
Olie- en gasputten a. Injectieputten b. Productieputten	Paragraaf 10.3
Leidingen a. Flexibele leidingen b. Procesleidingen c. Hogedruk gastransportleidingen	Paragraaf 10.4
Separatoren a. Vloeistofvangers b. Slokkenvangers c. Gaswassers (incl. adsorbers) d. Filter- en centrifugaalseparatoren	Paragraaf 0
Pompen en compressoren a. Verdringerpomp b. Centrifugaalpomp c. Verdringercompressor d. Centrifugaalcompressor e. Hogedruk centrifugaalcompressor	Paragraaf 0
Warmtewisselaars a. koelerbanken	Paragraaf 10.7

10.3 Gas- en olieputten

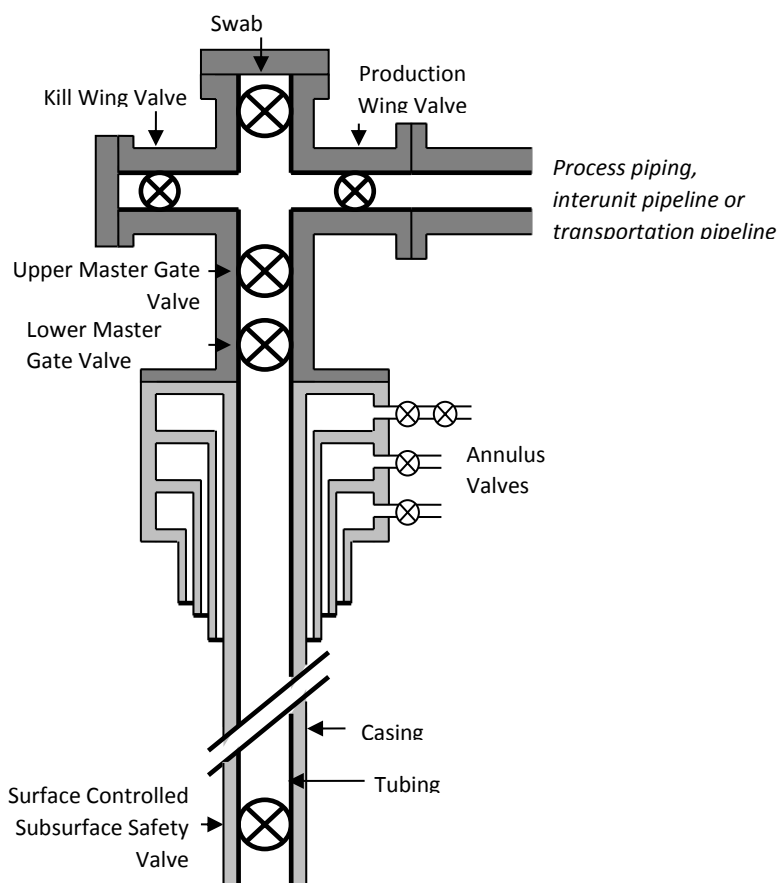
10.3.1 Definitie

Een gas- of olieput bestaat uit een bovengronds afsluiterblok ('christmas tree') die met een ondergronds olie- of gasreservoir verbonden is via een systeem van een of meerdere leidingen. Voor de QRA worden olie- en gasputten begrensd door de 'wing valve' (zie Figuur 8). Leidingen en installatieonderdelen vanaf de 'production wing valve' moeten afzonderlijk worden beschouwd.

10.3.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een gas- of olieput:

- Diverse afsluiters, zoals een 'Surface Controlled Subsurface Safety Valve' (SCSSV), een 'Lower Master Gate' valve, een 'Surface Safety Valve' (SSV, ook 'Upper master gate valve'), een of meerdere 'Wing Valves' (FWV) en een 'Swab valve' (zie Figuur 8).
- Afsluiters voor het drukvrij maken van verschillende behuizingen.
- 'Flow meters' en druk- en temperatuursensoren op het afsluiterblok.



Figuur 8 Weergave van de put (inclusief 'christmas tree')

10.3.3 *Uitstroombenarior's en – frequenties*

In Tabel 73 en Tabel 74 zijn de uitstroombenarior's en -frequenties voor gasputten vermeld en in Tabel 75 en

Tabel 76 de gegevens voor olieputten. Voor gasputten is de 'gas oil ratio'³¹ groter dan 1000, de overige putten zijn olieputten.

Opmerkingen:

1. De uitstroomfrequenties voor productie gelden per productiejaar en die voor injectie per injectiejaar. Voor onderhoudsactiviteiten zijn de frequenties per activiteit. Op basis van een inschatting voor de frequentie van activiteiten per jaar kan een uitstroomfrequentie per jaar verkregen worden.
2. Voor de blowout-scenario's is de gatgrootte gelijk aan de (inwendige) diameter van de casing of de tubing. Voor lekkages is de diameter van het lek 10% van de diameter van de tubing.
3. Tijdens productie en injectie is de 'wing valve', die de put verbindt met de installatie-onderdelen op de inrichting, geopend. Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put onder druk en is de 'wing valve' gesloten.

10.3.3.1 Gasputten

Tabel 73 Uitstroomscenario's en -frequenties voor productie en injectie van/naar gasputten

Scenario	Frequentie (per jaar)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Productie	-	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$
Injectie	-	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$

Tabel 74 Uitstroomscenario's en -frequenties voor onderhoud aan gasputten

Scenario	Frequentie (per activiteit)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Wireline	-	$8,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	-	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-5}$
Snubbing	-	$4,2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$7,6 \times 10^{-5}$
Workover	$6,1 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-5}$

10.3.3.2 Olieputten

Tabel 75 Uitstroomscenario's en -frequenties voor productie en injectie van/naar olieputten

Scenario	Frequentie (per jaar)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Productie	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$
Injectie	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$

³¹ Gas oil ratio: Verhouding van de hoeveelheid gas (Nm³) en de hoeveelheid olie (Nm³).

Tabel 76 Uitstroombesario's en -frequenties voor onderhoud aan olieputten

Scenario	Frequentie (per activiteit)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Wireline	-	$5,0 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	-	$1,1 \times 10^{-4}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Snubbing	-	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-5}$
Workover	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-5}$

10.4 Leidingen

10.4.1 Definitie

Voor flexibele leidingen en procesleidingen zijn geen aparte uitstroombesario's gedefinieerd voor de toebehoren van een leiding, zoals flenzen, stompen, appendages en instrumentatie. Voor deze leidingen is de uitstroming vanuit deze toebehoren onderdeel van de generieke scenario's en frequenties voor leidingen. Voor hogedruk gastransportleidingen is wel een specifiek uitstroombesario voor flenzen gedefinieerd. De overige toebehoren van hogedruk gastransportleidingen vallen onder de generieke scenario's en frequenties. Voor kleppen in de verschillende typen leidingen worden ook geen afzonderlijke uitstroombesario's gedefinieerd. De werking van kleppen wordt wel verdisconteerd in de berekening van de uitstroming.

10.4.2 Kenmerken

Met betrekking tot de uitstroombesario's en -frequenties wordt onderscheid gemaakt naar de volgende typen leidingen:

- flexibele leidingen;
- procesleidingen;
- hogedruk gastransportleidingen.

10.4.3 Uitstroombesario's en -frequenties

10.4.3.1 Procesleidingen

Procesleidingen zijn de leidingen die niet vallen onder de definities van flexibele leidingen en hogedruk gastransportleidingen. Voor procesleidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties die zijn afgeleid voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.8, Tabel 27).

10.4.3.2 Flexibele leidingen

Een flexibele leiding is een leiding waarvan de wand is samengesteld uit een matrix van lagen van metaal en kunststof (composiet materialen) die de leiding de gewenste sterkte en flexibiliteit geeft. Het ontwerp, de productie, de installatie en het gebruik van de flexibele leiding vindt plaats volgens de specificaties van API 17J³² of API 17K³³ of vergelijkbare normen.

Voor flexibele leidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties van *Tabel 77*. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van

³² Specification for unbonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

³³ Specification for bonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

een gat ter grootte van de inwendige diameter. Het lek is een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding, met een maximum van 50 mm.

Tabel 77 Uitstroomscenario's en -frequenties voor flexibele leidingen

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)		
	$\varnothing < 75 \text{ mm}$	$75 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 150 \text{ mm}$	$150 \text{ mm} < \varnothing$
Breuk van de leiding	5×10^{-6}	$1,5 \times 10^{-6}$	5×10^{-7}
Lek van de leiding	$2,5 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,5 \times 10^{-6}$

10.4.3.3 Hogedruk gastransportleidingen

Een hogedruk gastransportleiding (voorheen 'interunit leiding') voldoet aan de volgende eigenschappen:

- Het is een rigide leiding, of een systeem van leidingen, met een lengte van minimaal 25 meter, een uitwendige diameter van minimaal 2 inch (0,051 m) en een ontwerpdruk van minimaal 16 bar (overdruk).
- Het ontwerp en beheer van de leiding zijn (minimaal) gelijkwaardig aan NEN3650.
- Het product is aardgas met maximaal 80 m³ (aardgas)condensaat per miljoen Nm³ aardgas.
- Er is een analyse uitgevoerd van mogelijke faaloorzaken en voor deze faaloorzaken zijn aantoonbaar effectieve maatregelen geïmplementeerd. In het bijzonder worden de leidingen beschermd tegen aanrijdingen en hijs- en graafwerkzaamheden.

Voor hogedruk gastransportleidingen gelden de scenario's en frequenties van Tabel 78. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de inwendige diameter. De twee lekscenario's betreffen een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding, met een maximum van 50 mm. Er wordt met betrekking tot de uitstroomfrequenties geen onderscheid gemaakt naar bovengrondse- en ondergrondse leidingen.

Tabel 78 Uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen

Scenario	Frequentie
Breuk van de leiding	$5,6 \times 10^{-9}$ per meter per jaar
Lek in de leiding (10% van de leidingdiameter, max. 50 mm)	$2,0 \times 10^{-8}$ per meter per jaar
Flenslek (10% van de leidingdiameter, maximaal 50 mm) ³⁴	$9,3 \times 10^{-7}$ per flens per jaar

Voor overige transportleidingen binnen de inrichting gelden de scenario's en frequenties van Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.8).

³⁴ Lek van de leiding en lek van de flens mogen met één (gezamenlijk) scenario worden ingevoerd in de risicoberekening. Dit wordt dan ingevoerd als een route. De contributie van de flenzen wordt in dat geval gelijkmatig verdeeld over de leiding.

Tabel 79 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger zonder complexe internals

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Tabel 80 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger met complexe internals

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

Opmerkingen:

1. Voor het lekscenario wordt verondersteld dat de lekkage plaatsvindt in de vloeistoffase. Als voorbeeldstof wordt n-butaan gebruikt. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet. Dit geldt voor beide typen vloeistofvangers.

10.5.3.2 Slokkenvangers

Slokkenvangers worden gebruikt om grote 'slokken' vloeistof te verwijderen uit een productstroom. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Slokkenvangers kunnen bestaan uit een vat ('vessel type' slokkenvangers) of uit een of meerdere onderling verbonden buizen ('finger type' slokkenvangers). De uitstroomscenario's voor een slokkenvanger met buizen zijn gegeven in Tabel 81. De uitstroomfrequenties gelden per buis. De scenario's voor een slokkenvanger met een vat zijn gegeven in Tabel 82.

Tabel 81 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een slokkenvanger met buizen

Scenario	Frequentie (per buis per jaar)
1. Breuk van een buis met een effectieve diameter ter grootte van de inwendige diameter van de buizen	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de volledige inhoud van een buis in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Tabel 82 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een slokkenvanger met een vat

Scenario	Frequentie (per vat per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Opmerkingen:

1. Voor het lekscenario wordt verondersteld dat de lekkage plaatsvindt ter hoogte van de vloeistoffase. Als voorbeeldstof wordt n-butaan gebruikt. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet. Dit geldt voor beide typen slokkenvangers.

10.5.3.3 Gaswassers (inclusief adsorbers)

In een gaswasser (ook wel scrubber) worden componenten in een productstroom van elkaar gescheiden door de productstroom door een medium te leiden. Het medium kan gasvormig, vloeibaar of vast zijn en de te verwijderen componenten kunnen daarin oplossen of adsorberen of daarmee reageren. Ook deluge-systemen waarbij in een vat een reactant in de gasstroom wordt gesproeid, vallen onder de categorie gaswassers. Een voorbeeld van een veelvoorkomend type gaswasser is een adsorber waarbij een gasstroom wordt ontdaan van water door het door een bed met silicakorrels te leiden waarbij de silicakorrels het water opnemen.

In *Tabel 83* zijn de uitstroomscenario's en -frequenties vermeld die voor gaswassers moeten worden gebruikt.

Tabel 83 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een gaswasser (inclusief adsorbers)

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-6}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-6}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-4}

Opmerkingen:

1. Voor het lekscenario wordt verondersteld dat de lekkage resulteert in een uitstroming van gas. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet.

10.5.3.4 Filterseparatoren

In een filterseparator wordt een restverontreiniging uit een gasstroom gehaald door het gas door een mechanisch obstakel (bv. filterdoek, metalen filter) te leiden. Het gaat daarbij om relatief schoon gas, waarbij de hoeveelheid condensaat in de inkomende stroom kleiner is dan 80 m^3 per miljoen Nm^3 gas. Filters kunnen ook uitgevoerd worden in combinatie met een centrifugaalseparator zoals een cycloon.

Een filterseparator wordt als opslagvat onder druk gezien. De bijbehorende scenario's zijn weergegeven in Tabel 84. In specifieke omstandigheden kan een filterseparator na afstemming met het bevoegd gezag gemodelleerd worden als leiding (zie daarvoor Tabel 85). Minimale eisen waaraan de filterseparator dan moet voldoen zijn:

- De filterseparator is intrinsiek veilig ontworpen, dat wil zeggen dat een blokkade leidt tot falen van het filter zelf voordat een LoC kan optreden.
- Er zijn maatregelen genomen en geborgd om een LoC bij ingebruikname van de filterseparator (ook na onderhoud) te voorkomen.

Tabel 84 Uitstroomscenario's en -frequenties voor filterseparatoren

Scenario's	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
2. Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
3. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Opmerkingen:

1. Voor het lekscenario wordt verondersteld dat de lekkage resulteert in een uitstroming van gas. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet.

10.5.3.5 Centrifugaalseparatoren

In een centrifugaalseparator wordt een restverontreiniging uit de gasstroom gehaald door het gas door een stationaire spiraal (cycloon) of elleboog te sturen waarbij de zwaardere deeltjes naar buiten worden geslingerd en worden afgevangen. Het gaat daarbij om relatief schoon gas, waarbij de hoeveelheid condensaat in de inkomende stroom kleiner is dan 80 m^3 per miljoen Nm^3 gas. Centrifugaalseparatoren die een filter bevatten worden beschouwd als filterseparator (zie vorige paragraaf).

Een centrifugaalseparator wordt als leiding gemodelleerd. De uitstroomscenario's en -frequenties zijn weergegeven in Tabel 85. Deze frequenties zijn afkomstig van hogedruk gastransportleidingen en het gebruik van deze waarden is daarom onder voorbehoud dat de ontwerpdruk minimaal 16 bar (overdruk) bedraagt en de uitwendige diameter van de aansluiting op de inkomende gasstroom minimaal 2 inch (0,051 m) is. De uitstroomfrequenties voor breuk en lek hangen af van de lengte (c.q. hoogte) van de separator.

Tabel 85 Uitstroomscenario's en -frequenties voor centrifugaalseparatoren

Scenario	Frequentie
1. Breuk van de separator	$5,6 \times 10^{-9}$ per meter per jaar
2. Lek in de separator (10% van de diameter, max. 50 mm)	$2,0 \times 10^{-8}$ per meter per jaar
3. Flenslek (10% van de diameter, maximaal 50 mm)	$9,3 \times 10^{-7}$ per jaar per flens

Opmerkingen:

1. Voor de lekscenario's wordt verondersteld dat de lekkage resulteert in een uitstroming van gas. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet.

10.6 Pompen en compressoren

10.6.1 Definitie

Pompen en compressoren zijn apparaten voor het verplaatsen van vloeistof of gas. Er wordt onderscheid gemaakt naar pompen die dienen voor het verplaatsen van (voornamelijk) vloeistof en compressoren voor het verplaatsen van (voornamelijk) gas. Hierbij zijn twee typen te onderscheiden, namelijk het verdringertype en het centrifugaaltype.

10.6.2 Kenmerken

Een pomp- of compressorsysteem bestaat uit een aantal elementen, waaronder:

- het pomp- of compressorhuis met de inlaat- en afvoeraansluitingen;
- recycle leiding;
- aandrijfsysteem;
- flenzen en kleppen;
- instrumentatie;
- pulsatie dempers.

10.6.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor pompsystemen zijn vermeld in Tabel 86 (verdringerpompen) en Tabel 87 (centrifugaalpompen). Voor deze typen pompen wordt alleen een breuk gemodelleerd. De scenario's voor compressorsystemen zijn gegeven in Tabel 88 (verdringercompressoren) en Tabel 89 (centrifugaalcompressoren).

Voor de breuk van de toevoerleiding wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de inwendige diameter. Eventuele nalevering vanuit het downstream deel wordt niet meegenomen. Het lek is een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding met een maximum van 50 mm. De scenario's gelden voor het hele systeem inclusief de leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoer- en afvoerleidingen zijn geen onderdeel van het systeem en moeten afzonderlijk worden beschouwd.

10.6.3.1 Verdringerpompen

Tabel 86 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een verdringerpomp

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$4,8 \times 10^{-5}$

10.6.3.2 Centrifugaalpompen

Tabel 87 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een centrifugaalpomp

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,8 \times 10^{-5}$

10.6.3.3 Verdringercompressoren

Tabel 88 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een verdringercompressor

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,9 \times 10^{-4}$
Lek van de toevoerleiding (10% van de diameter van de toevoerleiding, maximaal 50 mm)	$1,2 \times 10^{-3}$

10.6.3.4 Centrifugaalcompressoren

Tabel 89 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een centrifugaalcompressor

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,2 \times 10^{-4}$
Lek van de toevoerleiding (10% van de diameter van de toevoerleiding, maximaal 50 mm)	$1,2 \times 10^{-3}$

10.6.3.5 Hogedruk centrifugaalcompressoren in gasleidingen

Voor hogedruk centrifugaalcompressoren wordt het onwaarschijnlijk geacht dat het compressorhuis faalt. Daarom worden er geen specifieke uitstroomscenario's meegenomen voor dit type compressor. Het mogelijke falen van leidingen vanaf de flens op het compressorhuis moet wel worden meegenomen (zie paragraaf 10.4).

Hogedruk centrifugaalcompressoren voldoen aan de volgende voorwaarden:

- De druk aan de perszijde is hoger dan 16 bar (overdruk).
- De uitwendige diameter van de toevoerleiding is minimaal 2 inch (0,051 m).
- De hoeveelheid condensaat in de productstroom is minder dan 80 m^3 per miljoen Nm^3 .

10.7 Warmtewisselaars

In paragraaf 3.12 zijn uitstroomscenario's en -frequenties opgenomen voor warmtewisselaars en condensoren. De categorie 'koelerbanken' (ook wel 'finfan-koelers') ontbreekt en wordt hier besproken.

10.7.1 Definitie

Een koelerbank is een warmtewisselaar waarin gassen of vloeistoffen in pijpleidingen worden gekoeld aan de (buiten)lucht. Een of meer ventilatoren bevorderen de luchtstroming langs de pijpleidingen. Om de warmteoverdracht te bevorderen kunnen op de pijpleidingen ribben (vinnen) zijn aangebracht.

10.7.2 Kenmerken

Het kan voorkomen dat meerdere koelerbanken achter elkaar staan (in serie) of naast elkaar staan (parallel). Een koelerbank betreft in dat geval het complex van gekoppelde koelerbanken die als één unit bedreven worden.

De volgende elementen kunnen aanwezig zijn bij een koelerbank:

- een of meerdere toe- en afvoerleidingen;
- een beveiliging tegen overdruk.

10.7.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor koelerbanken zijn weergegeven in Tabel 90. Deze scenario's en frequenties gelden voor de koelerbank inclusief de gelaste stompen, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoerleidingen en afvoerleidingen maken geen deel uit van de koelerbank.

Tabel 90 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een koelerbank

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Breuk van 10 pijpen tegelijkertijd	1×10^{-5}
2. Breuk van 1 pijp	1×10^{-3}

Opmerkingen:

1. Bij breuk van 10 pijpen tegelijkertijd dient gerekend te worden met een effectieve leidingdiameter gebaseerd op het totale uitstroomoppervlak.

10.8 Effectmodellering

Voor de effectberekening gelden in het algemeen de voorwaarden van paragraaf 3.4.6 van Module B. In paragraaf 10.8.2 worden voor de voorschriften beschreven die afwijken van Module B. In 10.8.3 worden aanvullende uitgangspunten voor blowout en lekkage van de put beschreven.

10.8.1 Uitstroomrichting

De uitstroomrichting is standaard horizontaal. Op deze regel gelden de volgende uitzonderingen:

- De blowout van de put is verticaal. Voor lekkage van de putmond is een deel verticaal (zie paragraaf 10.3)
- Voor ondergrondse leidingen is de uitstroomrichting verticaal indien de leidingen minimaal 40 cm onder het maaiveld liggen (gemeten vanaf de bovenkant van de leiding).
- Voor leidingen in een leidinggoot en voor (deels) ingeterpte installatie-onderdelen is de uitstroomrichting in principe horizontaal tenzij een verticale richting door de constructie en/of het ontwerp is geborgd en voor de modelleerwijze toestemming is verleend door het bevoegd gezag.

10.8.2 Afwijkende effectmodellering ten opzichte van Module B

Voor mijnbouwrinrichtingen en gastransportinrichtingen zijn afwijkende voorschriften opgesteld die recht doen aan de aard van de activiteiten en de bijbehorende risico's. Deze afwijkende voorschriften worden in deze paragraaf beschreven en zijn van toepassing op installatie-onderdelen die voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Het insluitsysteem bevat ontvlambare gassen of een ongestabiliseerd mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen.
- De operationele druk in het insluitsysteem is 16 bar (overdruk) of hoger.
- Het aandeel toxische componenten, in het bijzonder H_2S , is 4,3 vol% of kleiner.

De afwijking heeft betrekking op:

- de vervolgeffecten;
- het aantal jets bij een fakkelbrand.

Voor situaties die niet voldoen aan de genoemde voorwaarden, zijn de uitgangspunten van Module B van toepassing. Het betreft onder meer insluitsystemen met gestabiliseerde vloeistoffen en insluitsystemen met een operationele druk lager dan 16 bar.

Hieronder wordt de *afwijkende* modellering beschreven.

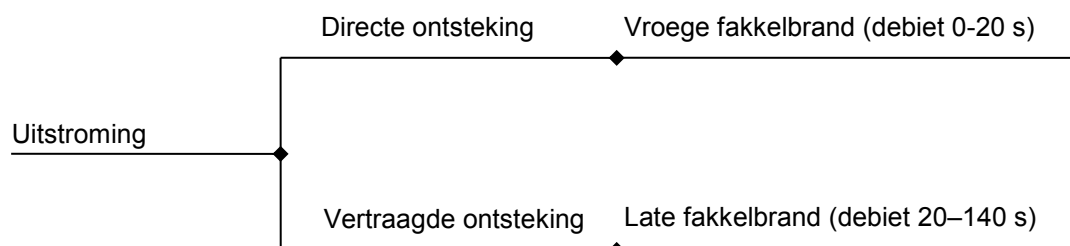
10.8.2.1 Maatwerk voor snelsluitende kleppen

Er wordt onderscheid gemaakt naar scenario's met snelsluitende kleppen³⁵ en scenario's zonder snelsluitende kleppen. Voor scenario's met snelsluitende kleppen moet maatwerk verricht worden. Het initiatief daarvoor ligt bij de opsteller van de QRA.

De effectmodellering voor situaties zonder snelsluitende kleppen wordt besproken in de volgende deelparagrafen.

10.8.2.2 Vervolgeffecten

Voor scenario's zonder snelsluitende kleppen ligt de modellering vast. Er wordt onderscheid gemaakt naar directe ontsteking en vertraagde ontsteking. De effecten van de directe ontsteking zijn gebaseerd op het gemiddelde uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s. De effecten van de vertraagde ontsteking zijn gebaseerd op het gemiddelde uitstroomdebiet tussen 20 en 140 s. Beide gebeurtenissen leiden tot een fakkelbrand (zie Figuur 9).



Figuur 9 Gebeurtenissenboom voor hogedruk gassystemen met een uitstroomduur groter of gelijk aan 20 s

Opmerkingen:

- Voor breuk van een leiding en voor het instantaan falen van een vat wordt aangenomen dat de uitstroming vanuit toevoer- en afvoerleidingen bepalend is voor (de ontwikkeling van) het uitstroomdebiet. Deze is in het algemeen sterk tijdsafhankelijk.
- Voor het vrijkomen van de gehele inhoud van een vat in 10 minuten wordt een constant uitstroomdebiet verondersteld. Voor dit scenario zijn de effecten van de vroege en late fakkelbrand dus identiek zodat beide scenario's kunnen worden samengenomen (zie ook paragraaf 10.9.2)
- Voor een lek van 10 mm wordt aangenomen dat de afname van het uitstroomdebiet gedurende de eerste 140 s verwaarloosbaar is. Voor het 10 mm lek kunnen de vroege en late fakkelbrand dus ook worden samengenomen (zie paragraaf 10.9.1)

³⁵ Snelsluitende kleppen sluiten in vijf seconden of minder na aanvang van de uitstroming.

10.8.2.3 Kans op ontsteking

De kans op directe ontsteking (P_{dir}) is weergegeven in Tabel 91. Voor de kans op vertraagde ontsteking moet worden nagegaan of de LFL contour van het tweede segment (20-140 s) deels buiten de inrichting ligt³⁶. In dat geval treedt er altijd vertraagde ontsteking op. De kans op vertraagde ontsteking is dan $1 - P_{dir}$. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan wordt er geen vertraagde ontsteking gemodelleerd.

Tabel 91 Kans op directe ontsteking (P_{dir})

Bronterm i.g.v. continue releases	Kans op directe ontsteking	
	Aardgas	Ongestabiliseerd mengsel
< 10 kg/s	0,02	0,2
10-100 kg/s	0,04	0,5
> 100 kg/s	0,09	0,7

Opmerkingen:

- Voor verticale releases blijft de LFL contour op 1 m hoogte doorgaans binnen de inrichting³⁷. Voor deze releases hoeft het tweede segment, dat alleen relevant is voor vertraagde ontsteking, niet te worden beschouwd. Uitzondering zijn leidingdelen buiten de inrichting (waaronder meetlussen) en leidingen die evenwijdig aan de inrichtingsgrens liggen op een afstand van 10 m of minder.

10.8.2.4 Aantal jets

Voor breuk van een bovengrondse leiding en instantaan falen van een bovengronds vat met aangesloten leidingen wordt verondersteld dat de jets vanuit de stroomopwaartse richting en vanuit de stroomafwaartse richting geen interactie hebben. Deze twee jets worden daarom afzonderlijk ingevoerd. Voor beide jets is de invoerwaarde voor de frequentie gelijk aan het product van de uitstroomfrequentie en de kans op (directe of vertraagde) ontsteking.

Voor ondergrondse leidingen met een verticale uitstroomrichting worden de stroomopwaartse en -afwaartse bijdragen samengenomen en met één uitstroombesluiting doorgeteld.

10.8.2.5 Invloed van inbloksystemen

Inbloksystemen kunnen gebruik maken van snelsluitende kleppen en van reguliere kleppen³⁸. Voor inbloksystemen met snelsluitende kleppen moet conform paragraaf 10.8.2.1 maatwerk worden verricht. Voor situaties zonder snelsluitende kleppen worden conform paragraaf 10.8.2.2 twee release segmenten beschouwd: 0-20 s en 20-140 s.

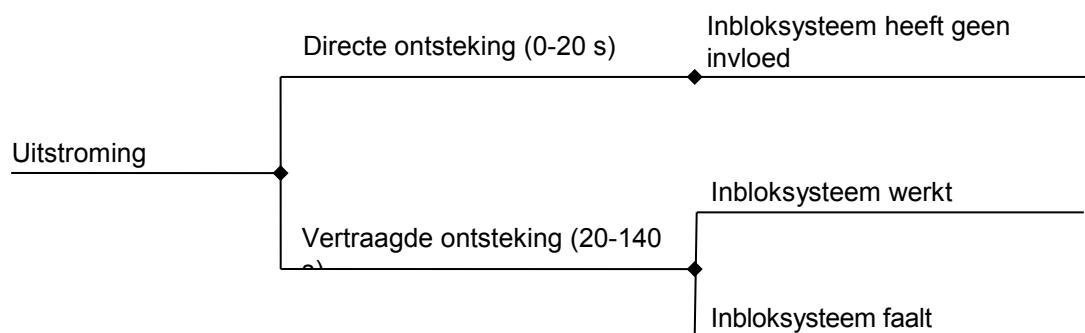
Als er een inbloksysteem is (met reguliere kleppen) dan wordt de invloed ervan voor het eerste segment (0-20 s) niet meegenomen. Voor het tweede segment

³⁶ Dit wordt getoetst op de gemodelleerde uitstroomhoogte.

³⁷ Voor grote scenario's berekent SAFETI-NL ten gevolge van een interactie met de inversielaag voor weertype F1.5 soms wel een LFL contour op 1 m hoogte buiten de inrichting. Voor leidingen met ontvlambare gassen onder hoge druk is dit een artefact van het model waar geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

³⁸ Kleppen die niet binnen 5 s gesloten zijn.

(20-140 s) worden twee deelscenario's onderscheiden: één waarin het inblokken slaagt, en één waarin het inblokken faalt. In totaal moeten er dus drie scenario's worden beschouwd (zie Figuur 10).



Figuur 10 Deelscenario's voor een inbloksysteem met reguliere kleppen

10.8.3 Blowout en lekkage van de put

Bij een blowout van een put komt er gas en/of olie vrij vanuit de put en tijdens productie of injectie ook vanuit de inrichting.

- De gatgrootte voor de blowout is afhankelijk van het scenario gelijk aan de diameter van de tubing of de casing, zie paragraaf 0.
- In geval van productie of injectie is er naast de toevoer vanuit de put (via de wing valve) ook terugstroming vanuit de installaties. De gecombineerde uitstroming wordt op basis van maatwerk bepaald en resulteert in één verticale jet.
- Voor blowouts tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put bij aanvang van de uitstroming onder druk. Er vindt geen terugstroming vanuit de inrichting plaats. De uitstroomrichting is verticaal. Voor de 'casing blowout' tijdens werkzaamheden geldt de 'casing blowout potential' als minimumwaarde voor het uitstroomdebiet. Evenzo is de 'tubing blowout potential' de minimumwaarde voor het uitstroomdebiet van de tubing blowout tijdens werkzaamheden.
- Voor de blowouts scenario's worden de vervolgeffecten (vroeg en late fakkelbrand) van paragraaf 10.8.2.2 gebruikt en de ontstekingskansen van paragraaf 10.8.2.3.
- Eventueel aanwezige putbeveiligingen worden niet verdisconteerd in de QRA (zie paragraaf 10.2.8).

Voor lekkages wordt verondersteld dat de drukafname tijdens het incident beperkt zal zijn. De uitstroming hangt alleen af van de gatgrootte en de initiële druk. Voor de vervolgeffecten worden de uitgangspunten van paragraaf 10.8.2.2 gebruikt (fakkelbrand) en voor de ontstekingskansen paragraaf 10.8.2.3.

10.9 Invoer van scenario's in SAFETI-NL 6.54

Standaard is paragraaf 3.2 van Module B van toepassing. In deze paragraaf wordt de invoer beschreven voor installatie-onderdelen waarvoor op basis van paragraaf 10.8.2 een afwijkende modellering wordt gebruikt, mits het installatie-onderdeel voldoet aan de volgende voorwaarden:

- Het insluitsysteem bevat ontvlambare gassen of een (ongestabiliseerd) mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen.
- De operationele druk in het insluitsysteem is 16 bar (overdruk) of hoger.
- Het aandeel toxische componenten, in het bijzonder H_2S , is 4,3 vol% of kleiner.

In de deelparagrafen 0 t/m 10.9.8 wordt beschreven hoe blowout en lekkage van de put moet worden gemodelleerd.

10.9.1 *Lek van de leiding en 10 mm lek*

Voor lekkages is het uitstroomdebiet is nauwelijks tijdsafhankelijk. Daarom is het niet zinvol om de vroege en late fakkelbrand apart in te voeren. De invoerwaarden in SAFETI-NL zijn als volgt:

- Gebruik het Leak model.
- De 'probability of immediate ignition' wordt gelijk gesteld aan 1 (zodat SAFETI-NL een fakkelbrand in rekening brengt).

Als alleen directe ontsteking kan optreden, dan wordt de kans op directe ontsteking (zie Tabel 91) verdisconteerd in de 'event frequency' (in het geval van een route 'event probability').

10.9.2 *Vrijkomen van de inhoud van een installatie-onderdeel in tien minuten*

Voor het tien minuten scenario hoeft geen nalevering te worden meegenomen. Het uitstroomdebiet is daardoor constant en er hoeven geen aparte scenario's voor de vroege en late fakkelbrand gebruikt te worden. De invoerwaarden in SAFETI-NL zijn als volgt:

- Gebruik het scenario 'Fixed duration release' met waarde 600 s.
- De 'probability of immediate ignition' wordt gelijk gesteld aan 1 zodat SAFETI-NL een fakkelbrand in rekening brengt.

Als alleen directe ontsteking kan optreden, dan wordt de kans op directe ontsteking (zie Tabel 91) verdisconteerd in de 'event frequency' (in het geval van een route 'event probability').

10.9.3 *Leidingbreuk en instantaan falen*

Het uitstroomdebiet na breuk van een leiding of na instantaan falen van een installatie-onderdeel, varieert in de tijd en hangt af van de layout van de inrichting. Een gedetailleerde berekening is tijdsintensief. Daarom is de volgende werkwijze voorgesteld.

- In paragraaf 0 is een 'vereenvoudigde invoermethode' beschreven die veel minder tijdsintensief is en hoofdzakelijk conservatieve uitkomsten geeft. Deze invoermethode geldt als 'default' rekenwijze mits de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel.
- De opsteller van de QRA mag ervoor kiezen om een meer realistische berekening te doen op basis van maatwerk maar kan daartoe niet worden verplicht zolang de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel. Als maatwerk wordt toegepast, dan moet de aanpak door de opsteller van de QRA worden toegelicht en verantwoord³⁹.

Als de druk van toevoer- of afvoerleidingen wel beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel, dan kan het gebruik van de vereenvoudigde invoermethode leiden tot een systematische onderschatting van de risico's. Voor die situaties moet de opsteller van de QRA maatwerk toepassen, toelichten en verantwoorden.

³⁹ Het doel van maatwerk is het realistisch berekenen van effecten. De opsteller van de QRA geeft een zo goed mogelijk beeld van de te verwachten effecten van een uitstroombesluit. De invoerwijze moet zoveel mogelijk aansluiten bij deze effecten.

10.9.4 Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen

In paragraaf 10.9.3 is beschreven dat de effecten van de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en van 'breuk van een leiding' default berekend worden met de onderstaande 'vereenvoudigde invoermethode'. In paragraaf 10.9.3 is ook aangegeven dat deze vereenvoudigde invoermethode niet gebruikt mag worden als de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen beduidend lager is dan die van het falende installatie-onderdeel.

Op hoofdlijnen is de aanpak van de vereenvoudigde invoermethode als volgt:

- De inrichting en de omgeving worden beschouwd als één systeem dat gemodelleerd wordt met het Long Pipeline model.
- Voor bovengrondse installatie-onderdelen wordt de nalevering vanuit stroomopwaartse en vanuit stroomafwaartse richting afzonderlijk beschouwd. Dit resulteert in twee verschillende Long Pipeline scenario's met eigen invoerwaarden. Voor ondergrondse installaties worden de twee bijdragen gecombineerd in één Long Pipeline scenario.
- De karakteristieken van de Long Pipeline hangen af van de eigenschappen van de toevoer- en afvoerleidingen. Afgezien van de aanwezigheid van eventuele inbloksystemen, is de verdere layout van de inrichting een 'black box'.
- De invoerwaarden voor het Long Pipeline model verschillen voor ondergronds/bovengronds, en hangen verder alleen af van de gatgrootte⁴⁰. Daarom kunnen voorafgaand aan het invoeren van scenario's tabellen worden opgesteld waarin de invoerwaarden voor het Long Pipeline model vermeld worden als functie van de gatgrootte. Er zijn drie tabellen nodig: twee voor bovengrondse installatie-onderdelen (nalevering vanuit stroomopwaartse en vanuit stroomafwaartse delen van de inrichting) en één voor ondergrondse (gecombineerde nalevering).
- De invloed van inbloksystemen mag meegenomen worden voor het tweede segment van de uitstroming (20 -140 s). De afstand tot de kleppen is ook scenario-specifiek.

Voor de inrichting en de omgeving wordt onderscheid gemaakt naar de volgende situaties:

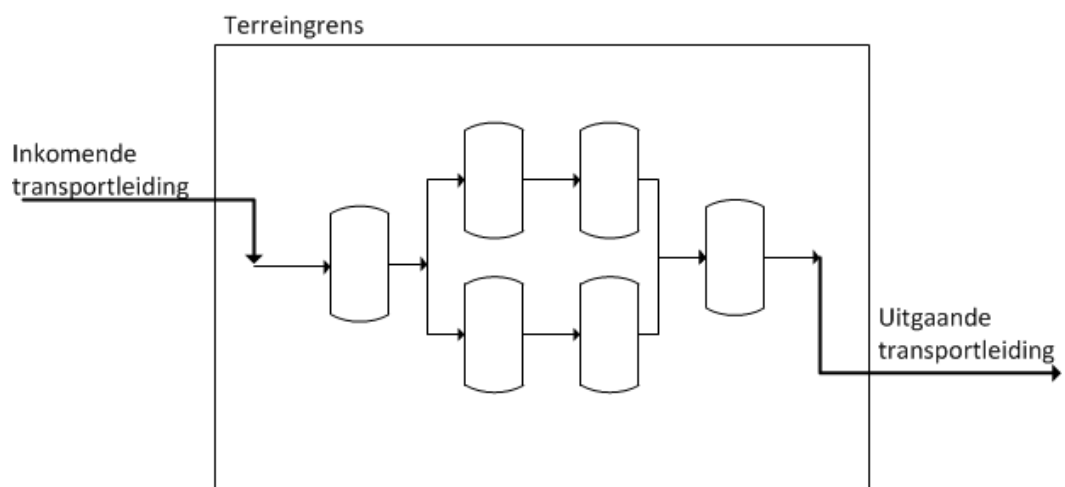
- De inrichting is verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding.
- De inrichting is verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen.
- De inrichting is verbonden met doorgaande transportleidingen.
- De inrichting is via aftakleidingen verbonden met doorgaande transportleidingen.
- De inrichting is een puttenlocatie.

Deze situaties worden per stuk besproken.

10.9.4.1 Inrichting verbonden met één inkomende leiding en één uitgaande leiding

Figuur 11 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met één ingaande en één uitgaande leiding. De invoerwaarden voor het **stroomopwaartse deelscenario** zijn weergegeven in Tabel 92.

⁴⁰ In detail is ook de eventuele aanwezigheid van kleppen nog scenario-specifiek.



Figuur 11 Voorbeeld van een inrichting verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Tabel 92 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één inkomende transportleiding: uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de inkomende transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de inkomende leiding ⁴¹ .
Event frequency ⁴²	De 'event frequency' is gelijk aan de uitstroomfrequentie voor het betreffende scenario, vermenigvuldigd met de ontstekingskans.
Prob. imm. ignition	Specify directly, waarde is 1.
Scenario	Long Pipeline.
Pipe length	Default: 32 km (zie opmerking 1).
Internal diameter	In principe de inwendige diameter van de inkomende transportleiding (zie opmerkingen 2 en 3).
Distance to break	Aan het eind van de leiding, dus gelijk aan de pipe length (zie hierboven).
Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter (zie opmerkingen 2 en 3).
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 4).
Valves	Voor het tweede tijdsegment mag de invloed van inbloksystemen worden meegenomen. Hiervoor wordt de optie 'valves close' gebruikt. Voor de tijd wordt het tijdstip gebruikt waarop de kleppen volledig gesloten zijn. Een typische waarde voor het sluiten van kleppen is 2 s reactietijd plus 1 s per inch diameter sluittijd. De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie ⁴³ niet kleiner is dan het daadwerkelijk ingeblokke volume stroomopwaarts van de uitstroomlocatie.
Time Averaging	Er wordt gekozen voor een 'rate between two times'. Voor het eerste tijdsegment is het 0-20 s, voor het tweede tijdsegment 20-140 s. Als gebruik is gemaakt van de optie 'valves close' dan moet de gebruiker in SAFETI-NL verifiëren of de uitkomsten correct zijn (zie opmerking 5).
Elevation	Default: 1 m (zie opmerking 6).
Release direction	Horizontaal

Opmerkingen:

1. Voor leidingen langer dan 10 km is de lengte nauwelijks relevant voor het uitstroomdebiet. Standaard wordt de waarde 32 km gebruikt. Als de inkomende leiding 10 km is of korter, dan mag de werkelijke waarde worden gebruikt. Dit is niet verplicht. Als de inkomende leiding een compressor bevat, dan is dit het begin van de leiding.
2. In principe is de leidingdiameter gelijk aan de inwendige diameter en wordt de 'relative aperture' zo gekozen dat de juiste gatgrootte verkregen wordt ('relative aperture' = d^2/D^2). Echter, SAFETI-NL hanteert een minimum

⁴¹ Het betreft de waarde die ook gebruikt wordt voor berekeningen in het kader van het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen.

⁴² In geval van een route heet dit 'event probability'.

⁴³ Voor de afstand, L , tussen de gemodelleerde klep en de gemodelleerde breuklocatie, geldt dan $L \geq 4V_u n^{-1}D^{-2}$, met V_u het daadwerkelijk ingeblokke volume stroomopwaarts van de breuklocatie, $n \approx 3,14$ en D de ingevoerde inwendige diameter van het Long Pipeline model.

waarde voor de relative aperture van 0,2. Als $d^2/D^2 < 0,2$, dan moet de diameter van de Long Pipeline kunstmatig worden verkleind om de juiste gatgrootte te krijgen (met 'relative aperture' gelijk aan de minimum waarde van 0,2). Voor de aangepaste diameter D' geldt dan $D' = \sqrt{5d}$.

3. Als de gatgrootte groter is dan de diameter van de toevoerleiding ($d > D$) dan wordt in het Long Pipeline model nog steeds de diameter van de toevoerleiding gebruikt. De 'relative aperture' is gelijk aan 1.
4. Voor leidingen van 10 km of korter waarbij de daadwerkelijke lengte is gebruikt (zie voorgaande opmerking), moet de werkelijke 'pumped inflow' worden ingevoerd. Deze is gelijk aan het debiet (de 'flow') tijdens operationele omstandigheden. Als de inkomende leiding een compressor bevat dan is de 'pumped inflow' gelijk aan het compressordebiet. Voor een inkomende leiding die verbonden is met een of meerdere putten, is de 'pumped inflow' gelijk aan het productiedebiet.
5. Een scenario waarin kleppen sluiten binnen 140 s, kan drukloos raken voordat het eind van het tweede tijdsegment (140 s) bereikt is. In dat geval berekent SAFETI-NL een te laag gemiddeld debiet. Dit euvel kan alleen verholpen worden door het scenario om te zetten naar een 'user defined source' en het gemiddelde debiet tussen 20 s en 140 s handmatig te berekenen op basis van de gerapporteerde 'expelled mass'.
6. In principe mag de gebruiker uitgaan van de werkelijke hoogte van de leiding of het vat (met een minimum van 1 m). De invloed van de hoogte is echter zeer beperkt.

De invoerwaarden voor het **stroomafwaartse deelscenario** zijn grotendeels analoog aan de invoerwaarden voor het stroomopwaartse deelscenario (Tabel 92). Ter vergroting van de leesbaarheid zijn in Tabel 93 alleen de wijzigingen aangegeven. In het bijzonder wordt de breuklocatie nog altijd aan het eind van de leiding gemodelleerd (dus niet aan het begin) en geldt de eventuele aanwezige compressor nog steeds als begin van de leiding (dus niet als eind). De stroomrichting is als het ware omgekeerd. Dit is om te voorkomen dat het uitstroomdebiet in SAFETI-NL onnauwkeurig wordt berekend.

Tabel 93 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één uitgaande transportleiding: uitstroming vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>uitgaande</i> leiding.
Internal diameter	De inwendige diameter van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 1).
Valves	(...) De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie niet kleiner is dan het ingeblokke volume <i>downstream</i> van de uitstroomlocatie.

Opmerkingen:

1. Als de leidinglengte 10 km is of korter, dan wordt 0,1 kg/s gebruikt om verkeerde tijdsmiddeling voor het tweede tijdsegment te voorkomen.

Voor **ondergrondse leidingen** wordt nalevering vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen gecombineerd. Eerst wordt bepaald welk deelscenario de grootste gemiddelde uitstroming geeft tussen 0 en 20 s. Daarbij

wordt de uitstroming uit het stroomopwaartse leidingdeel doorgerekend met de aannames van Tabel 92 en de uitstroming uit het stroomafwaartse leidingdeel op basis van Tabel 93 (als ware het bovengrondse leidingen). In beide gevallen wordt de 'relative aperture' gelijk gesteld aan 1 (namelijk de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). Het leidingdeel met het grootste gemiddelde uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s is het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de invoer van het Long Pipeline model. Alleen de lengte wordt aangepast om de invloed van het tweede leidingdeel te verdisconteren.

De invoerwaarden voor ondergrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 94. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 92.

Tabel 94 Invoerwaarden voor ondergrondse installaties verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pipe length	Default: 64 km (zie opmerking 1).
Internal diameter	De inwendige diameter van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Distance to break	Default: 32 km (zie opmerking 2).
Valves	Voor een gangbaar inbloksysteem zijn twee kleppen nodig (één vóór de breuklocatie en één áchter de breuklocatie). De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat de gemodelleerde volumes voor en achter de breuklocaties niet kleiner zijn dan het ingeblokte volume stroomopwaarts danwel stroomafwaarts van de uitstroomlocatie.
Elevation	0 m.
Release direction	Verticaal.

Opmerkingen:

1. De leidinglengte is de som van de lengtes van de inkomende leiding en de uitgaande leiding. Voor leidingen langer dan 10 km is de lengte nauwelijks relevant voor het uitstroomdebiet. Standaard wordt de waarde 64 km gebruikt. Als de lengte van de inkomende leiding en/of de uitgaande leiding 10 km is of korter, dan mag de werkelijke waarde worden gebruikt. Dit is niet verplicht.
2. Standaard wordt een breuklocatie halverwege de leiding genomen. Indien is uitgegaan van werkelijke lengtes van leidingdelen dan wordt de 'distance to break' aan het eind van de bepalende leiding gekozen.

10.9.4.2 Inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande leidingen

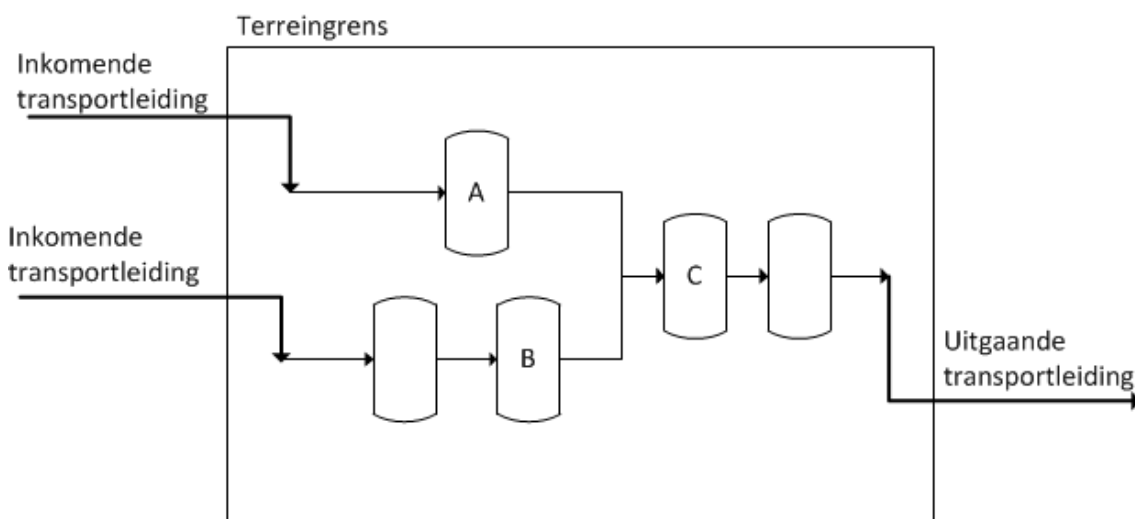
Figuur 12 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met meerdere ingaande en uitgaande leidingen. Ook voor deze situatie wordt een Long Pipeline model gebruikt. Omdat er meerdere leidingen zijn, is er 'guidance' nodig over de invoerwaarden voor druk, temperatuur, diameter, enz.

Strikt genomen zijn de inkomende leidingen voor de uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting verschillend voor de installatie-

onderdelen A, B en C in Figuur 12. In de vereenvoudigde aanpak wordt hiermee geen rekening gehouden. De vereenvoudigde aanpak blijft een eenvoudige aanpak die over het geheel genomen robuuste uitkomsten oplevert. In het bijzonder is de modellering voor de installatie-onderdelen A, B en C dus identiek als de diameter van de aansluitingen gelijk is. De inrichting zelf is een 'black box'.

De enige uitzondering⁴⁴ hierop is een inrichting met volledig gescheiden productstromen. Volledig gescheiden productstromen worden los van elkaar ingevoerd en gemodelleerd.

Hieronder wordt een voorbeeld uitgewerkt voor een uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting met meerdere inkomende transportleidingen. De aanpak voor een downstream deel met meerdere uitgaande transportleidingen is analoog. Vervolgens is de aanpak voor ondergrondse installatie-onderdelen met meerdere inkomende en/of uitgaande transportleidingen weer analoog aan de aanpak van de vorige paragraaf.



Figuur 12 Voorbeeld van een inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen

Voorbeeld: meerdere inkomende transportleidingen: uitstroming met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting

Eerst wordt voor elk van de inkomende leidingen afzonderlijk het uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s bepaald op basis van de uitgangspunten van Tabel 92. Alleen de 'relative aperture' wijkt af en wordt gelijk gesteld aan 1 (de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). De inkomende transportleiding die het grootste gemiddelde uitstroomdebiet geeft tussen 0 en 20 s, geldt als het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de verdere invoer. De invloed van de overige leidingen wordt verdisconteerd door de diameter in het Long Pipeline model te vergroten (de inkomende transportleiding wordt als het ware verbreed).

De invoerwaarden voor bovengrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 95. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden

⁴⁴ Het is natuurlijk ook toegestaan om maatwerk te leveren.

opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 92.

Tabel 95 Invoerwaarden voor toevoer vanuit meerdere inkomende transportleidingen

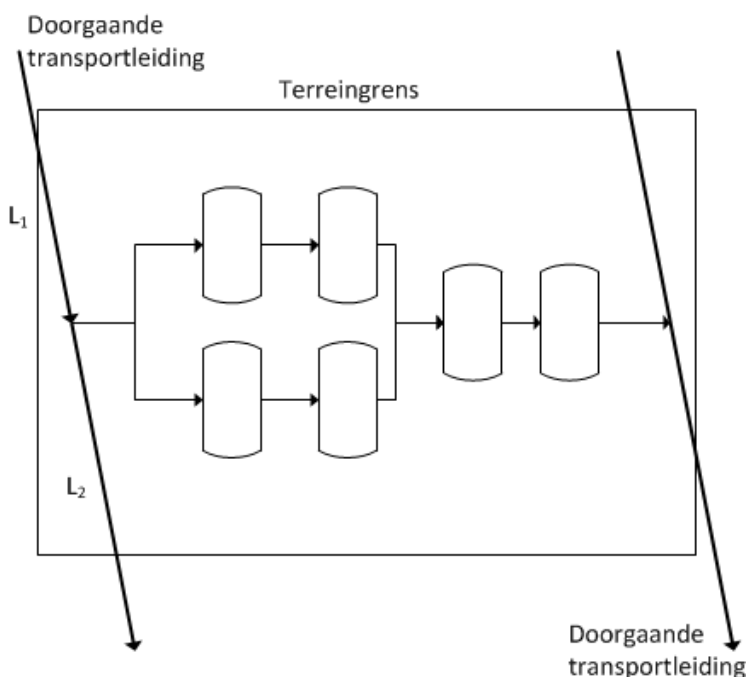
Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Internal diameter	De equivalente diameter voor alle inkomende leidingen (zie opmerking 1), met een maximum van 2 m. Als deze waarde groter is dan $\sqrt{5} \times$ de gatgrootte, dan wordt $\sqrt{5} \times$ gatgrootte gebruikt.
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 2).

Opmerkingen:

1. De equivalente diameter wordt bepaald door voor elke inkomende leiding afzonderlijk de diameter te kwadrateren, deze waarden te sommeren en daar de wortel van te nemen. In formulevorm: $D_{eq} = (D_1^2 + D_2^2 + \dots D_N^2)^{1/2}$.
2. Met de default instelling voor de leidinglengte (32 km voor bovengronds en 64 km voor ondergronds) hoeft 'pumped inflow' niet meegenomen te worden. 'Pumped inflow' wordt alleen ingevoerd als de leidinglengte 10 km of kleiner is. In dat geval is het 'pumped inflow' gelijk aan het gesommeerde compressordebiet van alle inkomende transportleidingen of de som van het productiedebiet van inkomende productieleidingen.

10.9.4.3 Inrichting verbonden met doorgaande leidingen

Figuur 13 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met doorgaande transportleidingen. De berekeningswijze lijkt sterk op die voor inrichtingen met inkomende en uitgaande transportleidingen (paragraaf 10.9.4.1). L_1 is de lengte van de doorgaande leiding voorafgaand aan de aftakking naar de inrichting en L_2 is de lengte van de doorgaande leiding voorbij de aftakking naar de inrichting.



Figuur 13 Voorbeeld van een inrichting verbonden met doorgaande transportleidingen

De (eenzijdige) uitstroming uit een bovengronds installatie-onderdeel met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting wordt wederom als voorbeeld genomen. De invoerwaarden voor zijn weergegeven in Tabel 92.

Tabel 96. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 92.

Tabel 96 Invoerwaarden voor toevoer vanuit doorgaande transportleidingen

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
Pipe length	Default: 32 km. Anders de <i>totale</i> lengte van de <i>doorgaande</i> transportleiding, $L_1 + L_2$ (zie Figuur 13).
Distance to break	Gelijk aan de 'pipe length' (zie opmerking 1).

Opmerkingen:

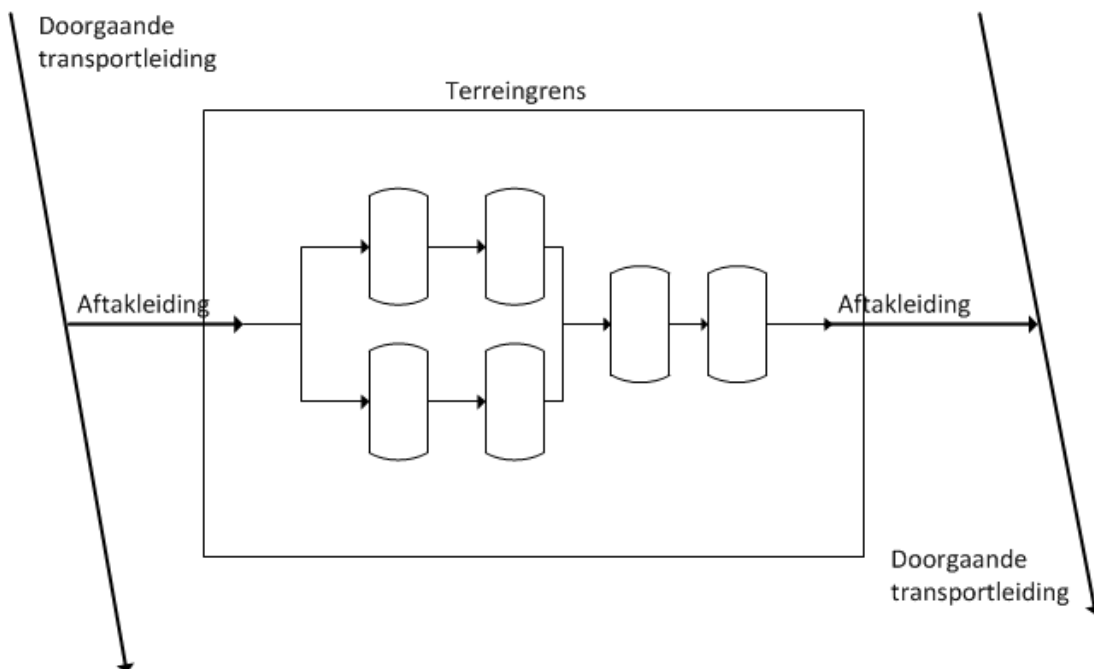
1. De breuklocatie wordt dus aan het *eind* van de leiding geplaatst. Dit is toegelicht in paragraaf 14.5.

10.9.4.4 Inrichting met aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen

Figuur 14 geeft een voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen verbonden is met doorgaande transportleidingen. Voor deze inrichting geldt:

- Als de lengte van de aftakleiding kleiner is dan 10 km, dan wordt de doorgaande transportleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Long Pipeline model te bepalen.
- Als de aftakleiding zelf voldoende lang is (10 km of meer), dan worden de eigenschappen van de aftakleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het

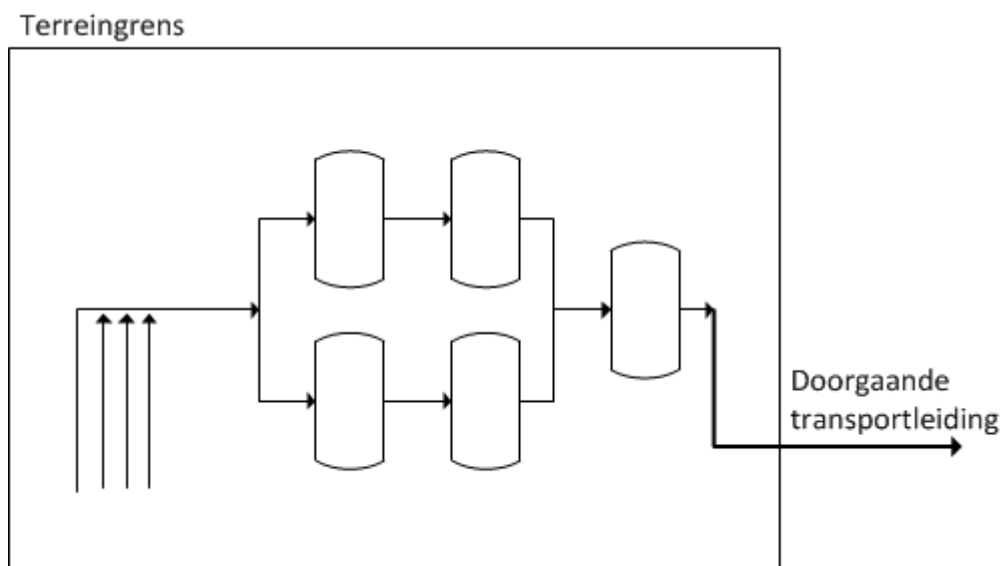
Long Pipeline model te bepalen. Hiervoor zijn de regels van paragraaf 10.9.4.1 van toepassing.



Figuur 14 Voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen is verbonden met doorgaande transportleidingen

10.9.4.5 Puttenlocatie

Figuur 15 geeft een voorbeeld van een productielocatie. De belangrijkste invoerwaarden voor de toevoer vanaf de productieput zijn weergegeven in Tabel 97. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 92.



Figuur 15 Voorbeeld van een productielocatie

Tabel 97 Invoerwaarden voor toevoer vanuit de productieputten

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het reservoir.
Pressure	Productie: flowing bottom hole pressure. Injectie: compressordruk.
Pipe length	Afstand tot het reservoir (zie opmerking 1).
Internal diameter	Equivalente tubing diameter van de aangesloten productieputten.
Distance to break	Aan het eind van de leiding, dus gelijk aan de pipe length (zie hierboven).
Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter.
Pumped inflow	Productie: gesommeerd productiedebiet (representatieve waarden). Injectie: 0 kg/s.

Opmerkingen:

1. Als er meerdere putten zijn dan betreft het de gemiddelde afstand tot het reservoir (de gewogen gemiddelde afstand als de diameters van de putten sterk variëren).

10.9.5 Ingeblokte installatieonderdelen

Bij mijnbouwwerken kunnen installatieonderdelen gedurende een deel van het jaar ingeblokkeerd zijn. Het inblokken draagt bij aan de veiligheid en kan gewaardeerd worden in de QRA mits deze realistisch, aantoonbaar en voldoende geborgd is in de vergunning.

De default manier voor het invoeren van een scenario is:

- Bepaal het volume van het ingeblokkeerde systeem.
- Bepaal de gatgrootte voor het betreffende scenario.
- Definieer in SAFETI-NL een Leak scenario en gebruik de optie 'time-varying release'.
- De jets uit stroomopwaartse en stroomafwaartse richting zijn identiek (gatgrootte en druk is gelijk). Er kan met één scenario worden volstaan, waarbij de uitstroomfrequentie vermenigvuldigd wordt met een factor twee.

Bovenstaande default manier is conservatief omdat geen rekening wordt gehouden met drukval in de leidingen binnen het ingesloten systeem. Voor breuken in leidingen kan de drukval substantieel zijn. Een meer realistische manier om de effecten voor leidingbreuk in een ingesloten systeem te berekenen, maakt gebruik van het Line Rupture model in SAFETI-NL. De opsteller van de QRA mag deze aanpak gebruiken, maar is daartoe niet verplicht. De aanpak is dan als volgt:

- Bepaal het volume van het ingeblokkeerde systeem.
- Bepaal de diameter van de leiding ter plaatse van de gemodelleerde breuk.
- Bepaal – afzonderlijk voor het scenario met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en het scenario met nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting – de afstand tot de meest nabije verbreding in de leiding of het meest nabije vat. Deze afstand is de 'line length'.
- Definieer in SAFETI-NL een Line Rupture scenario en gebruik daarbij de optie 'time-varying release'.

10.9.6 *Blowout van de put tijdens productie of injectie*

De gatgrootte is gelijk aan de diameter van de casing of de tubing. Zoals beschreven is in 10.8.3, vindt nalevering plaats vanuit de put (Q_A) en vanuit de installaties die via de 'wing valve' met de put verbonden zijn (Q_B).

Voor de toevoer vanuit de put (Q_A) gelden de volgende uitgangspunten:

- De uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.
- De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing.
- De druk betreft de 'flowing bottom hole pressure' (FBHP) als er sprake is van productie. Voor injectie is de druk gelijk aan de compressordruk.
- Bij de 'pumped inflow' wordt een representatief productiedebiet ingevoerd als er sprake is van productie. Als er sprake is van injectie dan wordt er geen pumped inflow ingevoerd.

De nalevering vanuit de installaties op de inrichting (Q_B) en de totale uitstroming worden met maatwerk bepaald. De resulterende bronterm dient lager te zijn dan het uitstroomdebiet voor de gegeven diameter (tubing of casing) bij een constante druk gelijk aan de initiële druk.

10.9.7 *Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden*

De gatgrootte is gelijk aan de diameter van de casing of de tubing. Bij aanvang van de uitstroming staat de put onder druk. Nalevering vindt uitsluitend plaats vanuit de put (paragraaf 10.8.3). Voor de modellering in SAFETI-NL gelden de volgende voorwaarden.

- De uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.

De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing of casing (zie (zie Tabel 74 en

- Tabel 76).
- De druk betreft de 'closed in tubing head pressure' (CITHP).
- De 'pumped inflow' is gelijk aan nul (ingesloten put).

Als de modellering van de tubing blowout een uitstroomdebiet geeft die lager is dan de 'tubing blowout potential' (TBOP), dan wordt de modellering aangepast zodanig dat het uitstroomdebiet gelijk is aan de TBOP. Als de modellering van de casing blowout een uitstroomdebiet geeft die lager is dan de 'casing blowout potential' (CBOP), dan wordt de modellering aangepast zodanig dat het uitstroomdebiet gelijk is aan de CBOP.

10.9.8 Lekkage vanuit de put

De modellering is gelijk aan die voor de overige lekscenario's, zie paragraaf 10.9.1.

10.10 Voorbeeldberekening

In deze paragraaf wordt een rekenvoorbeeld uitgewerkt voor een denkbeeldige inrichting. Het betreft een inrichting waarbij het gas dat toestroomt vanuit twee productieputten, wordt ontdaan van condensaat en water en daarna in een doorgaande transportleiding wordt geïnjecteerd (zie Figuur 16). De dikgedrukte (en van letter voorziene) doorgetrokken lijnen in deze figuur stellen de gasleidingen voor en de dingedrukte doorgetrokken lijnen de condensaatleidingen. Waterleidingen en gasleidingen met een kleine diameter zijn niet in de figuur weergegeven.

Het doel van de voorbeeldberekening is het illustreren van de nieuwe rekenmethode. Voor de opslag en verlading van condensaat is de rekenmethode niet veranderd ten opzichte van die voor Brzo-bedrijven. Deze onderdelen worden in het voorbeeld daarom niet verder uitgewerkt of toegelicht.

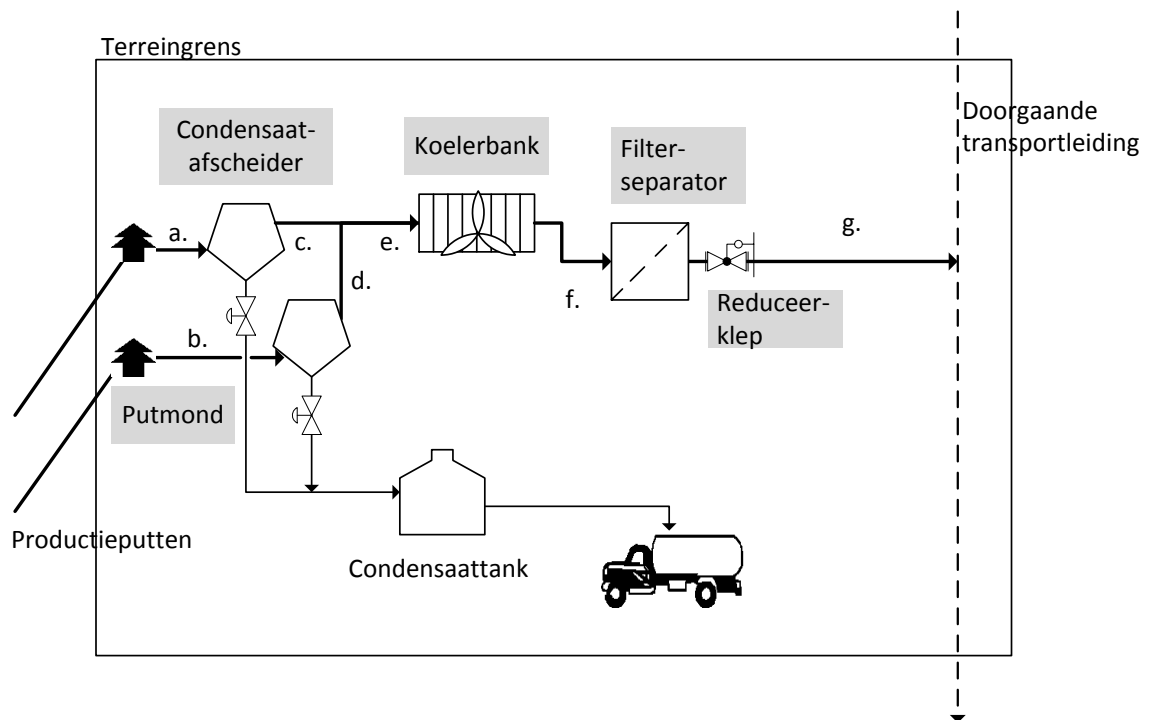
De belangrijkste eigenschappen van de installatieonderdelen worden hieronder beschreven.

De productieputten voeren gas vanaf het reservoir naar twee **putmonden** binnen de inrichting. De putmonden worden meegenomen in de risicoanalyse. De achterliggende productieleidingen hebben de volgende eigenschappen:

- Tubing diameter: 5¼ inch (0,133 m) voor beide putten.
- Casing diameter: 7 inch (0,178 m) voor beide putten.
- 'Gas oil ratio' groter dan 1000.
- Afstand tot reservoir: 3000 m voor beide putten.
- Reservoir temperatuur: 70°C voor beide putten.
- Productiedebiet: 0,5 miljoen Nm³/dag (4 kg/s) per put.
- Closed-in tubing head pressure (CITHP): 130 bar(g) voor beide putten.
- Flowing bottom hole pressure (FBHP): 60 bar(g) voor beide putten.
- Tubing blowout potential (TBOP): 10 kg/s.
- Casing blowout potential (CBOP): 15 kg/s.

Aan de productieputten wordt periodiek onderhoud gedaan met de volgende frequenties:

- Wireline: gemiddeld 1 keer per jaar per put.
- Coiled-tubing: gemiddeld 0,03 keer per jaar per put.
- Workover: gemiddeld 0,125 keer per jaar per put.
- Snubbing: nooit.



Figuur 16 Layout van de inrichting van het rekenvoorbeeld

De **gasleidingen a en b** verbinden de putmonden met de condensaatafscheiders. Beide leidingen hebben een lengte van 10 m en een inwendige diameter van 5¼ inch (0,133 m). De **condensaatafscheiders** zijn 'knockout' vaten zonder complexe 'internals'. De operationele druk is 60 bar(g) en de operationele temperatuur 70°C. De aansluitingen met de gasleidingen hebben een diameter van 5¼ inch (0,133 m). De inhoud van de vaten is 20 m³ (elk). De afvoer van condensaat wordt in dit rekenvoorbeeld niet besproken.

De **gasleidingen c en d** vanaf de condensaatafscheiders komen voor de koelerbank samen en gaan dan over in **leiding e**. De diameter van de leidingdelen c en d is 5¼ inch (0,133 m), en die van leidingdeel e 7 inch (0,178 m). De lengte van alle drie de leidingdelen is 10 m (per stuk). De operationele druk en temperatuur zijn gelijk aan die van de binnenkomende productieleidingen (60 bar en 70°C). De **koelerbank** bestaat uit een honderdtal pijpen met een diameter van ¾ inch (0,019 m) per pijp. Voorbij de koelerbank is de operationele temperatuur gedaald tot omgevingstemperatuur.

De **gasleiding e** van de koelerbank naar de filterseparator heeft een diameter van 7 inch (0,178 m) en een lengte van 10 m. De **filterseparator** heeft een volume van 15 m³. De aansluiting met de inkomende en uitgaande gasleidingen is 7 inch (0,178 m). Voorbij de filterseparator wordt de operationele druk met een reduceerklep verlaagd van 60 bar(g) naar 40 bar(g). Voorbij de klep heeft **verbindingsleiding g** een diameter van 8,5 inch (0,216 m) en een lengte van 20 m tot aan de doorgaande gastransportleiding. Leidingdeel g heeft een geflensde verbinding met de filterseparator en een gelaste verbinding met de transportleiding.

De **doorgaande gastransportleiding** heeft een ontwerpdruk van 40 bar(g) en een diameter van 14 inch (0,356 m). Zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts van de inrichting is de doorgaande leiding langer dan 10 km.

10.10.1 Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties

In Tabel 98 zijn de te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties weergegeven, met de volgende opmerkingen:

- Leiding g is onderdeel van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m en voldoet aan de definitie van hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3). Hiervoor moet worden nagegaan of domino-effecten door flenslekkages vanuit andere installaties relevant zijn (zie paragraaf 10.2.4.3).
 - Omdat er geen brand- en gasdetectiesysteem is en in het onderwerp niet expliciet is rekening gehouden met het voorkomen van domino-effecten, moeten worden nagegaan hoeveel flenzen de ontvangende leiding g kunnen aanstralen. Deze flenzen zijn relevant voor de uitstroomfrequentie als het totale aantal groter is dan 0,6 maal de leidinglengte van leidingdeel g (20 m), oftewel 12.
 - De doorgaande (ondergrondse) leiding heeft geen geflensde verbindingen.
 - De overige leidingen binnen de inrichting, en de verbindingen van leidingen en vaten, hebben een diameter van 7 inch of minder. De gatgrootte voor relevante flenslekkages is daarom 0,7 inch (18 mm) of minder. De maximale afstand waarop de stralingsintensiteit 35 kW/m^2 of hoger kan zijn, is volgens Tabel 69 gelijk aan 25 m^{45} . Op basis van deze afstand hoeven alleen de flenzen in de filterseparator en de koelerbank te worden beschouwd.
 - De filterseparator bevat naast de verbinding met leiding g nog twee flenzen die leiding g kunnen aanstralen. Gezien vanuit de koelerbank wordt leiding g afgeschermd door de filterseparator. De flenzen op de koelerbank hoeven daarom niet meegenomen te worden voor domino-effecten naar leiding g.⁴⁶
 - Het aantal flenzen dat een domino-effect kan veroorzaken (2) is kleiner dan 12. Daarmee is de bijdrage van domino-effecten niet relevant en hoeft op basis van paragraaf 10.2.4.3 niet verder te worden onderzocht.⁴⁷

⁴⁵ Druk 60 bar, gatgrootte 20 mm.

⁴⁶ Volgens paragraaf 10.2.4.3 hoeven alleen naastgelegen systemen te worden beschouwd.

⁴⁷ De twee flenzen zorgen voor een kans op een domino-effect van $2 \times 9,3 \times 10^{-10} = 1,9 \times 10^{-9}$ per jaar. De inherente kans op een breuk voor leiding g is $20 \times 5,6 \times 10^{-9} = 1,1 \times 10^{-7}$ per jaar. De kans op een breuk door een domino-effect is dus 1,7% van de inherente kans op een breuk en is dus inderdaad verwaarloosbaar.

Tabel 98 Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties voor de installatieonderdelen van het rekenvoorbeeld

Installatie-onderdeel	Activiteit	Scenario	Tabel	Vervolg-factor	Frequentie (per jaar)
Putmond A Putmond B	Productie	Tubing blowout	Tabel 73	1	$3,3 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		1	$5,2 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$9,4 \times 10^{-6}$
	Wireline	Tubing blowout	Tabel 74	1	$8,9 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		1	$1,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$2,6 \times 10^{-6}$
	Coiled-tubing	Tubing blowout	Tabel 74	0,03	$5,7 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		0,03	$3,3 \times 10^{-6}$
		Horizontaal lek		0,03	$9,9 \times 10^{-7}$
	Workover	Casing blowout	Tabel 74	0,125	$7,6 \times 10^{-6}$
		Tubing blowout		0,125	$3,0 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		0,125	$3,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		0,125	$8,0 \times 10^{-6}$
Leidingen a, b, c en d		Breuk van de leiding	Tabel 27	10	$3,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$2,0 \times 10^{-5}$
Knockout vat		Instantaan falen	Tabel 98	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding e en f		Breuk van de leiding	Tabel 27	10	$1,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$5,0 \times 10^{-6}$
Koelerbank		Breuk 10 pijpen tegelijk	Tabel 90	1	$1,0 \times 10^{-5}$
		Breuk 1 pijp		1	$1,0 \times 10^{-3}$
Filterseparator		Instantaan falen	Tabel 84	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding g		Breuk van de leiding	Tabel 78	20	$1,1 \times 10^{-7}$
		Lek van de leiding		20	$4,0 \times 10^{-7}$
		Flenslekkage		1	$9,3 \times 10^{-7}$

- De leidingen a en b maken geen onderdeel uit van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m omdat de putmond als begrenzing van het systeem wordt gezien. Als gevolg hiervan gelden voor deze leidingen de scenario's en frequenties van procesleidingen (Tabel 27 uit paragraaf 3.8).
- Ook voor de overige leidingen, die verschillende typen vaten verbinden, is de lengte van het systeem van leidingen steeds kleiner dan 25 m en zijn de scenario's en frequenties van procesleidingen van toepassing.
- De doorgaande transportleiding is geen onderdeel van de inrichting.

10.10.2 Gebruik vereenvoudigde invoermethode

Volgens paragraaf 10.9.3 worden de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' standaard gemodelleerd met de 'vereenvoudigde invoermethode', op voorwaarde dat de operationele druk in het systeem 16 bar of hoger is, het insluitsysteem een mengsel van ontvlambare gassen bevat of een (ongestabiliseerd) mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen, en de druk in de toe- en afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende insluitsysteem. Deze criteria zijn van toepassing op alle installatieonderdelen behalve de condensaatleidingen, de condensaat tank en de

tankauto.⁴⁸ Voor de blowout scenario's van de putten wordt de vereenvoudigde invoermethode conform paragraaf 0 en 10.9.7 ook niet gebruikt.

In Tabel 99 is aangegeven voor welke scenario's de vereenvoudigde invoermethode wordt gebruikt en wat de bijbehorende gatgrootte is (diameter van het gat).

Tabel 99 Scenario's die berekend worden met de vereenvoudigde invoermethode en bijbehorende gatgrootte (diameter)

Installatie-onderdeel	Scenario	Gatgrootte volgens vereenvoudigde methode
Leidingen a. t/m d.	Breuk van de leiding	5¼ inch (0,133 m)
Knockout vaten	Instantaan falen	5¼ inch (0,133 m)
Leidingen e. en f.	Breuk van de leiding	7 inch (0,178 m)
Filterseparator	Instantaan falen	7 inch (0,178 m)
Leiding g.	Breuk van de leiding	8,5 inch (0,216 m)

In de vereenvoudigde invoermethode wordt het uitstroomdebiet bepaald aan de hand van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande transportleidingen. Voor de modellering wordt het Long Pipeline model in SAFETI-NL gebruikt. Als er meerdere (inkomende of uitgaande) leidingen zijn, dan wordt een equivalente leiding gedefinieerd. Dit is in het rekenvoorbeeld alleen het geval voor de twee inkomende leidingen vanaf de productieputten. De equivalente diameter van de twee putten is 0,189 m ($\sqrt{2} \times 5\frac{1}{4}$ inch). Voor de doorgaande (uitgaande) leiding is de diameter gelijk aan de feitelijke diameter, zie paragraaf 10.9.4.3 In Tabel 100 zijn alle relevante invoerwaarden voor Long Pipeline A en Long Pipeline B weergegeven.

Tabel 100 Invoerwaarden voor het Long Pipeline model

Leiding	Relevante invoerwaarden Long Pipeline model
Long Pipeline A (toevoer vanaf putten)	• Maximale equivalente diameter: 0,189 m (namelijk $\sqrt{2} \times 0,133$ m) • Temperatuur: 70°C • Druk: 60 bar(g) tijdens productie • Lengte: 3000 m • Pumped inflow: 8 kg/s (2×4) • Distance to break: 3000 m
Long Pipeline B (toevoer vanuit door- gaande transportleiding)	• Maximale diameter: 0,356 m (14 inch) • Temperatuur: 9°C • Druk: 40 bar(g) • Lengte: 32 km • Pumped inflow: 0 kg/s • Distance to break: 32 km

Opmerkingen:

1. De weergegeven diameter betreft de maximale waarde omdat de 'relative aperture' in het Long Pipeline model niet kleiner mag zijn dan 0,2 (zie opmerking 1 onder Tabel 92). In Tabel 103 staat de werkelijke invoerwaarde voor de diameter. Uit Tabel 99 blijkt dat er vijf scenario's zijn die met de vereenvoudigde invoermethode worden berekend. Er zijn maar drie verschillende lekgrootten, namelijk 5¼ inch (0,133 m), 7 inch (0,178 m) en 8½ inch (0,216 m). Voor deze lekgrootten moeten de resterende invoerwaarden voor het Long Pipeline model worden bepaald, te

⁴⁸ In het bijzonder is 40 bar dus niet beduidend lager dan 60 bar.

weten de 'aperture area' en de inwendige diameter. De uitkomsten staan in Tabel 101.

Tabel 101 Invoerwaarden voor de diameter en aperture area in het Long Pipeline model, gegeven de gatgrootte

Lekgrootte	Long Pipeline A ($D_A = 0,189$ m)	Long Pipeline B ($D_B = 0,356$ m)
Diameter 5¼ inch	$d^2/D_A^2 = 0,5$ $D_A = 0,189$ m - Relative aperture = 0,5	$d^2/D_B^2 = 0,141$ $D_B' = 0,298$ m ($\sqrt{5} \times 5\frac{1}{4}$ inch) - Relative aperture = 0,2
Diameter 7 inch	$d^2/D_A^2 = 0,889$ $D_A = 0,189$ m - Relative aperture = 0,889	$d^2/D_B^2 = 0,250$ $D_B = 0,356$ m - Relative aperture = 0,250
Diameter 8,5 inch	$d^2/D_A^2 = 1,311$ $D_A = 0,189$ m - Relative aperture = 1	$d^2/D_B^2 = 0,369$ $D_B = 0,356$ m - Relative aperture = 0,369

In Tabel 101 komen drie bijzondere situaties voor:

- De 5¼ inch leidingen (leidingen a t/m d) worden pas na de condensaatafscheiders met elkaar verbonden (bij leiding d). Realistisch gezien vindt de toevoer vanuit de put voor deze leidingdelen dus plaats vanuit een leiding met een diameter van 5¼ inch (0,133 m) en niet vanuit een leiding met een diameter van 0,189 m (D_A). Echter, zoals in paragraaf 10.9.4.2 is aangegeven, is de inrichting zelf een black box en daarom wordt voor de toevoerleiding (Long Pipeline A) toch een diameter van 0,189 m ingevoerd. Hetzelfde geldt voor het instantaan falen van een condensaat-afscheider.
- Voor lekgrootte 5¼ inch en nalevering vanuit de doorgaande transportleiding (Long Pipeline B) is d^2/D_B^2 gelijk aan 0,141 en dus kleiner dan 0,2. Omdat de minimale relative aperture in het Long Pipeline model gelijk is aan 0,2 moet de inwendige diameter van het model voor deze gatgrootte verkleind worden tot 0,298 (i.p.v. 0,356), zodanig dat $d^2/D_B'^2 = 0,2$. Deze waarde wordt dus gebruikt voor breuk van de leidingen a t/m d en voor het instantaan falen van de condensaat-afscheiders.
- Voor lekgrootte 8,5 inch en nalevering vanaf putzijde (Long Pipeline A) is d^2/D_A^2 gelijk aan 1,311 en dus groter dan 1. Anders gezegd: de diameter van leiding g (0,216 m) is groter dan de equivalente leidingdiameter voor de productieputten (0,189 m).⁴⁹ De eigenschappen van de toevoerleiding zijn volgens de vereenvoudigde invoermethode bepalend. De te gebruiken invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn diameter 0,189 m, druk 60 bar, en relative aperture 1.

10.10.3 Effectmodellering

Hieronder wordt per scenario aangegeven hoe de scenario's zijn ingevoerd in SAFETI-NL.

- Putmonden.** De 'blowouts' vanuit de putten worden op basis van paragraaf 0 en 10.9.7 niet berekend met de vereenvoudigde invoermethode maar op basis van maatwerk.

Tijdens productie is de wing valve geopend en is nalevering (terugstroming) vanaf de inrichting mogelijk. De gatgrootte voor de uitstroming is gelijk aan de tubing diameter (5¼ inch). De levering vanaf de inrichting is vanwege de

⁴⁹ Wel kan worden opgemerkt dat de druk ter plaatse van leidingdeel g (40 bar) kleiner is dan in de productieputten (60 bar).

grotere diameters en langere leidinglengtes groter dan de levering vanuit de put. Op basis van een uitgebreide analyse (zie toelichting in paragraaf 14.5) is gekozen om de uitstroming te berekenen met een Long Pipeline met een diameter van 11,74 inch (0,298 m), relative aperture 0,2 (c.q. gatgrootte 5¼ inch), leidinglengte 32 km, 'pumped inflow' 0 kg/s en 'distance to break' gelijk aan de leidinglengte (32 km).

Tijdens onderhoudswerkzaamheden (wireline, coiled-tubing en workover) is de put ingesloten maar wel onder druk (130 bar). Voor deze scenario's is de blowout gemodelleerd met een Long Pipeline met een diameter ter grootte van de tubing (5¼ inch) of de casing (7 inch) en een lengte gelijk aan de afstand tot het reservoir (3 km).

Voor lekscenario's wordt aangenomen dat de druk niet noemenswaardig afneemt in de tijd. Voor de modellering van deze scenario's is het Leak model gebruikt, zonder de optie 'time-varying release'. Voor onderhoudswerkzaamheden is geen apart lekscenario gebruikt; het lekscenario voor lek tijdens productie wordt geacht de risico's afdoende te beschrijven.

- **Leidingen a t/m d** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,5 (zie Tabel 101). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,298 m en een relative aperture van 0,2. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,53 inch (0,013 m).
- **Condensaatafscheiders.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding a (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
- **Leidingen e en f** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 7 inch (0,178 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,889 (zie Tabel 101). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,25. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,7 inch (0,018 m).
- **Koelerbank.** Het scenario breuk van 10 pijpen is gemodelleerd met het Leak model op basis van een equivalente diameter van 10 pijpen bij constante druk (geen 'time-varying release'). Breuk van één pijp hoeft vanwege de kleine diameter niet te worden meegenomen (zie Tabel 70).
- **Filterseparator.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario instantaan falen is 7 inch (0,178 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding e (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
- **Leiding g.** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk van leiding g is 8,5 inch (0,216 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft een diameter 0,189 m en een relative aperture van 1 (zie Tabel 110). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,369. Lek van de leiding (inclusief flenslek) is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,85 inch (0,022 m).

10.10.4 Uitkomsten

In Tabel 102 zijn voor alle scenario's de ingevoerde uitstroomfrequentie, de bronterm en de 1% letaliteitsafstanden voor weertype D5 weergegeven. De maximale effectafstand is (afgerond) 160 m en treedt op bij een breuk in leiding g met ontsteking gedurende de eerste 20 s en toevoer vanuit de transportleiding.

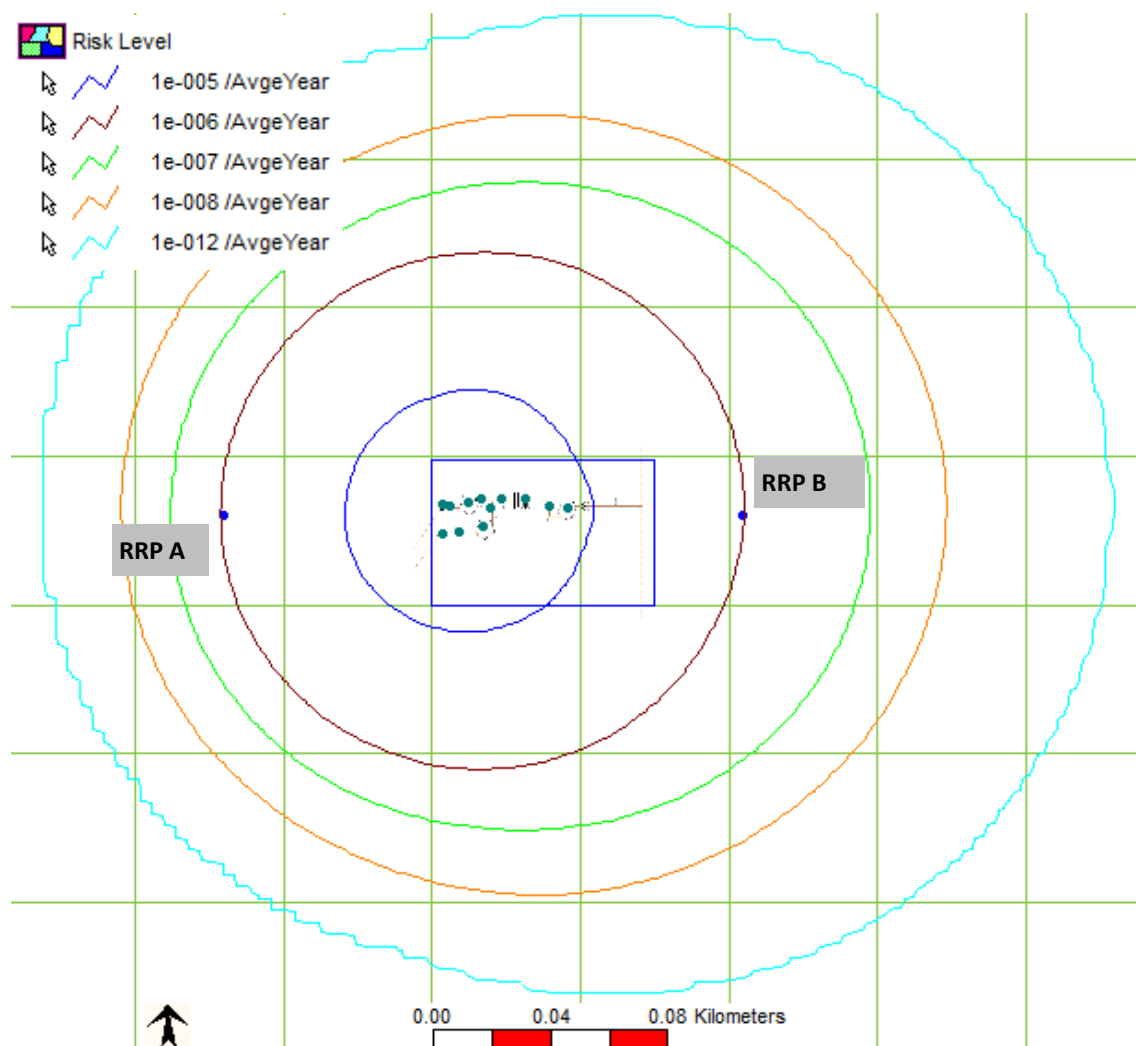
In Figuur 17 zijn de resulterende risicocontouren weergegeven. Afhankelijk van de locatie ligt de PR 10^{-6} -contour op 35 tot 70 m afstand van de inrichtingsgrens. Het invloedsgebied reikt tot 150 m afstand van de inrichtingsgrens. In Tabel 103 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' A (RRP A) dat 70 m ten oosten van de inrichtingsgrens ligt. In Tabel 104 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' B (RRP B) dat 40 m ten westen van de inrichtingsgrens ligt. De ligging van de PR 10^{-6} -contour wordt in dit rekenvoorbeeld vooral bepaald door leidingbreuken met terugstroming vanaf 'landzijde' (vanuit de doorgaande transportleiding).

Tabel 102 Overzicht van de scenario's en de meest relevante uitkomsten

Scenario	Bronterm (kg/s)	P _{ontstek} ing	Frequen- tie (/jr)	1% letaliteits- afstand (m) bij D5
Put a/b Production blowout 0-20s	83	0,04	$1,3 \times 10^{-6}$	60
Put a/b Production blowout 20-140s	50	0,96	$3,2 \times 10^{-5}$	45
Put a/b Overige tubing blowouts 0-20s	53	0,04	$1,8 \times 10^{-6}$	45
Put a/b Overige tubing blowouts 20-140s	14	0,96	$4,3 \times 10^{-5}$	25
Put a/b Casing blowout 0-20s	104	0,09	$6,9 \times 10^{-7}$	65
Put a/b Casing blowout 20-140s	24	0,91	$6,9 \times 10^{-6}$	35
Put a/b Verticaal tubing lek	1	1,00	$5,1 \times 10^{-5}$	10
Put a/b Horizontaal tubing lek	1	1,00	$1,2 \times 10^{-5}$	15
Leiding a. t/m d. putzijde 0-20s	49	0,04	$1,2 \times 10^{-7}$	95
Leiding a. t/m d. putzijde 20-140s	17	0,96	$2,9 \times 10^{-6}$	60
Leiding a. t/m d. landzijde 0-20s	83	0,04	$1,2 \times 10^{-7}$	120
Leiding a. t/m d. landzijde 20-140s	50	0,96	$2,9 \times 10^{-6}$	100
Lek leiding a. t/m d.	1	1,00	$2,0 \times 10^{-5}$	15
Afscheider a/b putzijde 0-20s	49	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	95
Afscheider a/b putzijde 20-140s	17	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	60
Afscheider a/b landzijde 0-20s	83	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	120
Afscheider a/b landzijde 20-140s	50	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	100
Afscheider a/b Tien minuten scenario	1	1,00	$5,0 \times 10^{-7}$	15
Afscheider a/b Lek 10 mm	4	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	35
Leiding e. en f. putzijde 0-20s	53	0,04	$4,0 \times 10^{-8}$	100
Leiding e. en f. putzijde 20-140s	18	0,96	$9,6 \times 10^{-7}$	60
Leiding e. en f. landzijde 0-20s	135	0,09	$9,0 \times 10^{-8}$	150
Leiding e. en f. landzijde 20-140s	79	0,91	$9,1 \times 10^{-7}$	120
Lek leiding e. en f.	2	1,00	$5,0 \times 10^{-6}$	20
Koelerbank Breuk 10 pijpen	25	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	70
Filterseparator putzijde 0-20s	53	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	100
Filterseparator putzijde 20-140s	18	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	60
Filterseparator landzijde 0-20s	135	0,09	$4,5 \times 10^{-8}$	150
Filterseparator landzijde 20-140s	79	0,91	$4,6 \times 10^{-7}$	120
Filterseparator Tien minuten scenario	1	1,00	$5,0 \times 10^{-7}$	15
Filterseparator Lek 10 mm	1	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	10
Leiding g. putzijde 0-20s	54	0,04	$4,5 \times 10^{-9}$	100
Leiding g. putzijde 20-140s	18	0,96	$1,1 \times 10^{-7}$	60
Leiding g. landzijde 0-20s	156	0,09	$1,0 \times 10^{-8}$	160
Leiding g. landzijde 20-140s	84	0,91	$1,0 \times 10^{-7}$	120
Lek leiding g. (inclusief flenslek)	2	1,00	$1,3 \times 10^{-6}$	25

Opmerkingen:

1. De weergegeven frequenties zijn per installatieonderdeel. Voor leidingdelen betreft het de totale frequentie voor het leidingdeel. De weergegeven waarden komen overeen met de invoerwaarden in SAFETI-NL.
2. De 1%-letaliteitsafstand is afgerond op veelvoud van 5.
3. Het uitstroomdebiet voor de tubing blowout (minimaal 14 kg/s) is hoger dan de TBOP (10 kg/s) en het debiet voor de casing blowout (minimaal 24 kg/s) is hoger dan de CBOP (15 kg/s). De modellering van deze scenario's hoeft dus niet te worden aangepast.



Figuur 17 Plaatsgebonden-risicocontouren van het rekenvoorbeeld

Tabel 103 Bepalende scenario's in IRRP A ($PR = 1,1 \times 10^{-6}/\text{jaar}$)

Scenario	Frequentie (/jaar)	Absolute bijdrage aan IRRP A (/jaar)	Relatieve bijdrage aan IRRP A (%)
Leiding a landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-7}$	30,7%
Leiding b landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-7}$	25,2%
Leiding e landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$9,9 \times 10^{-8}$	9,4%
Leiding c landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$9,2 \times 10^{-8}$	8,7%
Leiding d landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-8}$	4,5%
Afscheider a landzijde 20-140s	$4,8 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-8}$	3,0%
Leiding a landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,6 \times 10^{-8}$	2,4%
Leiding b landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-8}$	2,3%
Leiding e landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	1,9%
Leiding c landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-8}$	1,9%
Leiding d landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-8}$	1,7%

Tabel 104 Bepalende scenario's in IRRP B ($PR = 9,7 \times 10^{-7}/\text{jaar}$)

Scenario	Frequentie (/jaar)	Absolute bijdrage aan IRRP B (/jaar)	Relatieve bijdrage aan IRRP B (%)
Leiding f landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-7}$	22,8%
Leiding e landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$	17,2%
Leiding d landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-7}$	14,6%
Filterseparator landzijde 20-140s	$4,6 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-7}$	12,3%
Leiding c landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$7,5 \times 10^{-8}$	7,7%
Leiding g landzijde 20-140s	$1,0 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-8}$	3,5%
Leiding f landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,6 \times 10^{-8}$	2,7%
Leiding e landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,3 \times 10^{-8}$	2,4%
Leiding d landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,1 \times 10^{-8}$	2,2%
Leiding c landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-8}$	2,0%
Afscheider b landzijde 20-140s	$4,8 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-8}$	1,5%
Filterseparator landzijde 0-20s	$4,5 \times 10^{-8}$	$1,4 \times 10^{-8}$	1,4%

11 Opslag van vergiftigde gassen in cilinders als bedoeld in artikel 1b, onderdeel h, van de Revi

11.1 Opslag van gassen in cilinders

11.1.1 Inleiding rekenmethode gascilinders

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor opslagvoorzieningen met gascilinders gevuld met vergiftige of zeer vergiftige gassen. Met behulp van deze rekenmethode kunnen de risico's van dergelijke opslagvoorzieningen voor wat betreft de letale effecten worden berekend.

Sinds 1 januari 2008 vallen opslagvoorzieningen waarin meer dan 1.500 liter vergiftige gassen in gascilinders wordt opgeslagen onder het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Revi artikel 1b onder h). Voor deze situaties dient de afstand tot de plaatsgebonden risicocontour (PR-contour) van 10^{-6} per jaar te worden berekend.

11.1.1.1 Definitie

Onder gascilinders worden naadloze verplaatsbare drukhouders verstaan met een waterinhoud van minder dan 150 liter [16]. Gascontainers met een waterinhoud groter dan 150 liter worden beschouwd als reservoirs onder druk. Gaspatronen (UN 2037) en spuitbussen (UN 1950) vallen ook niet onder deze definitie.

11.1.1.2 Kenmerken

Gascilinders worden gebruikt voor opslag en transport van samengeperste gassen, vloeibaar gemaakte gassen en opgeloste gassen. Naast enkelvoudige gascilinders worden ook cilinderpakketten toegepast. In cilinderpakketten staan de gascilinders door middel van leidingen in open verbinding met elkaar. Zover bekend worden cilinderpakketten voor toxische gassen in Nederland weinig toegepast.

11.2 Opslag van vergiftige gassen in cilinders

11.2.1 Opslag van gascilinders in een opslagvoorziening buiten

11.2.1.1 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een gascilinder gelden voor opslagvoorzieningen voor gascilinders en cilinderpakketten inclusief de aan- en afvoer van de gascilinders en cilinderpakketten. De scenario's en faalfrequenties voor een gascilinder zijn gegeven in Tabel 105 de scenario's en faalfrequenties voor een cilinderpakket in Tabel 106.

Tabel 105 Scenario's voor een gascilinder

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van de gascilinder	5×10^{-7}
2. Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 3,3 mm	5×10^{-7}

Tabel 106 Scenario's voor een cilinderpakket met N cilinders

	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de inhoud van één gascilinder	$N \times 5 \times 10^{-7}$
2. Continue vrijkomen van de inhoud van N-1 gascilinders uit een gat met een effectieve diameter van 5 mm	$N \times 5 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

- Ook ongevallen als gevolg van het vullen van gascilinders zijn inbegrepen bij de faalfrequentie uit Tabel 105 en Tabel 106. Vandaar dat de vermelde scenario's en faalfrequenties ook voor vulstations voor gascilinders kunnen worden gehanteerd.
- Een opslagvoorziening met overkapping maar die verder grotendeels open is, kan worden beschouwd als een buitenopslag.

11.2.2 Opslag van gascilinders binnen in een gebouw

Indien een gascilinder met vergiftig gas niet in de buitenlucht is opgeslagen maar binnen in een gebouw, moet rekening worden gehouden op welke wijze het vergiftig gas vrijkomt en naar buiten wordt afgevoerd. De volgende parameters zijn daarbij van belang:

- de afmetingen van de ruimte (of kast) waarin de gascilinders zijn opgeslagen;
- de ventilatievoud van de betreffende ruimte (of kast);
- verdunningseffecten door aangezogen lucht uit de betreffende ruimte (of kast). Indien de afgezogen lucht samen met die uit andere ruimten wordt afgevoerd, moet daar ook rekening mee worden gehouden;
- afvoerhoogte (schoorsteen) en/of gebouwinvloeden (lijwervel).

De scenario's en faalfrequenties zijn identiek aan die voor opslag buiten (Tabel 105 en Tabel 106).

12 Inrichtingen waar meer dan 50 m³ propaan in een insluitsysteem aanwezig is (Revi, art. 1b, onderdeel d)

12.1 Inleiding

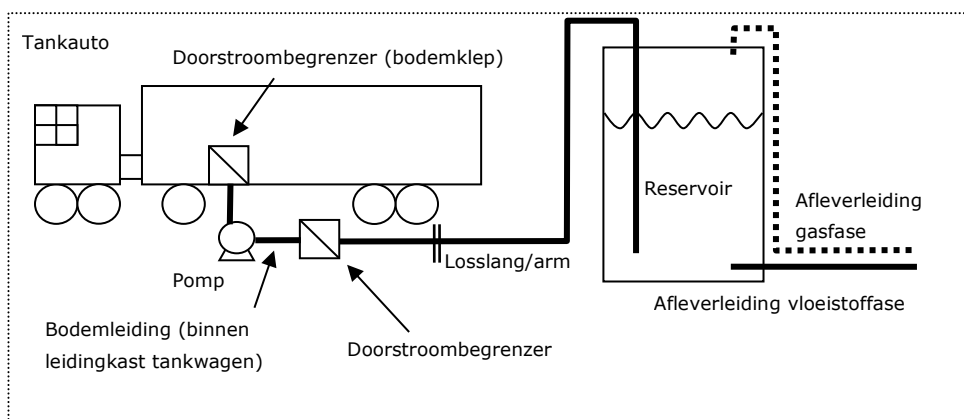
In dit document is de rekenmethodiek beschreven voor inrichtingen waar meer dan 50 m³ propaan in een insluitsysteem aanwezig is. Voor hoeveelheden tussen 13 m³ en 50 m³ propaan is een afstandentabel afgeleid. Uitgangspunt hierbij is dat berekeningen worden uitgevoerd met SAFETI-NL.

12.2 Scenario's en faalfrequenties

De risico's voor inrichtingen met propaan worden bepaald door zowel de opslag als de verlading van propaan. De volgende activiteiten/installaties zijn beschreven:

- Tankauto
- Verlading tankauto (laden en lossen)
- Reservoir
- Afleverleiding

In Figuur 18 is het propaansysteem geschetst zoals dat in deze handleiding wordt beschouwd. Indien het systeem hier substantieel van afwijkt, dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd. De risico-analyse van andere activiteiten wordt in afzonderlijke hoofdstukken van de Handleiding Risicoberekeningen Bevi beschreven.



Figuur 18 Systeem afbakening propaan.

12.2.1 Tankauto

De scenario's voor de tankauto zijn gegeven in Tabel 107.

Tabel 107 Scenario's voor de tankauto met reservoir onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)
T.1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	$f_a \times 5,0 \times 10^{-7}$
T.2 Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	$f_a \times 5,0 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

- De basisaalfrequenties voor de tankauto zijn gegeven per jaar. De scenario's worden gecorrigeerd voor de totale tijdsduur per jaar dat de tankauto op de locatie aanwezig is middels de tijdsfractie aanwezigheid f_a :

$$f_a = \frac{a \times t_v + t_s}{8766}$$

Met:

a = het aantal verladingen per jaar;

t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;

t_s = de tijdsduur van eventuele stalling van de tankwagen, in uren per jaar.
In een jaar zitten 8766 uren;

- Wanneer de exacte tankauto dimensies onbekend zijn, moet worden uitgegaan van een tankauto van 60m^3 (26.700kg).

12.2.2 Verlading

tankauto

De scenario's voor de verlading zijn gegeven in Tabel 108. Bij deze scenario's is ervan uitgegaan dat een doorstroombeveiliging aanwezig is die bij breuk sluit. De scenario's kunnen worden verdeeld in pompscenario's en losslang / losarm scenario's.

Tabel 108 Scenario's voor verlading van de tankauto onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)
Pomp	
P.1 Breuk pomp – doorstroombegrenzer sluit	$f_v \times (1-f_d) \times 1,0 \times 10^{-4}$
P.2 Breuk pomp – doorstroombegrenzer sluit niet	$f_v \times f_d \times 1,0 \times 10^{-4}$
P.3 Lekkage pomp	$f_v \times 4,4 \times 10^{-3}$
Losslang	
L.1 Breuk losslang – doorstroombegrenzer sluit	$a \times t_v \times (1-f_d) \times 4,0 \times 10^{-7}$
L.2 Breuk losslang – doorstroombegrenzer sluit niet	$a \times t_v \times f_d \times 4,0 \times 10^{-7}$
L.3 Lekkage losslang	$a \times t_v \times 4,0 \times 10^{-5}$
Losarm	
L.1 Breuk losarm – doorstroombegrenzer sluit	$a \times t_v \times (1-f_d) \times 3,0 \times 10^{-8}$
L.2 Breuk losarm – doorstroombegrenzer sluit niet	$a \times t_v \times f_d \times 3,0 \times 10^{-8}$
L.3 Lekkage losarm	$a \times t_v \times 3,0 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

1. De faalfrequentie van de pomp is gelijk aan die voor centrifugaal pompen met pakking;
2. Wanneer de doorstroombegrenzer in werking treedt, is de uitstroomduur 5 seconden;
3. Bij de scenario's is er van uitgegaan dat er een doorstroombegrenzer is aangebracht. De werking is afhankelijk van de verhouding tussen het berekende uitstroomdebiet en de instelwaarde van de doorstroombegrenzer. Hierbij gelden de faalkansen zoals weergegeven in Tabel 109.

Tabel 109 Faalkansen doorstroombegrenzer (f_d).

Verhouding uitstroomdebiet en instelwaarde	Kans op niet sluiten (f_d)
uitstroomdebiet $\leq$ instelwaarde	1
instelwaarde < uitstroomdebiet $\leq 1,2 \times$ instelwaarde	0,12
Uitstroomdebiet > $1,2 \times$ instelwaarde	0,06

4. Aangenomen is dat de doorstroombegrenzer niet in werking treedt bij lekkage;
5. De basisfaalfrequenties voor de pomp zijn gegeven per jaar. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor de fractie van de tijd dat er wordt verladen middels de tijdsfractie verlading f_v :

$$f_v = \frac{a \times t_v}{8766}$$

Met:

a = het aantal verladingen per jaar;

t_v = de tijdsduur van een verlading, in uren per verlading. In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren;

6. De basisfaalfrequenties voor de losslang / losarm zijn gegeven per uur. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat er per jaar wordt verladen middels: $a \times t_v$;
7. Voor de scenario's L.1, L.2, P.1 en P.2 wordt een leidinglengte tot breuk van 5 meter aangehouden in de modellering;
8. De breukfrequentie voor losslangen is een factor 10 lager dan de standaard faalfrequentie voor Brzo-inrichtingen.

Bij verladingen met een tankauto met propaan is een BLEVE ten gevolge van een intern domino-effect mogelijk. Er worden drie verschillende oorzaken onderscheiden: brand tijdens verlading, brand in de omgeving en een externe beschadiging. De scenario's voor de domino-effecten zijn gegeven in Tabel 110.

Tabel 110 Scenario's domino-effecten tankauto tijdens verlading.

BLEVE-scenario	Frequentie (per jaar)
<u>Warme BLEVE door brand tijdens verlading</u>	
B.1 vulgraad 100%	$a \times t_v \times 5,8 \times 10^{-10}$
<u>Warme BLEVE door brand inde omgeving</u>	
B.2 vulgraad 100%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 0,19 \times 2,0 \times 10^{-8}$
B.3 vulgraad 67%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 0,46 \times 2,0 \times 10^{-8}$
B.4 vulgraad 33%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 0,73 \times 2,0 \times 10^{-8}$
<u>Koude BLEVE door externe beschadiging</u>	
B.5 vulgraad 100%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 2,3 \times 10^{-9}$
B.6 vulgraad 67%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 2,3 \times 10^{-9}$
B.7 vulgraad 33%	$2 \times a \times t_v \times 0,33 \times 2,3 \times 10^{-9}$

Opmerkingen:

1. Scenario B.1: Tijdens verlading kan een langdurige lekkage ontstaan, wat na ontsteking uiteindelijk tot een BLEVE van de tankauto kan leiden. Voor de BLEVE wordt uitgegaan van de maximale vullingsgraad;
2. De basisfaalfrequentie voor brand tijdens verlading is gegeven per uur. Het scenario B.1 wordt daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat er per jaar wordt verladen middels: $a \times t_v$.
 a = het aantal verladingen per jaar;
 t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;
3. Voor de scenario's B.2 t/m B.7 kan rekening worden gehouden met variërende vulgraden van de tankauto (100%, 67% en 33%). De drie verschillende vulgraden worden evenredig verdeeld over de tijd dat de tankauto aanwezig is voor het verladen van LPG. (33% van de tijd is de tankauto 100% gevuld, etc.);
4. De basisfaalfrequentie voor de scenario's B.2 t/m B.7 zijn gegeven per verlading waarbij de aanwezigheid van de tankwagen hiervoor 0,5 uur is per bezoek. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat een tankwagen per jaar aanwezig is voor verlading middels: $2 \times a \times t_v$.
 a = het aantal verladingen per jaar;
 t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;
5. De scenario's B.1 t/m B.4 betreffen een warme BLEVE. Voor deze scenario's is de barstdruk gelijk aan 23,5 barg;
6. De BLEVE-frequentie bij brand in de omgeving is afhankelijk van de vulgraad. Voor de scenario's B.2, B.3 en B.4 gelden respectievelijk vervolgcansen van 19% (vulgraad 100%), 46% (vulgraad 67%) en 73% (vulgraad 33%). Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer het om een vergunningsplichtige inrichting gaat en de afstanden vanaf de opstelplaats van de tankauto tot ontvlambare objecten en gebouwen voldoen aan de afstanden uit de PGS 19 (ongeacht het aantal verladingen);

7. Scenario's B.5, B.6 en B.7 betreffen een koude BLEVE waarbij de barstdruk gelijk is aan de verzadigingsdruk bij omgevingstemperatuur. Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer de tankauto op een geïsoleerde niet voor een ieder toegankelijke losplaats binnen een vergunningsplichtige inrichting staat opgesteld en er maatregelen zijn getroffen om externe beschadiging tegen te gaan;
8. Wanneer de verlading uitsluitend plaatsvindt met tankauto's die zijn voorzien van een hittewerende coating, kan voor scenario's B.1, B.2, B.3 en B.4, de BLEVE frequentie verlaagd worden met een factor 20.

12.2.3 Reservoir

De scenario's voor het reservoir zijn gegeven in Tabel 111.

Tabel 111 Scenario's voor het propaanreservoir onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)
R.1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}
R.2 Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
R.3 Continu vrijkomen van de inhoud uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Opmerkingen:

1. Uitgangspunt is een reservoir met een maximaal toegestane vullingsgraad;
2. Voor scenario R.1 geldt dat bij een ondergrondse of ingeterpte reservoirs geen BLEVE kan optreden. Instantaan falen is wel mogelijk;
3. Voor scenario's R.2 en R.3 geldt dat bij ondergrondse reservoirs de uitstroming in verticale richting dient te worden gemodelleerd en bij ingeterpte of bovengrondse reservoirs horizontaal.

12.2.4 Afleverleiding

Propaan kan vanuit de vloeistoffase aan het reservoir worden onttrokken of vanuit de dampfase. De scenario's zijn in essentie dezelfde, alleen de aggregatietoestand is verschillend. De scenario's zijn gegeven in Tabel 112.

Tabel 112 Scenario's voor bovengrondse propaan afleverleiding (nominale diameter < 75mm).

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)
A.1 Breuk van de leiding	1×10^{-6}
A.2 Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	5×10^{-6}

Opmerking:

1. Wanneer in de leiding nog pompen zijn opgenomen, moeten die apart worden beschouwd.
2. Mocht de afleverleiding anders uitgevoerd zijn dan de uitvoering die is gekozen voor Tabel 112, dan moeten deze scenario's daarop aangepast worden conform hoofdstuk 3.

13 Andere categorieën voor Bevi art 2.1d of 2.1.h

Voor inrichtingen die vallen onder de Revi, artikel 1b.a, inrichtingen waar meer dan 1.500 kg ammoniak in een insluitsysteem aanwezig is, niet zijnde een onderdeel van een koel- of vriesinstallatie met ammoniak, moet aangesloten worden bij de rekenmethode voor Brzo inrichtingen.

Voor inrichtingen die vallen onder de Revi, artikel 1b.b, inrichtingen waar meer dan 150m³ zeer licht ontvlambare of licht ontvlambare vloeistof in een bovengronds insluitsysteem aanwezig is, moet aangesloten worden bij de rekenmethode voor Brzo inrichtingen.

Voor inrichtingen die vallen onder de Revi, artikel 1b.d, inrichtingen waar een cyanidehoudend bad ten behoeve van het aanbrengen van metaallagen aanwezig is met een inhoud van meer dan 100 liter, is een rekenmethode in ontwikkeling. Hiervoor kan contact worden opgenomen met de helpdesk SAFETI-NL.

Voor inrichtingen die vallen onder de Revi, artikel 1b.e, inrichtingen waar een vergiftige of zeer vergiftige stof in een insluitsysteem met een inhoud van meer dan 1.000 liter aanwezig is, moet aangesloten worden bij de rekenmethode voor Brzo inrichtingen.

Voor inrichtingen die vallen onder de Revi, artikel 1c inrichtingen waar meer dan 100.000 kg meststoffen groep 2 worden opgeslagen, is een afstandentabel opgesteld. Een aanvullende rekenmethode is nog in ontwikkeling. Hiervoor kan contact worden opgenomen met de helpdesk SAFETI-NL.

14 Bijlage Verantwoording

In dit hoofdstuk is een toelichting opgenomen bij de verschillende hoofdstukken van de Handleiding.

14.1 Hoofdstuk 2 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Subselectie

De subselectie voor de QRA is hoofdzakelijk gebaseerd op het systeem uit het Paarse Boek en het rapport 'Onderzoek naar uniformering subselectiemethodiek QRA' [17] van Tebodin. Ten opzichte van de beschreven methodiek in PGS 3 zijn de belangrijkste aanpassingen de selectie op basis van maximale effectafstanden, het verfijnen van de indeling van toxische vloeistoffen naar kookpunt en de voorwaarden voor de toepassing van de 50%-regel. Naast deze verschillen zijn er tekstuele aanpassingen en aanvullingen gedaan om het geheel te verduidelijken.

2.2.2.2 *Reactieproducten en toxische verbrandingsproducten*

In het rapport 'Onderzoek naar uniformering subselectiemethodiek QRA' van Tebodin wordt voorgesteld: "Verwoord in CPR 18 dat het bedrijf moet onderzoeken waar mogelijk gevaarlijke verbrandingsproducten en reactieproducten kunnen ontstaan en 'run-away' reacties kunnen optreden. De inluitsystemen waarin deze producten en reacties voor kunnen komen dienen te worden meegenomen in de subselectie." Als reactieproducten en 'run-away' reacties kunnen leiden tot letale effecten buiten de inrichting, is dit een belangrijk aandachtspunt in de QRA, waarbij ook de kans van optreden een belangrijke rol kan spelen. De subselectie is hiervoor minder geschikt, omdat de kans van optreden hierin niet tot uiting komt. Daarom is besloten op te nemen dat reactieproducten en 'run-away' reacties in de QRA zelf beschouwd moeten worden.

De risicoanalyse methodiek CPR 15 bedrijven is opgesteld voor de opslag van gevaarlijke stoffen in hoeveelheden vanaf 10 ton (CPR 15-2) en bestrijdingsmiddelen vanaf 400 kg (CPR 15-3). Inmiddels zijn de CPR 15 richtlijnen vervangen door de PGS 15 richtlijn [11]. Er wordt daarom nu verwezen naar de PGS 15 richtlijn in plaats van de CPR 15 richtlijnen.

De PGS 15 richtlijn geldt ook voor de opslag van gevaarlijke stoffen tot 10 ton. Het Bevi geldt alleen voor opslagen vanaf 10 ton. Dit betekent dat opslagen van bestrijdingsmiddelen met hoeveelheden tussen 400 kg en 10 ton niet onder het Bevi vallen. In het Revi [1] wordt nog verwezen naar CPR 15-2 (ondergrens 10 ton gevaarlijke stoffen) en CPR 15-3 (ondergrens 400 kg bestrijdingsmiddelen). In de subselectie zijn daarom ondergrenzen opgenomen van 10 ton voor gevaarlijke stoffen en 400 kg voor bestrijdingsmiddelen.

2.2.2.3 *Bulkverladingsactiviteiten*

Bulkverlading was een aandachtspunt in de subselectie omdat in de subselectie geen rekening wordt gehouden met de faalfrequentie. Voor de verlading en de aanwezigheid van transporteenheden in een inrichting kon dit op twee manieren verkeerd uitwerken. Ten eerste bestond de mogelijkheid dat de verlading niet geselecteerd werd door de aanwezigheid van een groot opslagreservoir, hoewel de verlading wel een significante bijdrage aan de risico's heeft ten gevolge van

de relatief hoge faalfrequentie. Ten tweede was er de mogelijkheid dat een opslagreservoir niet geselecteerd werd doordat een transporteenheid een groter selectiegetal had, hoewel de transporteenheid misschien maar een fractie van de tijd aanwezig was. In het rapport 'Onderzoek naar uniformering subselectiemethodiek QRA' [17] van Tebodin is daarom voorgesteld bulkverlading altijd mee te nemen in de QRA.

Dit voorstel is overgenomen. Enkele grote chemische bedrijven passen in overleg met het bevoegd gezag wel een subselectie toe voor de bulkverlading. Daarom is de mogelijkheid open gehouden een (deel van de) bulkverlading niet mee te nemen in de QRA wanneer aangetoond wordt dat deze bijdrage verwaarloosbaar is. Ook is toegevoegd dat in een situatie dat een transporteenheid als opslagreservoir wordt gebruikt, deze wel in de subselectie kan worden beschouwd. De faalfrequenties van de transporteenheid zelf zijn namelijk vergelijkbaar met de faalfrequenties van een opslagreservoir.

2.2.2 Reikwijdte van de subselectie

Het rapport 'Onderzoek naar uniformering subselectiemethodiek QRA' [17] van Tebodin stelt voor een lijst met 'extreem gevaarlijke stoffen' op te nemen, zoals fosgeen, ethyleenoxide, fluorwaterstof en LPG. In het rapport is ook aangegeven dat deze lijst overbodig is, wanneer de andere maatregelen worden toegepast. Op grond hiervan is besloten geen lijst met 'extreem gevaarlijke stoffen' op te nemen.

2.3 De subselectie

Het stappenplan is gebaseerd op het Tebodin-rapport (waar de effectbenadering stap 1 is en de selectiegetallen stap 2 vormen) met de aanpassingen zoals in de werkgroep Unificatie is besproken. Dit laatste houdt vooral in dat de mogelijkheid bestaat om niet de effectbenadering toe te passen, maar direct met de selectiegetallen te beginnen (verslag van bijeenkomst 21 oktober 2004). Daarnaast is gekozen voor de waarde $X = 5$ voor het minimum aantal geselecteerde insluitsystemen.

2.3.3 Selectie op basis van effectafstand

De maximale effectafstand en de methode voor het bepalen van deze afstand zijn hier gedefinieerd. Hierbij is gekozen voor 1% letaliteit bij D5 (als vaak voorkomende, gemiddelde weerklasse) en F1,5 (als ongunstigste weerklasse voor toxische stoffen) en het ongunstigste scenario. Vaak levert het zogenaamde '10 minuten scenario' grotere effectafstanden dan het 'instantaan scenario'. Voor de kleinere systeeminhouden is het beter uit te gaan van het 'instantaan scenario'. Binnen een insluitsysteem kunnen meerdere temperaturen en drukken optreden. Hiervoor is niet expliciet aangegeven hoe hiermee moet worden omgegaan. Aangenomen wordt dat dit in de praktijk zichzelf wijst en niet leidt tot grote discussies.

2.3.4.2.1 Hoeveelheid stof, Q

In het Paarse Boek was opgenomen dat "Voor toxische stoffen in vaste vorm is alleen de hoeveelheid respirabel poeder van belang". Omdat dit PGS 15 opslagen betreft die nu buiten de subselectie worden gelaten is dit punt vervallen.

2.3.4.2.3 Grenswaarde G

In paragraaf 2.3.4.2.3 is de indeling van toxische vloeistoffen naar kookpunt weergegeven. Deze indeling is een verfijning van de indeling in Paarse Boek. In bijlage J van het onderzoek door Tebodin wordt de herindeling onderbouwd. In het kort komt het erop neer dat sommige toxische vloeistoffen bij de bestaande

indeling uit Paarse Boek geen grenswaarde hebben (grenswaarde oneindig), terwijl de stoffen wel gevolgen hebben voor de externe risico's. Een voorbeeld hiervan is acrylonitril. Deze stof krijgt volgens de indeling van Paarse Boek een grenswaarde van oneindig, terwijl het dikwijls als voorbeeldstof voor toxische vloeistoffen wordt gehanteerd. Door de herindeling is dit probleem aangepakt.

De definitie van ontplofbare stoffen is overgenomen uit het Brzo.

2.3.4.2.4 Berekening van het aanwijzingsgetal

In het Paarse Boek is geen relatie gelegd tussen het meenemen van stoffen die zowel toxisch als ontvlambaar zijn in de subselectie en in de QRA. Dit had tot gevolg dat een insluitsysteem met ammoniak zowel een ontvlambaar als toxisch aanwijzingsgetal heeft, maar vervolgens alleen doorgerekend wordt als een toxische stof. Dit is onlogisch. Daarom is nu een één-op-één relatie gelegd tussen de classificatie in de QRA en in de subselectie.

2.3.4.3 Berekening van het selectiegetal S

Het voorstel in het Tebodin rapport om het selectiegetal niet meer aan de overzijde van water te berekenen is *niet* opgenomen, conform de bespreking van de werkgroep van 21 oktober 2004. Daarvoor in de plaats is een opmerking opgenomen over de waarde van de risicocontouren op het water. Door de aanpassing van de selectie (par. 3.5) hoeft het selectiegetal S niet meer worden berekend voor iedere insluitsysteem op het dichtstbijzijnde punt in een (bestemde) woongebied.

2.3.4.4 Selectie van insluitsystemen

In paragraaf 2.3.4.4 is aangegeven onder welke voorwaarden deze 50%-regel mag worden toegepast:

1. Voor elk punt op de terreingrens worden ten minste drie insluitsystemen met een selectiegetal > 1 geselecteerd.
2. De toepassing van de 50%-regel moet inzichtelijk worden gemaakt door per punt op de terreingrens aan te geven welke insluitsystemen worden geselecteerd en welke insluitsystemen met een selectiegetal groter dan 1 niet worden geselecteerd.
3. Insluitsystemen met een verwaarloosbaar kleine faalfrequentie ($< 1 \times 10^{-8}$ per jaar) moeten buiten beschouwing worden gelaten bij de toepassing van de 50%-regel. Hetzelfde geldt voor insluitsystemen met voor de externe veiligheid verwaarloosbare effecten als gevolg van aanwezige voorzieningen.

In het onderzoek van Tebodin worden deze voorwaarden als volgt toegelicht:

"Ad 1. Indien door toepassing van de 50%-regel slechts 1 of 2 insluitsystemen op een punt van de terreingrens worden aangewezen, dan mag de 50%-regel niet worden toegepast voor dit punt, maar worden de drie insluitsystemen met de grootste selectiegetallen geselecteerd. Hierbij blijft wel gelden dat de insluitsystemen een selectiegetal groter dan één moeten hebben om aangewezen te kunnen worden.

Met deze maatregel wordt de kans kleiner dat insluitsystemen met een bijdrage aan het risico niet beschouwd worden in een QRA omdat deze door de aanwezigheid van een in de subselectie overheersend insluitsysteem niet zouden worden aangewezen.

Het minimum aantal insluitsystemen per punt op de terreingrens komt voort uit de ervaring met ranking van de bijdrage van scenario's aan berekende risico's. Vrijwel altijd worden de risico's op een bepaald punt bepaald door enkele

scenario's (minder dan 10 scenario's). Aangenomen dat in een QRA er minimaal 3 scenario's per insluitsysteem worden beschouwd, is de ondergrens per punt op de terreingrens op 3 insluitsystemen gesteld.

Ad 2. In de rapportage van de QRA dient te worden beschreven welke insluitsystemen met een selectiegetal groter dan één niet worden beschouwd in de QRA en door welke insluitsystemen ze worden overschaduwd. Dit kunnen dus meerdere insluitsystemen zijn. Daarnaast dient voor deze 'overheersende' insluitsystemen te worden aangegeven welke tijdsfractie per jaar de kans aanwezig is dat ongevalsscenario's kunnen plaatsvinden. Aan de hand van deze informatie kan de uitvoerder en controleur van de subselectie een inschatting maken van de relatieve bijdrage van de geselecteerde insluitsystemen aan het te berekenen risico. Wanneer een, gezien de mogelijke effecten, overheersend insluitsysteem een verwaarloosbare bijdrage aan het risico heeft, dan mag een dergelijk insluitsysteem andere insluitsystemen niet elimineren bij de toepassing van de 50%-regel.

Ad 3. Bij het uitvoeren van de QRA worden voor de geselecteerde insluitsystemen scenario's uitgewerkt. Hierbij wordt rekening gehouden met vervolgmogelijkheden en aanwezige voorzieningen. Conform PGS 3 (paragraaf 3.1) is de bijdrage van een scenario aan het externe risico verwaarloosbaar indien de faalkans van het scenario kleiner dan 10^{-8} per jaar is of indien letaal letsel ten gevolge van het scenario niet buiten de terreingrens kan optreden. Indien bij de uitwerking van scenario's van een insluitsysteem blijkt dat de faalkansen of voorziene effecten dusdanig klein zijn dat er geen significante bijdrage aan de te berekenen externe risico's wordt verwacht, dan mag dit insluitsysteem niet worden beschouwd bij de toepassing van de 50%-regel. In dit geval moet de subselectie opnieuw worden uitgevoerd waarbij dit insluitsysteem niet wordt beschouwd."

2.3.5.1 Transportleidingen

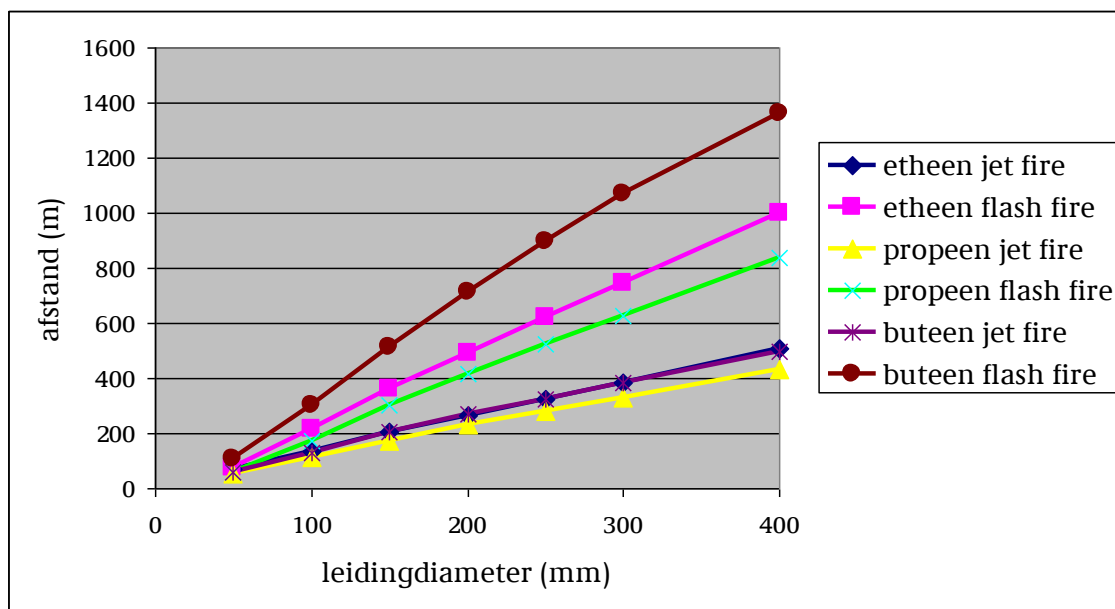
Voor transportleidingen is voor ontvlambare vloeistoffen gekozen voor een hoeveelheid op basis van de inhoud van een leiding. Het uitgangspunt is een stroomsnelheid van 1 – 2 m/s en een sluittijd van 120 s voor de afsluiters. Dit betekent dat de uitstroomhoeveelheid in de orde van 240 m leiding is (afgerond naar 250 meter).

Voor toxische en ontvlambare (tot vloeistof verdichte) gassen is gekozen voor een eenvoudige benadering op basis van effectafstanden. Voor ontvlambare gassen zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd met SAFETI-NL versie 6.51. De belangrijkste keuzes zijn gegeven in Tabel 113.

De effectafstand is bepaald voor de jet fire (afstand tot 1% letaliteit) en de 'flash fire envelope'; de resultaten zijn gegeven in Figuur 19. Hieruit blijkt dat de effectafstanden voor de flash fire envelope een factor 2 – 3 groter zijn dan voor de jet fire. Voor het rapport is gekozen voor de grootste afstand, dat wil zeggen de grootste afstand tot de 'flash fire envelope'.

Tabel 113 Scenarios voor de berekening van effectafstanden.

Parameter	Waarde	Opmerking
Scenario	Breuk leiding aan vat met leidinglengte 10 m	Leidingbreuk (korte leiding) met continue uitstroming
Conditie	Verzadigde vloeistof onder druk bij 20 °C	Een hogere temperatuur dan de standaard temperatuur als conservatieve benadering; alleen voor etheen is 8 °C aangehouden, d.w.z. net onder de kritische temperatuur.
	Pump head 20 m Liquid head 0 m	Verhoogde druk in de leiding ten gevolge van een pomp
Uitstroming	Hoogte 1 m Richting horizontaal	
Ruwheidslengte	0,3 m	Default voor Nederland
Stof	Etheen Propeen Buteen	Deze stoffen geven grotere effectafstanden dan ethaan, propaan en butaan



Figuur 19 Effectafstanden voor etheen, propaan en buteen voor een jet fire (grootste 1% letaliteitsafstand) en een flash fire (grootste afstand tot de 'flash fire envelope')

2.4 Voorbeeld

Het voorbeeld is aangepast in overeenstemming met de wijzigingen. In tegenstelling tot het voorbeeld in het PGS 3 is nu voor zoutzuur opgenomen dat een 30% oplossing niet toxisch is, en dus niet hoeft te worden meegenomen.

14.2 Hoofdstuk 3 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Scenario's

3.2 Uitgangspunten

In het Paarse Boek is expliciet opgenomen dat de faalfrequenties voor druktanks gelden voor de situatie waarin falen door corrosie, vermoeidheid door trillingen, operator fouten en externe impact uitgesloten is. In een standaard QRA worden er geen extra faalfrequenties meegenomen voor deze specifieke faaloorzaken. Daarom is nu een algemenere tekst opgenomen, namelijk dat 'er voldoende maatregelen zijn genomen tegen alle voorziene faalmechanismen'.

3.2.2 Externe beschadiging en domino-effecten

In de vragen en antwoorden van het Paarse Boek is opgenomen dat de impact van neerstortende vliegtuigen moet worden meegenomen in de QRA wanneer deze frequentie groter is dan 10% van de standaard frequentie van catastrofaal falen. In een dergelijk geval dient de frequentie van instantaan falen verhoogd te worden met het plaatsgebonden risico ten gevolge van neerstortende vliegtuigen ter plekke voor een goed beeld van het risico. In de bespreking van de Handleiding Risicoberekeningen is hier bezwaar tegen gemaakt omdat (1) de berekening van de risicocontouren van een vliegveld, op basis waarvan het neerstortrisico bepaald moet worden, nog niet helder en onveranderd is, (2) een bedrijf geen invloed heeft op deze risico's. Aan de andere kant leidt een locatie binnen de risicocontouren van een vliegveld tot een verhoogd risico. Daarom is voorsnog voorgeschreven dat de faalfrequentie verhoogd wordt met de frequentie van externe beschadiging ten gevolge van neerstortende vliegtuigen. Voor windturbines en andere vormen van externe beschadiging is dezelfde benadering gevolgd. Het is eenvoudiger op lokaal niveau te verhinderen dat windturbines in de nabijheid van installaties met gevaarlijke stoffen worden geplaatst. Op een aantal plaatsen is een windturbine nabij een installatie met gevaarlijke stoffen dan ook niet toegestaan.

De kans op interne domino-effecten is geminimaliseerd door een goede lay-out van een inrichting. Ook zijn domino-effecten mogelijk al (deels) opgenomen in de standaard faalfrequenties. Daarom worden domino-effecten binnen één inrichting niet expliciet meegenomen in een QRA, tenzij er situaties zijn waarin het falen van één onderdeel duidelijk leidt tot het falen van een ander onderdeel.

3.2.5 Afkapgrens

De afkapgrens voor een scenario is gelijkgesteld aan 1×10^{-9} per jaar. In het Paarse Boek was de afkapgrens gelijk aan 1×10^{-8} per jaar. Deze wijziging is aangebracht omdat het groepsrisico gepresenteerd moet worden in een FN-curve tot een frequentie van 1×10^{-9} per jaar. Een BLEVE scenario met een frequentie van optreden tussen 1×10^{-8} per jaar en 1×10^{-9} per jaar heeft dus een zichtbare bijdrage in de FN curve. Dit betekent dat alleen bij een afkapgrens van 1×10^{-9} per jaar een betrouwbare FN curve wordt gevonden.

Onderdelen van een insluitsysteem

Voor de beschrijving van de kenmerken, scenario's en faalfrequenties zijn de volgende bronnen geraadpleegd:

- Commissie voor de Preventie van Rampen. Guidelines for Quantitative Risk Assessment. PGS 3. [18]
- F.P. Lees. Loss Prevention in the process industries [19]
- J.R. Taylor. Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process plants [20]
- AMINAL. Handboek kanscijfers voor het opstellen van een veiligheidsrapport. [21]
- HSL. Failure Rate and Event Data for Use in Risk Assessment (FRED) [22]
- B.J.M. Ale, G.A.M. Golbach, D. Goos, K. Ham, L.A.M. Janssen, S.R. Shield. Benchmark risk analysis models [23].
- Veiligheidsrapporten van verschillende bedrijven.

Op basis van deze referenties is een overzicht gemaakt van de onderdelen die opgenomen moeten worden in de Handleiding Risicoberekeningen Bevi.

3.4 Opslagtank onder druk, bovengronds

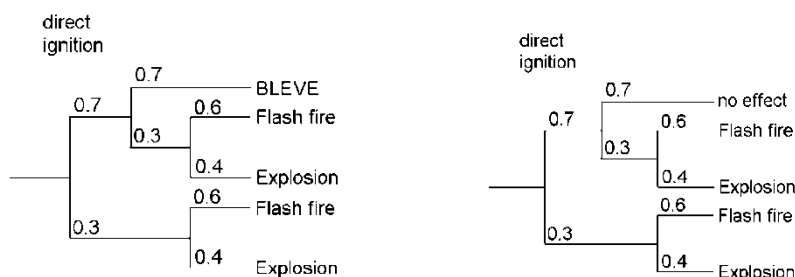
Een opslagtank is gedefinieerd als een opslagtank onder druk wanneer de maximaal toelaatbare druk groter is dan 0,5 bar overdruk. Dit is gebaseerd op de Pressure Equipment Directive (PED) richtlijn. Op de website <http://eur-lex.europa.eu/nl> is de volledige tekst van de PED te vinden. Hierin is aangegeven: "Overwegende dat apparatuur die onder een druk van ten hoogste 0,5 bar staat geen noemenswaardig drukrisico inhoudt; dat het vrije verkeer daarvan in de Gemeenschap derhalve niet belemmerd mag worden; dat deze richtlijn dus van toepassing is op apparatuur met een maximaal toelaatbare druk PS van meer dan 0,5 bar".

Hierbij is de "maximaal toelaatbare druk PS" gedefinieerd als "de door de fabrikant aangegeven maximale druk waarvoor de apparatuur ontworpen is. Deze druk wordt bepaald op een door de fabrikant aangegeven plaats, namelijk daar waar de beveiligings- of veiligheidsinrichtingen zijn aangesloten of de bovenzijde van de apparatuur, of, indien dat niet passend is, een andere aangegeven plaats".

3.5 Opslagtanks onder druk, ondergronds/ingeterpt

De scenario's van een ondergrondse opslagtank zijn gebaseerd op de scenario's voor een bovengrondse LPG opslagtank, waarbij het BLEVE scenario is uitgesloten omdat aanstraling door een brand onder de tank dan wel een jet niet mogelijk wordt geacht.

In Figuur 20 is dit geïllustreerd voor een opslag van meer dan 10 ton LPG.



Figuur 20 Gebeurtenissenboom voor de opslag van LPG (> 10 ton) bovengronds (links) en ondergronds (rechts)

Omdat de kans op directe ontsteking afhankelijk is van de hoeveelheid die vrijkomt, zijn ook de frequenties afhankelijk van de opgeslagen hoeveelheid. De kans op instantaan vrijkomen is gelijk aan 5×10^{-7} per jaar en de vervol kans op een BLEVE is gelijk aan $0,7 \times 0,7$ voor een inhoud groter dan tien ton, $0,5 \times 0,7$ voor een inhoud tussen één en tien ton en $0,2 \times 0,7$ voor een inhoud kleiner dan één ton. Het weglaten van het BLEVE scenario betekent dat de overgebleven uitstroombrequentie gelijk is aan $(1 - 0,49) \times 5 \times 10^{-7} = 2,5 \times 10^{-7}$ per jaar voor een inhoud groter dan tien ton, $(1 - 0,35) \times 5 \times 10^{-7} = 3,25 \times 10^{-7}$ per jaar voor een inhoud tussen één en tien ton en $(1 - 0,14) \times 5 \times 10^{-7} = 4,3 \times 10^{-7}$ per jaar voor een inhoud kleiner dan één ton.

Er is voor gekozen om het onderscheid in de hoeveelheid te handhaven om zo goed mogelijk in overeenstemming te blijven met eerdere QRA's. Voor toxische stoffen wordt uitgegaan van de standaard faalfrequentie van 5×10^{-7} per jaar voor instantaan falen.

3.6 Atmosferische opslagen

De indeling van atmosferische opslagen en de scenario's zijn overgenomen uit het Paarse Boek. Wel is de bewoording aangepast en overgenomen van de AMINAL publicatie. Voor membraantanks is aangenomen dat zij qua sterkte vergelijkbaar zijn met double containment tanks.

3.7 Gashouders

Voor gashouders zijn in de beschikbare literatuur geen faaldata gevonden. In één veiligheidsrapport is een gashouder gemodelleerd. Voor een gashouder worden twee faalscenario's meegenomen, namelijk het falen van de afdichting en het openen van ontlastkleppen. De faalfrequenties hangen af van de constructie van de gashouder, en zijn gelijkgesteld aan $1 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5}$ per jaar voor het bezwijken van de afdichting en $1 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$ per jaar voor het openen van de ontlastkleppen. In het veiligheidsrapport is catastrofaal falen niet meegenomen omdat het niet realistisch ($< 10^{-8}$ per jaar) wordt geacht. Dit wordt niet onderbouwd.

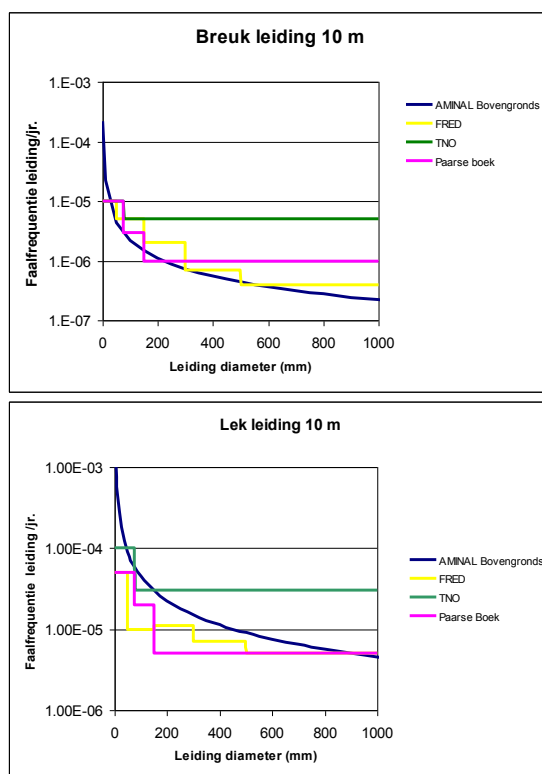
Er zijn geen goede faaldata gevonden voor gashouders. Bij gebrek aan data wordt daarom voorgesteld om voor gashouders qua modellering aan te sluiten bij de atmosferische tanks.

3.8 Leidingen

De faalfrequenties voor de bovengrondse leidingen zijn overgenomen uit het Paarse Boek. Er is discussie over de vraag of voor leidingen met zeer grote diameters, dat wil zeggen in de orde van 0,5 – 1 meter, aangepaste faalfrequenties moeten gelden.

In Figuur 21 zijn de faalfrequenties voor leidingen in een aantal referenties vergeleken. Omdat de lekdiameters verschillen in de referenties, is de volgende toedeling gedaan:

- leidingbreuk: breuk en lekkage met gatdiameter $> 0,5 \times$ leidingdiameter
- lekkage: lekkage met gatdiameter $< 0,5 \times$ leidingdiameter



Figuur 21 Faalfrequentie voor leidingbreuk en lekkage als functie van leidingdiameter voor een leidinglengte van 10 meter volgens AMINAL, FRED, TNO en het Paarse Boek

Uit de vergelijking blijkt dat de waarden in het Paarse Boek voor breuk een factor 2 – 5 hoger is dan AMINAL en FRED voor leidingen in de orde van 0,5 – 1 meter diameter, en voor lekkage vergelijkbaar zijn. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het AMINAL scenario “Groot lek” (lek diameter 36 - 45% van de leidingdiameter⁵⁰) in deze vergelijking bij de lekkagescenario's is geteld. De frequentie van de combinatie van AMINAL scenario's “leidingbreuk” en “groot lek” is voor leidingen in de orde van 0,5 – 1 meter diameter vergelijkbaar met het scenario “leidingbreuk” van het Paarse Boek. Daarom is besloten voor de faalfrequenties het Paarse Boek aan te houden, ook voor grote leidingdiameters.

Voor de invloed van de leidinglengte tot de breuklocatie zijn enkele testberekeningen gedaan met SAFETI-NL. Voor een opslag van zwaveldioxide en chloor (100 ton, 10 °C) is voor een leiding van 100 mm diameter onderzocht hoe het initiële uitstroomdebiet varieert met de locatie van de breuk en de invloed op het risico. In Figuur 22 is het initiële uitstroomdebiet weergegeven als functie van de locatie van de breuk voor vloeibaar zwaveldioxide, vloeibaar chloor en dampvormig zwaveldioxide. De bronterm van het dampvormig zwaveldioxide is met een factor 10 vermenigvuldigd om de schaal van de grafiek gelijk te houden, en varieert tussen 5 en 1 kg/s.

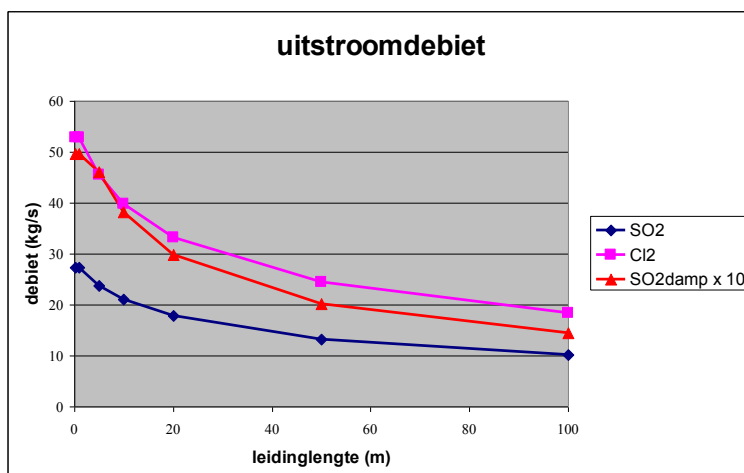
De invloed op de risicocontour is berekend voor een leiding met een lengte van 100 meter. Drie verschillende berekeningen zijn uitgevoerd, namelijk:

⁵⁰ De AMINAL aanbeveling voor het scenario “Groot lek” heeft een lek diameter gelijk aan 36% van de leidingdiameter. Bij de verwijzing naar de onderliggende data is de lek diameter gelijk aan 45% van de leidingdiameter.

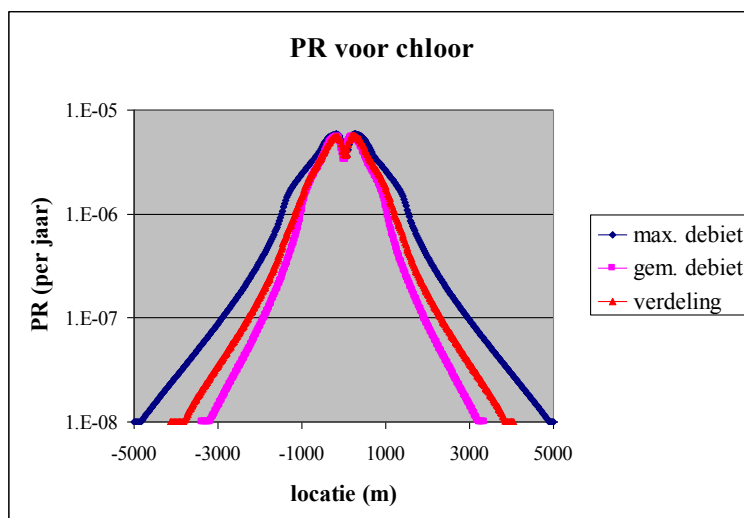
- Over de gehele lengte een maximum debiet (uitstroming uit 0,1 meter leidinglengte);
- Over de gehele lengte een gemiddeld debiet (uitstroming uit 50 meter leidinglengte);
- Een verdeling in drie leidingstukken, namelijk 0 – 20 meter (uitstroming uit 0,1 meter leidinglengte), 20 – 50 meter (uitstroming uit 20 meter leidinglengte) en 50 – 100 meter (uitstroming uit 50 meter leidinglengte).

De resultaten zijn voor de vloeistofuitstromingen weergegeven in Figuur 22 - Figuur 24 en (de leiding loopt van - 50 tot +50 m). Uit de berekeningen blijkt dat een aanzienlijke verschuiving in de risicocontouren kan optreden, afhankelijk van de keuze van de leidinglengte voor de uitstroming.

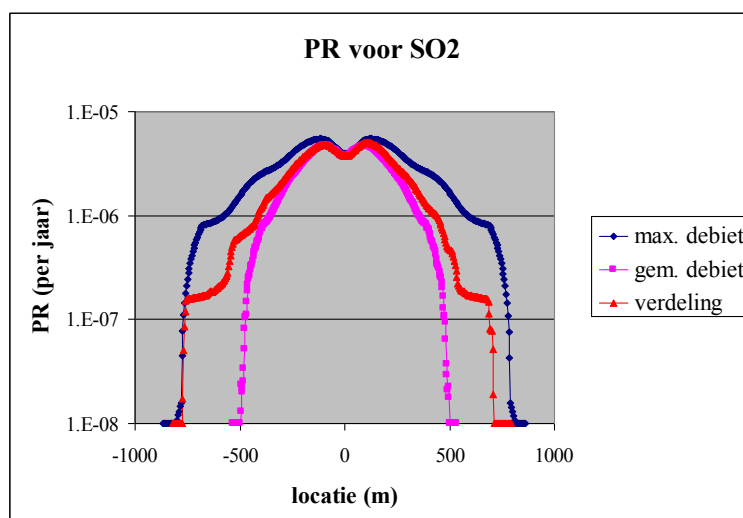
Daarom is voorgeschreven dat voor afstanden groter dan 10 meter gerekend moet worden met meerdere uitstroombelastingen. Voorgesteld wordt een verdeling in 0 – 20 m, 20 – 50 meter, 50 – 100 meter, 100 – 200 meter, 200 – 500 meter. De berekening van het uitstroombelasting gebeurt op ongeveer 1/3 van de afstand, d.w.z. achtereenvolgens 5 m, 30 m, 70 m, 130 m, enz.



Figuur 22 Uitstroombelasting als functie van leidinglengte zoals berekend met SAFETI-NL.



Figuur 23 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor een leiding met chloor zoals berekend met SAFETI-NL.



Figuur 24 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor een leiding met zwaveldioxide zoals berekend met SAFETI-NL.

3.10 Destillatiekolom

De faalcijfers voor de destillatiekolom zijn overgenomen uit het Paarse Boek. In een voorbeeld is nu aangegeven hoe gerekend moet worden met de verschillende leidingen en vaten.

3.11 Pompen en compressoren

Pompen

Het Paarse Boek maakt onderscheid in drie verschillende typen pompen, namelijk:

- Pumps without additional provisions ('pompen zonder extra voorzieningen')
- Pumps with a wrought steel containment ('pompen met een omhulling van smeedstaal')
- Canned pumps ('ingekapselde pompen')

AMINAL kent een andere indeling in pompen, namelijk

- Centrifugaalpompen met een enkelvoudige pakking
- Centrifugaalpompen met een dubbele pakking
- Zuigerpompen

Omdat de indeling in AMINAL beter aansluit bij de praktijk, wordt deze indeling gehanteerd.

Voor de faalfrequentie wordt aangesloten bij het Paarse Boek voor wat betreft de pakkingsloze pompen (sealless, canned). Voor de centrifugaalpompen met pakking wordt aangesloten bij AMINAL, waarbij het kleine lek (equivalente lekdiameter 5 mm) niet meegenomen wordt vanwege het beperkte belang voor de externe veiligheid. Het verschil tussen centrifugaalpompen met een enkelvoudige pakking en centrifugaalpompen met een dubbele pakking is alleen terug te vinden in de faalfrequentie van het kleinste lek (equivalente lekdiameter 5 mm). Een dubbele pakking wordt niet effectief geacht voor de scenario's met de grootste uitstroming, namelijk equivalente lekdiameter 25 mm en equivalente lekdiameter gelijk aan de grootste leiding. Gezien het geringe belang van een equivalente lekdiameter van 5 mm kunnen centrifugaalpompen met een enkelvoudige pakking en centrifugaalpompen met een dubbele pakking in een QRA voor de externe veiligheid met dezelfde scenario's beschreven worden, zodat het onderscheid niet relevant is. Het lekscenario met equivalente

diameter van 25 mm wordt gelijkgesteld aan het overeenkomstige scenario in het Paarse Boek namelijk 10 % van de diameter van de leiding.

Voor zuigerpompen schrijft AMINAL een 10 keer hogere faalfrequentie voor in vergelijking met centrifugaalpompen. Anderzijds wordt in AMINAL gerefereerd aan een literatuurbron waarin voor zuigerpompen en centrifugaalpompen een vergelijkbare faalfrequentie voorgeschreven wordt. Daar er te weinig onderbouwing is voor de toename met een factor 10 voor zuigerpompen is besloten niet af te wijken van de hoogste waarde voor catastrofaal falen van pompen in het Paarse Boek ($10^{-4}/\text{jr.}$). De faalfrequenties voor zuigerpompen worden gelijk gesteld aan de centrifugaalpompen met pakking.

Compressoren

Compressoren zijn niet expliciet opgenomen in het Paarse boek. AMINAL kent de volgende indeling voor compressoren:

- Centrifugaalcompressoren
- Zuigercompressoren

Voor de faalfrequenties van compressoren wordt aangesloten bij de faalfrequenties voor pompen. Dit is gebaseerd op de volgende gegevens:

- In de TNO studie wordt ook geen onderscheid gemaakt in faalfrequenties voor pompen en faalfrequenties voor compressoren.
- AMINAL maakt wel onderscheid in faalcijfers voor deze 2 items maar komt voor de meeste scenario's uit op vergelijkbare cijfers per type (centrifugaal en zuiger):
 - Voor het type centrifugaal : het lek scenario geeft een factor 5 verschil ; catastrofaal falen blijft gelijk.
 - Voor het type zuiger: zowel voor het lek scenario als voor catastrofaal falen is er een factor 2 verschil.

Daar de beschikbare data voor compressoren zeer schaars is, wordt er voor zuigercompressoren niet afgeweken van de corresponderende data voor pompen.

3.13 Drukveiligheid

In het Paarse Boek is opgenomen dat het openen van een drukveiligheid, zoals een veiligheidsklep of een breekplaat, alleen een emissie tot gevolg heeft indien de drukveiligheid in direct contact staat met de stof en de uitstoot direct in de atmosfeer plaatsvindt. Deze beperking betekent dat de faalfrequentie alleen geldt voor spontaan openen. De goede werking van een drukveiligheid, namelijk openen bij een aanspraak ten gevolge van een te hoge druk in het vat, wordt dan niet meegenomen. Dit lijkt onjuist gezien het doel van de drukveiligheid. Het is daarom logischer de faalfrequentie te laten gelden voor zowel het spontaan openen als het openen bij aanspraak, en de zinsnede 'de veiligheid in direct contact staat met de stof en' te schrappen.

Bij het ontwerp van een installatie moet er rekening mee worden gehouden dat een drukveiligheid kan openen. Het openen van een drukveiligheid mag dan ook niet leiden tot risico's voor de omgeving. Indien dit voldoende gewaarborgd is hoeft het openen van de drukveiligheid niet meegenomen te worden in de QRA.

3.14 Transportmiddelen

Tankauto's voor het vervoer van ADR-klasse 2 worden als druktanks beschouwd. Dit geldt ook voor subklasse 3 (sterk gekoelde vloeibaar gemaakte gassen). In deze subklasse van ADR 2 is de beproevingsdruk tenminste 3 bar overdruk. De beproevingsdruk voor vacuümgeïsoleerde tanks voor vloeibaar stikstof, argon of zuurstof bedraagt ca. 5,5 bar; tankwagens voor sterk gekoeld vloeibaar gemaakt kooldioxide hebben een beproevingsdruk van 26 bar. Op basis hiervan

is besloten de tankauto's voor het vervoer van deze subklasse ook als druktanks te beschouwen.

3.15 Verlading

Voor verlading zijn de faalfrequenties overgenomen uit het Paarse Boek, De faalfrequenties voor de verlading uit schepen zijn gecorrigeerd volgens de notitie "Faalfrequentie verlading schepen" [24].

Ten opzichte van het Paarse Boek is het scenario "Instantaan falen ten gevolge van een brand onder de tankauto" voor transportmiddelen nu direct gekoppeld aan de verlading. De koppeling van het scenario aan verlading is gedaan op basis van referentie [25], volgens welke een BLEVE kan ontstaan door een brand na een langdurige lekkage van LPG (na ontsteking), een brand in de omgeving of externe impact. Een langdurige lekkage wordt veroorzaakt door:

- falen van de dampretourleiding (tussen tankauto en verlaadinstallatie)
- falen van de dampleiding van de verlaadinstallatie
- falen van de vloeistofleiding stroomafwaarts en stroomopwaarts van de pomp
- falen van de vloeistofleiding van de verlaadinstallatie

Alle oorzaken van een langdurige lekkage zijn gekoppeld aan de verlading. Daarom is gesteld dat de BLEVE ten gevolge van lekkage van de aansluitingen onder het reservoir gevolgd door ontsteking niet hoeft te worden meegenomen voor geparkeerde tankauto's zonder verladersactiviteiten.

De frequentie van dit scenario is voor drukreservoirs afgeleid uit de berekeningen voor een LPG tankstation [25]. De frequentie van een langdurige brand ten gevolge van een lekkage tijdens de verlading gelijk is aan $0,2 \times 0,29 \times 10^{-6}$ voor 100 verladingen (50 uur), dat wil zeggen $1,2 \times 10^{-9}$ per uur verlading. In de berekening voor LPG tankstations varieert de kans op een BLEVE, gegeven een langdurige brand, van 0,19 – 0,73 afhankelijk van de vulgraad van de tank. Voor de generieke benadering is hiervoor een factor 0,5 aangehouden, dat wil zeggen $5,8 \times 10^{-10}$ per uur verlading. De frequentie voor atmosferische tanks is, in analogie met het Paarse Boek, een factor 10 hoger genomen.

14.3 Hoofdstuk 4 Brzo inrichtingen als bedoeld in artikel 2 onder a Bevi - Maatregelen en systeemreacties

4.1 Inleiding

Het meenemen van repressieve maatregelen zoals inbloksystemen in de kwantitatieve risicoanalyse is niet vanzelfsprekend [20]. Het al dan niet waarderen van deze systemen is afhankelijk van de wijze waarop de faalfrequenties zijn bepaald. Het is mogelijk dat de faalfrequenties zijn gebaseerd op data, waarbij er een ondergrens voor rapportage is gehanteerd, bijvoorbeeld alleen incidenten waarbij meer dan 100 kg gevaarlijke stof vrijkomt of alleen incidenten die leiden tot effecten buiten de inrichting. Een succesvolle werking van een repressief systeem heeft dan tot gevolg dat een incident mogelijk niet wordt opgenomen in de database, zodat de faalfrequentie alleen een gedeelte van de incidenten weergeeft, namelijk de fractie waarbij ook de repressieve maatregelen falen. Het meenemen van repressieve maatregelen in de QRA leidt in dergelijke gevallen tot een onderschatting van het risico.

Conform de tot nu toe gebruikelijke rekenwijze is aangenomen dat de repressieve maatregelen in de QRA gewaardeerd kunnen worden door bijvoorbeeld een verkorting van de uitstroomduur. Bij een herziening van de faalfrequenties dient deze aanname nog eens expliciet bekeken te worden.

Voor het bepalen van de repressieve systemen die aanwezig kunnen zijn bij een installatie zijn enkele referenties geraadpleegd, namelijk het Paarse Boek [18], het Handboek Kanscijfers van AMINAL [21], het rapport 'Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant' van J.R. Taylor [20] en de HSL FRED rapporten [22].

- Het Paarse Boek beschrijft als repressieve systemen een tankput, inbloksystemen (automatisch, op afstand bedienbaar en handmatig), sprinkler installaties, waterschermen en schuimdekens. Daarnaast zijn er na publicatie van het Paarse Boek vragen binnengekomen over het waarderen van doorstroombegrenzers, het ingrijpen door operators en breekplaten bij scheepsverlading. Al deze systemen zijn nu opgenomen in het rekenvoorschrift.
- Het Handboek Kanscijfers heeft faalcijfers opgenomen voor kleppen (emergency shut down klep, terugslagklep, debietsbegrenzer en drukontlastklep). Deze zijn opgenomen in de Handleiding. Daarnaast zijn algemene faaldata opgenomen voor menselijk handelen. Deze data zijn zo algemeen dat deze verder niet zijn opgenomen.
- Het rapport "Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant" van J.R. Taylor noemt een groot aantal systemen, namelijk debietsbegrenzer (excess flow valve), handmatige afsluitkleppen, terugslagkleppen (check valves), drukontlastkleppen (safety relief valve), automatische noodstop, gas detectie en alarm, tankput, noodafsluiters (emergency shut down valves), noodkoelsysteem (emergency cooling system), schakelaars (circuit breakers), instrumentatie en brandbestrijdingssystemen. Een aantal hiervan is opgenomen in het rekenvoorschrift. De volgende systemen zijn niet beschreven.

Drukontlastklep

Een drukontlastklep is een repressieve maatregel die moet voorkomen dat catastrofaal falen van een reservoir plaatsvindt. Het niet openen bij aanspraak van een drukontlastklep kan leiden tot het falen van het reservoir. De werking van een drukontlastklep wordt verondersteld opgenomen te zijn in de frequentie van een Loss of Containment.

Automatische noodstop

Een automatische noodstop is een geheel aan

- | | |
|----------------------|---|
| | stelsysteemreacties, zoals het sluiten van inbloeafsluiters, en wordt niet apart beschouwd. |
| Gasdetectie en alarm | Gas detectie is een onderdeel van een keten van stelsysteemreacties die uiteindelijk moet leiden tot bijvoorbeeld het sluiten van inbloeafsluiters. De onderdelen van de keten worden niet apart beschouwd. |
| Noodkoelsysteem | Het falen van een noodkoelsysteem kan leiden tot het falen van een installatie-onderdeel. Dit mechanisme wordt verondersteld opgenomen te zijn in de frequentie van een Loss of Containment. |
| Schakelaars | Schakelaars om bijvoorbeeld een pomp uit te zetten zijn onderdeel van een keten van stelsysteemreacties die uiteindelijk moet voorkomen dat een LoC plaatsvindt (preventieve maatregel) dan wel leiden tot bijvoorbeeld het sluiten van inbloeafsluiters. De onderdelen van de keten worden niet apart beschouwd. |
| Instrumentatie | Instrumentatie vormt een onderdeel van een keten van stelsysteemreacties die uiteindelijk moet voorkomen dat een LoC plaatsvindt (preventieve maatregel) dan wel leiden tot bijvoorbeeld het sluiten van inbloeafsluiters. De onderdelen van de keten worden niet apart beschouwd. |
- De HSL geeft faaldata voor een handbediende klep (manual valve), een op afstand bediende klep (ROSOV, Remote Operated Shut Off Valve), een automatische klep (ASOV, Automatic Shut-Off Valve) en een debietsbegrenzer (XSFV, Excess Flow Valve). Deze zijn opgenomen in het rekenvoorschrift.

4.2.1 Tankput

De dimensies van een tankput zijn gebaseerd op PGS 30: indien meerdere tanks in de tankput aanwezig zijn is de inhoud ten minste gelijk aan de opslagcapaciteit van de grootste tank vermeerderd met 10% van de opslagcapaciteit van de overige tanks [26]. De inhoud van de tankput is vaak ontworpen voor 110% van de capaciteit van de grootste tank [8,9].

In bestaande QRA's wordt aangenomen dat een tankput effectief is en de plasgrootte maximaal gelijk is aan de grootte van de tankput. In de praktijk blijkt dit niet altijd het geval te zijn, en is overtopping een serieus probleem. Hierdoor kan een gedeelte van de gevaarlijke stof buiten de tankput terechtkomen, ook al is de capaciteit van de tankput groter dan de opslagcapaciteit van de tank [8,9]. Daarnaast kan de impact van de vloeistof dermate grote krachten uitoefenen op de wanden van de tankput, dat falen van de wand kan optreden. De sterkte van de dijk moet daarom aanzienlijk groter zijn dan de hydrostatische druk.

De HSE heeft een aantal experimenten uitgevoerd om te bepalen welke fractie buiten de tankput terecht kan komen [8,9]. Een voorbeeld van de resultaten is weergegeven in Figuur 25. Hieruit blijkt dat voor een tankput met een capaciteit van 110% het percentage overtopping varieert van 20 – 70%, afhankelijk van de configuratie.

Het gevaar wordt bepaald door de hoeveelheid vloeistof die verdampt. Deze hoeveelheid is evenredig met het plasoppervlak. De vloeistof die buiten de tankput terechtkomt, kan zich over een groot oppervlak verspreiden en dus een grote bijdrage aan de wolk leveren, meer dan op basis van de relatieve massa buiten de tankput blijkt.

Er zijn verschillende benaderingen mogelijk voor het modelleren van de tankput.

1. *Modellering volgens Paarse Boek*

In deze benadering wordt voor alle scenario's aangenomen dat de volledige hoeveelheid uitgestroomde massa binnen de tankput blijft.

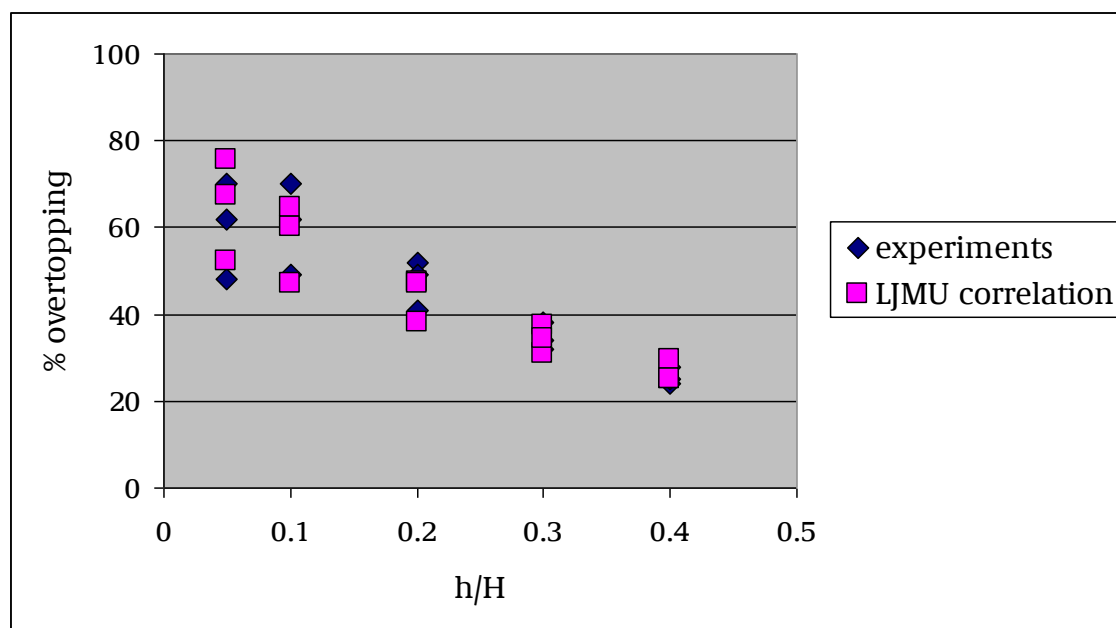
2. *Specifieke modellering op basis van HSE rapporten*

In deze benadering wordt voor catastrofaal falen aangenomen dat overtopping plaatsvindt. De hoeveelheid overtopping wordt berekend op basis van enkele parameters zoals de verhouding in hoogte en de verhouding in straal van de tank en de tankput.

3. *Generieke modellering op basis van HSE rapporten*

In deze benadering wordt voor catastrofaal falen aangenomen dat overtopping plaatsvindt. De hoeveelheid overtopping wordt gelijkgesteld aan gemiddeld 33%, en vertaald in de QRA door het vergroten van het oppervlak van de tankput met 50%.

In het rekenvoorschrift is deze laatste benadering gevolgd en opgenomen dat voor instantane scenario's gerekend moet worden met $1,5 \times$ het oppervlak van de tankput. Dit komt overeen met een benadering waarbij $1/3$ van de massa buiten de tankput terecht komt en de bijdrage aan de verdamping evenredig is met de massaverhouding.



Figuur 25 Experimentele resultaten en correlatie voor een simulatie van een tankput met een capaciteit van 110%. Het percentage overtopping is weergegeven als functie van de verhouding tussen de hoogte van de dijkwand (h) en de hoogte van de vloeistofkolom (H) voor drie verschillende configuraties ($R/H = 2,5, 1$ en $0,5$ met R de straal van de tank en H de hoogte van de tank).

Uit extrapolatie van de correlatie van Figuur 25 volgt dat het percentage overtopping minder is dan 5% wanneer de hoogte van de dijkwand (h) gelijk is aan $0,9 - 1,2$ keer de hoogte van de vloeistofkolom (H). Hieruit is geconcludeerd dat overtopping niet meegenomen hoeft te worden wanneer de hoogte van de dijkwand hoger is dan de hoogte van de vloeistofkolom.

4.2.2 Inbloksystemen

In de literatuur wordt onderscheid gemaakt in handbediende kleppen, op afstand bedienbare kleppen en automatische kleppen. De beschrijving van het Paarse Boek is in het rekenvoorschrift overgenomen.

- *Handbediende klep (manual valve)*

De HSL rapporten geven voor een handbediende klep (exclusief menselijk falen) een faalfrequentie van 1×10^{-4} per aanspraak.

AMINAL geeft voor ESD (Emergency Shut Down) kleppen aan dat er twee extreme situaties zijn. Wanneer de ESD klep lokaal moet worden geactiveerd komt de faalkans overeen met het “niet ageren van de operator in een stress situatie”. Deze kans ligt in de orde van 0,2 à 0,3. In de andere extreme situatie wordt de ESD klep automatisch dichtgestuurd op basis van allerlei metingen (druk, temperatuur, ...).

Het Paarse Boek geeft voor handbediende afsluiters standaardwaarden voor de afsluittijd van de inlokafsluiters (30 minuten) en de kans van falen (0,01 per aanspraak). Een handbediend inbloksysteem is omschreven als een systeem waarbij de detectie van het lek automatisch verloopt. Bij detectie gaat in de controlekamer een signaal af. De operator controleert het signaal, gaat naar de locatie waar de inlokafsluiters zich bevinden en sluit de kleppen handmatig af. In de praktijk betekent een standaard afsluittijd van 30 minuten dat handbediende afsluiters niet meegenomen worden in de QRA, omdat standaard al gerekend wordt met een afsluittijd van 30 minuten.

- *Op afstand bediende klep (ROSOV, Remote Operated Shut Off Valve)*

De HSL rapporten geven voor een op afstand bediende klep (inclusief menselijk falen) een faalfrequentie van 3×10^{-2} per aanspraak.

Het Paarse Boek geeft voor op afstand bedienbare afsluiters standaardwaarden voor de afsluittijd van de inlokafsluiters (10 minuten) en de kans van falen (0,01 per aanspraak). Een op afstand bedienbaar inbloksysteem is omschreven als een systeem waarbij de detectie van het lek automatisch verloopt. Bij detectie gaat in de controlekamer een signaal af. De operator controleert het signaal en sluit de inlokafsluiters met behulp van een schakelaar in de controlekamer.

- *Automatische klep (ASOV, Automatic Shut-Off Valve)*

De HSL rapporten geven voor een automatische klep een faalfrequentie van 1×10^{-2} per aanspraak.

AMINAL schrijft een faalfrequentie voor die gelijk is aan $3,7 \times 10^{-2}$ per jaar wanneer de ESD klep onderdeel is van een gecomputeriseerd systeem. Bij een testinterval van een half jaar komt dit overeen met de HSL waarde⁵¹.

Het Paarse Boek geeft voor een automatisch inbloksysteem standaardwaarden voor de afsluittijd van de inlokafsluiters (2 minuten) en de kans van falen (0,001 per aanspraak). Een automatisch inbloksysteem is omschreven als een systeem waarbij de detectie van het lek en het afsluiten van de inlokafsluiters automatisch plaatsvindt. Actie van een operator is niet noodzakelijk. De kans op falen is dus erg laag in vergelijking met de standaardwaarde van de HSE.

⁵¹ De faalkans per aanspraak, P_{faal} , is gerelateerd aan de faalkans per jaar, f_{faal} , en het testinterval, T_{test} , door de relatie $P_{faal} = 0,5 \times f_{faal} \times T_{test}$.

4.2.3 Doorstroombegrenzer

Het Paarse Boek geeft geen informatie over het al dan niet meenemen van een doorstroombegrenzer in de QRA.

De HSL rapporten geven voor een doorstroombegrenzer een faalfrequentie van 1.3×10^{-2} per aanspraak wanneer jaarlijks getest wordt en een factor 10 hogere faalfrequentie wanneer elke 10 jaar getest wordt.

AMINAL geeft als waarde 0,3 per jaar. Bij een testinterval van één jaar is de faalfrequentie dan gelijk aan 0,15 per aanspraak.

TNO berekent voor de afstandentabel LPG tankstations de invloed van een doorstroombegrenzer [10]. Voor de werking van de doorstroombegrenzer stelt TNO:

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

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

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

- Voor EFV-1 in de bodemleiding: $P = 0,06$, zijnde het generieke faalcijfer volgens [10] en [27].
- Voor EFV-2 in de losslang: $P = 0,12$, zijnde de bovengrens van de betrouwbaarheidsrange volgens [5]. Hiermee wordt een penalty ingebouwd voor de geringe marge tussen het sluitdebiet van EFV-2 (7,4 kg/s) en het maximale uitstroomdebiet in geval van slangbreuk (8,4 kg/s).”

TNO rekent met een sluittijd van vijf seconden.

Voorgesteld wordt aan te sluiten bij de modellering van TNO voor LPG tankstations. De verhouding tussen uitstroomdebiet en instelwaarde van de doorstroombegrenzer is voor EFV-2 gelijk aan 1,14. Gekozen is voor een (niet onderbouwd) verschil van een factor 1,2 als grens voor de goede werking van de doorstroombegrenzer.

4.2.4 Terugslagklep

Een terugslagklep kan falen bij aanspraak. De reactietijd is gelijk aan vijf seconden met een kans op falen gelijk aan 0,06 per aanspraak. Deze waarde is gebaseerd op de LPG Integraal [27].

AMINAL geeft voor een terugslagklep als aanbevolen waarde $2,8 \times 10^{-3}$ per jaar.

De waarde uit de LPG-Integraal is overgenomen.

4.2.5 Breekkoppelingen en wegrijbeveiligingen

Aangenomen wordt dat breekkoppelingen en wegrijbeveiligingen standaard voorzieningen zijn, en de faalfrequenties dus van toepassing zijn op systemen waarbij deze voorzieningen aanwezig zijn.

4.2.6 Ingrijpen door operators

AMINAL geeft generieke waarden voor menselijk handelen, variërend van een faalkans van 10^{-5} voor uitermate onwaarschijnlijke fouten waarvan het moeilijk te begrijpen is dat ze zich kunnen voordoen tot een faalkans van 0,1 – 1 voor het niet uitvoeren van de correcte handeling die uit een creatief denkproces moet volgen en waarvoor er slechts een beperkte tijd voorhanden is.

In het Paarse Boek (§4.4) wordt het ingrijpen door operatoren alleen besproken in relatie tot inbloksystemen. Hierbij wordt uitgegaan van een vorm van automatische detectie, waarna een operator kan ingrijpen. Met name bij verlading is vaak een operator ter plaatse aanwezig die met behulp van een noodstopvoorziening een afsluiter in de tankwagen of leiding kan bedienen. Naar aanleiding van vragen over dit onderwerp wordt voorgesteld het ingrijpen van een operator bij verlading mee te nemen in de QRA, mits voldaan wordt aan de genoemde voorwaarden. Indien aan de voorwaarden wordt voldaan kan de uitstroomduur beperkt worden tot 2 minuten. Als aan één van deze voorwaarden niet voldaan wordt, dan wordt verwacht dat een eventuele uitstroming langer dan twee minuten zal aanhouden. Zonder verdere motivatie bedraagt de in de QRA aan te houden uitstroomduur dan 30 minuten.

Het effectief aanspreken van een noodstopvoorziening door een operator heeft een faalkans van 0,1 per aanspraak. Dit getal, afkomstig uit de LPG-integraal studie, betreft het 'falen stopzetten pomp door chauffeur' onder 'high-stress omstandigheden' [27]; technisch falen is niet in de vervolgcans meegenomen, en wordt verondersteld klein te zijn in vergelijking met menselijk falen. Indien de noodstopvoorziening niet adequaat functioneert, bedraagt de uitstroomduur 30 minuten.

4.2.8 Overige repressieve systemen

De tekst is overgenomen uit het Paarse Boek.

4.3.1 Pompen

De tekst is overgenomen uit het Paarse Boek.

14.4 Hoofdstuk 8 Inrichtingen met opslagvoorzieningen voor gevaarlijke stoffen als bedoeld in artikel 2.1, onder f Bevi

8.1 Inleiding rekenmethode PGS 15

De PGS 15 risicomethodiek is een actualisatie van de door TNO opgestelde rekenmethodiek uit 1991 en 1997 [28, 15]. Aanpassing was nodig vanwege de totstandkoming van de PGS 15 richtlijn [11].

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 elders 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 een snelle uitbreiding van het oorspronkelijke incident.

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 en eventueel andere gevaarlijke stoffen zijn opgeslagen, zijn afwijkend ten opzichte van de scenario's weergegeven in Tabel 61.

Tabel 60: mocht het brandblussysteem een beginnende brand waarbij (enkele) spuitbussen met een (licht) ontvlambare stof betrokken zijn, niet kunnen doven dan zal de brand zich in korte tijd kunnen uitbreiden tot de gehele brandcompartiment. Een eventueel conform PGS 15 aangebrachte gaasafscheiding vormt in het algemeen geen garantie dat geen van de rocketerende spuitbussen buiten de gaasafscheiding bij de overige (gevaarlijke) stoffen terechtkomt. Vandaar dat slechts twee brandscenario's worden beschouwd, namelijk één met het kleinste brandoppervlak volgens Tabel 60 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 0 en 8.5 worden gehanteerd, waarbij de brandsnelheid 0,100 kg/m².s bedraagt.

Indien de gaasafscheidingen echter zodanig worden aangebracht dat kan worden aangetoond dat het niet waarschijnlijk is dat rocketerende spuitbussen in het opslagdeel bij de andere gevaarlijke stoffen terecht kunnen komen, beperkt de snelle branduitbreiding zich tot uitsluitend het gedeelte waar de spuitbussen zijn opgeslagen. Daarna kan vervolgens een 'gewone' branduitbreiding plaatsvinden tot een brandoppervlak van maximaal 900 m² (zonder dat pluimstijging plaats vindt).

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 uitgegaan 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. ontvlambare 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 114 voorbeeldstoffen per 'brandgevaar'-categorie

Categorie	Voorbeelden
1 ontvlambare 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 ontleiden of verdampen	oxiderende stoffen zoals natriumnitraat, 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) ontvlambare 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 overal 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 stoffen die bij brand betrokken kunnen raken (dus stoffen vallend in categorie 1, 2 en 3) worden beschouwd ongeacht de verhouding brandbaar / niet-brandbaar. Onbrandbare stoffen (categorie 4) hoeven niet te worden beschouwd. 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.

8.2.3 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: $4/(13 \times 350) = 8,8 \times 10^{-4}$ [28]. 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 [21], is de huidige basisfaalfrequentie van $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar bij gebrek aan recentere faalcijfers gehandhaafd (net als de $5 \times$ lagere faalfrequentie voor de opslag van minder brandgevaarlijke stoffen).

Brandfrequentie per brandcompartiment

De in Tabel 59 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 [29], 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 [30]. 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 115). 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 er van niet af, omdat uitsluitend met brandoppervlakken $\leq 900 \text{ m}^2$ wordt gerekend.

Tabel 115 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	-	35 m	50 m
- 1x 2500 m ²	30 m	35 m	45 m
- 2x 1250 m ²	-	-	60 m
- 3x 833 m ²	-	-	55 m
- 5x 500 m ²			
Automatische sprinklerinstallatie - 600 m²	-	20 m	30 m
- 1x 600 m ²	-	15 m	35 m
- 2x 300 m ²	-	20 m	35 m
- 4x 150 m ²			
Automatische hi-ex inside-air installatie - 2500 m²	-	35 m	50 m
- 1x 2500 m ²	-	30 m	45 m
- 2x 1250 m ²	-	-	55 m
- 5x 500 m ²			
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.

8.2.4 Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang

Naamgeving brandbestrijdingssystemen

De naamgeving van de brandbestrijdingssystemen in Tabel 61.

Tabel 60 en Tabel 61 zijn verduidelijkt ten opzichte van de CPR-15 rekenmethode uit 1997. In Tabel 116 zijn de nieuwe en oude naamgeving weergegeven:

Tabel 116 Nieuwe en oude naamgeving brandbestrijdingssystemen

Naamgeving PGS 15 rekenmethode	Naamgeving CPR-15 rekenmethode (1997)
<u>Beschermingsniveau 1</u> 1.1a Automatische sprinklerinstallatie 1.1b idem sprinklers in rekken 1.2 Automatische deluge installatie 1.3 Automatische blusgasinstallatie 1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie 1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie 1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie 1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge 1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval 1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer 1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	<u>Beschermingsniveau 1</u> Automatische sprinklerinstallatie Automatische sprinklerinstallatie Automatische sproei-(deluge-)installatie Automatische gasblusinstallatie n.v.t. (nieuw brandbestrijdingssysteem PGS-15) Hi-ex installatie met rookluiken Hi-ex installatie inside air Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2; handbediende deluge Bedrijfsbrandweer cat.1; ter plaatse blussen Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2; droog systeem . Lokale brandweer; droog systeem
<u>Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 6 min</u> 2.1a ADR klasse 3 in kunststof 2.1b Idem NIET in kunststof 2.1c Geen ADR klasse 3 <u>Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min</u> 2.2a ADR klasse 3 in kunststof 2.2b Idem NIET in kunststof 2.2c Geen ADR klasse 3	<u>Beschermingsniveau 2:</u> Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2 of overheidsbrandweer inzetbaar < 6 min. . <u>Beschermingsniveau 2:</u> Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2 of overheidsbrandweer inzetbaar < 15 min.
Beschermingsniveau 3	Beschermingsniveau 3: preventieve maatregelen overeenkomstig CPR 15-2 of 15-3

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 [15]) 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.

8.3.3 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 117. 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 vier 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 117). 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 117 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
Methylisocyanaat	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:

$$B = H_c / \{1000 \times (H_{vap} + (T_b - T) \times C_p) \} \quad (8.17)$$

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]

8.4.3 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 [31]: 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 8.5 niet worden gehanteerd, omdat de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen niet bekend is. In die gevallen mag worden gerekend met de volgende denkbeeldige voorbeeldstof $C_{3,90}H_{8,50}O_{1,06}Cl_{0,46}N_{1,17}S_{0,51}P_{1,35}$ met een molmassa heeft van 163 g/mol en een zuurstofbehoefte van 6 mol/mol uitgangproduct.

Het stikstofgehalte van 10% is een beleidsmatige keuze bepaald op basis van een onderzoek van Tebodin waarbij stikstofgehalten in opslagvoorzieningen zijn geïnventariseerd [32]. Uit dit onderzoek bleek dat bij slechts een beperkt aantal opslagvoorzieningen het stikstofgehalte hoger lag 10%.

8.5.3 Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

Omzettingpercentage stikstofhoudende verbindingen in NO_2 (en HCN)

Het gehanteerde omzettingpercentage in de risicomethodiek CPR-15 bedrijven [15] 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 [33]. Daarbij werd een gemiddeld omzettingspercentage van ongeveer 10% gevonden met een maximum van 35% voor ammoniumnitraat. Vanwege onzekerheden met betrekking tot niet-verbrande uitgangsubstanten en andere (stikstofhoudende) verbrandingsproducten, is destijds een toeslag gekozen van 25% bovenop de gemiddelde waarde van 10%. Dit resulteerde in het huidige omzettingspercentage van 35%.

In het kader van de herziening van de rekenmethodiek is het omzettingspercentage 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 [34].

In Tabel 118 zijn de resultaten van het onderzoek samengevat, waarbij per (deel)onderzoek steeds de *hoogste* gerapporteerde omzettingspercentages 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 118 Samenvatting gerapporteerde omzettingspercentages

	NO₂	HCN
Aantal onderzoeken	32	21
Gemiddeld omzettingspercentage (van de hoogste gerapporteerde waarden)	6,2 %	6,2 %

De omzettingspercentages 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 119 Omzettingspercentage stikstofhoudende verbindingen bij brand in omliggende landen

Land	NO_x (%)	HCN (%)	NO_x + HCN (%)
België (AMINAL)	-	-	10 ⁵²
Denemarken (RISØ)	-	-	< 10 ⁵³
Engeland (HSE)	5	5	10
Frankrijk (INERIS)	20	20	40

e: Het gaat om een voorgestelde waarde;

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

Frankrijk (INERIS) wijkt wat gekozen omzettingspercentage 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.

⁵² Het gaat om een voorgestelde waarde

⁵³ RISØ beschouwt een waarde van 10% als "highly conservative"

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 8.8 en 8.11). In Tabel 120 is dit aangetoond aan de hand van een opslagvoorziening met beschermingsniveau 3:

Tabel 120 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

8.6 Parameter: Bronterm onverbrand toxisch product [kg/s]

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 [35, 36, 37] 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 60 en Tabel 61) is nagegaan welk aandeel van de brandscenario's zuurstofbeperkt is (zie Tabel 121). 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 121). 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 62 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).

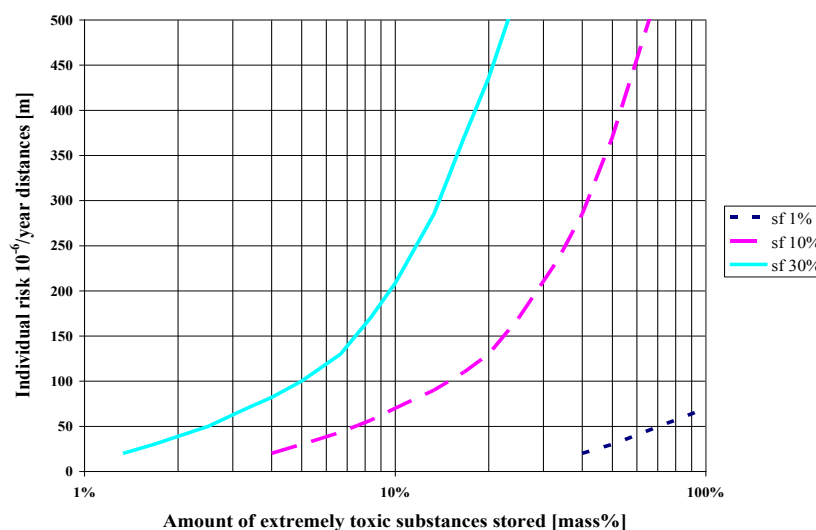
Tabel 121 Aandeel zuurstofbeperkte brandscenario's bij verschillende omvang van het brandcompartiment voor een tweetal brandbestrijdingssystemen (met automatische, bij brand zelfsluitende deuren)

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	$0,98 \times (1) = 98\%$	$0,98 \times (1) = 98\%$
300 m ²	50, 100 en 300 m ²	$0,98 \times (1 - 0,45) = 54\%$	$0,98 \times (1 - 0,89) = 11\%$
600 m ²	100 en 300 m ²	$0,98 \times (1 - (0,45+0,44)) = 11\%$	$0,98 \times (1 - (0,89+0,09)) = 2\%$
900 m ²	100 en 300 m ²	$0,98 \times (1 - (0,45+0,44)) = 11\%$	$0,98 \times (1 - (0,89+0,09)) = 2\%$
1500 m ²	300 m ²	$0,98 \times (1 - (0,45+0,44+0,10)) = 1\%$	$0,98 \times (1 - (0,89+0,09+0,01)) = 1\%$
2500 m ²	300 m ²	$0,98 \times (1 - (0,45+0,44+0,10)) = 1\%$	$0,98 \times (1 - (0,89+0,09+0,01)) = 1\%$

Ten aanzien van de rekenwaarde voor de survivalfractie is aangesloten bij de waarden die de HSE in haar Safety Report Assessment Guide [38] 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 26 van een 2.500 m² opslagruimte voorzien van een automatische sprinkler-installatie laat zien dat bij ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep 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 verpakkingsgroep II geldt overigens hetzelfde, alleen ligt de drempelwaarde veel hoger (zie Tabel 122).



Figuur 26 Risicobijdrage van onverbrande ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep 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 [39] is gebleken dat het aandeel van ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep 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 122 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 122 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 122 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 ⁵⁴		
	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Automatische sprinklerinstallatie ⁵⁵						
- 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. ⁵⁵						
- 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%

Bij andere waarden voor de survivalfractie dan 10% en/of afwijkende percentages werkzame stof kan de drempelwaarde worden afgeleid op basis van formule 8.14 en 8.15 (waarbij de bronsterkte Φ_{T+} gelijk moet blijven) en de in Tabel 122 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 122). 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 8.6.4 zijn gebaseerd op LC₅₀-waarden voor het inademen van stof en nevels (zie *Tabel 123* waarbij ten behoeve van verpakkingsgroep I (LC₅₀-

⁵⁴ 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.

⁵⁵ Bij de in de tabel vermelde waarden is uitgegaan van automatische, bij brand zelfsluitende deuren.

waarden (rat, 4h) < 0,2 mg/l) uitsluitend zogenaamde 'brongegevens' uit SERIDA zijn gehanteerd (en geen afgeleide LC₅₀-waarden):

Tabel 123 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	--
Tetracarbonylnickel	1259	67 (0,5 hr)	17 / 17 / nvt	17	17
2-hydroxy-2-methylpropionitrile (acetoncyaanhydrine)	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-(tricyclohexylstannyl)-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 123 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 [4] tot de volgende dosis-effect relatie per verpakkingsgroep:

Tabel 124 LC_{50} -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	$V \geq 10 \times LC_{50}$ en $LC_{50} \leq 1.000 \text{ ml/m}^3$	$LC_{50} < 0,2$	0,06	42	-5,86	-5,47
II	$V \geq LC_{50}$ en $LC_{50} \leq 3.000 \text{ ml/m}^3$	$0,2 < LC_{50} < 2$	0,5	354	-10,14	-9,76
III	niet relevant	niet relevant	-	-	-	-

Indien in een QRA aannemelijk kan worden gemaakt dat de LC_{50} -waarden van de aanwezige (zeer) toxische stoffen afwijken van de rekenwaarde in Tabel 124, mag een afwijkende LC_{50} -waarde worden gehanteerd. Hiervoor kan een aanvraag worden ingediend bij de SAFETI-NL helpdesk die vervolgens door de toetsgroep probitrelaties moet worden goedgekeurd.

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

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 63.

14.5 Hoofdstuk 11 Inrichtingen waar meer dan 13 m³ propaan of meer dan 13 m³ acetyleen in een insluitsysteem aanwezig is

De modellering van propaanreservoirs is gebaseerd op hoofdstuk 3. Dit houdt in dat de gebruikte faalfrequenties, scenario's en de veiligheidsmaatregelen daaruit zijn overgenomen. Uitzondering hierop zijn de scenario's B.2 t/m B.7 uit Tabel 110: *Scenario's domino-effecten tankauto tijdens verlading* en de scenario's L.1 en L.2 uit Tabel 108: *Scenario's voor verlading van de tankauto onder druk* (enkel voor scenario's met een losslang). Deze zijn gebaseerd op het document *QRA-berekening LPG-tankstations* [40] omdat deze activiteiten vergelijkbaar zijn en daarmee ook de risico's voor de externe veiligheid.

1. Een belangrijk onderscheid tussen de scenario's voor propaanreservoirs en LPG-tankstations wordt bepaald door het Convenant LPG-autogas van 22 juni 2005 [41]. Hierin is afgesproken dat LPG-leveranciers voor de levering aan LPG-tankstations gebruik maken van LPG-tankwagens die uitgevoerd zijn met extra technische maatregelen (hittewerende coating en verbeterende los-of vulslangen). Deze afspraken gelden niet voor andere leveranciers die zich ook niet hoeven te houden aan deze afspraken. Hierdoor kunnen de risico-reducties die deze maatregelen met zich meebrengen (factor 10 voor het toepassen van de verbeterde vulslang en een factor 20 bij bevoorrading door LPG-tankwagens die zijn voorzien van hittewerende coating [42,43]) niet worden verdisconteerd in de faalfrequenties voor propaanreservoirs. Echter, bij de verlading van propaan wordt dezelfde soort losslang gebruikt als bij de verlading van LPG uit een tankwagen. Nader onderzoek van TNO stelt dat het aannemelijk is dat de faalfrequenties van de (verbeterde) propaanlosslang vergelijkbaar is met de faalfrequentie van de verbeterde LPG-losslang [44,45]. Zodoende kan de faalfrequentie van de verbeterde propaanlosslangen met een factor 10 worden verlaagd ten opzichte van de huidige generieke waarden uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Voor het effect van de hittewerende coating blijft gelden dat alleen wanneer kan worden aangetoond dat voor de propaanreservoirs wordt voldaan aan de technische maatregelen uit het Convenant LPG-autogas, een verzoek tot toepassen van lagere faalfrequenties kan worden ingediend bij het bevoegd gezag in overeenstemming met artikel 8b van de Revi.
2. De faalkansen in Tabel 110 zijn afkomstig uit het TNO-rapport *Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation* [46]. Voor LPG-tankstations zijn de faalfrequenties voor de scenario's B.2 t/m B.4 afhankelijk van de afstand van het vulpunt tot enkele interne objecten. De faalfrequenties voor de scenario B.5 t/m B.7 zijn afhankelijk van de uitvoering van de opstelplaats van de LPG-tankauto. Voor de modellering van propaanreservoirs is er voor gekozen om per locatie te bepalen of deze scenario's uitgesloten kunnen worden. Als dat niet het geval is, wordt voor deze scenario's een conservatieve faalfrequentie gehanteerd. Voor de frequentie van een koude BLEVE van een tankauto ten gevolge van externe beschadiging, wordt dan de waarde gehanteerd die hoort bij 'Overige situaties'. Voor de frequentie van een brand nabij een tankauto, wordt dan de waarde gehanteerd die hoort bij de situatie dat het vulpunt binnen alle toetsingsafstanden ligt.
3. Het toepassen van verschillende vulgraden bij scenario's B.2 t/m B.7 komt overeen met de rekenmethodiek voor LPG-tankstation [47]. Het toepassen van drie verschillende vulgraden is gebaseerd op het TNO-rapport *Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations* [48], waarin een

beschrijving van een referentie LPG-tankstation wordt gegeven voor het opstellen van een QRA.

4. Het voorliggende document vervangt de verouderde methodiek beschreven in *Afstandentabel propaanreservoir* [49] die is gebruikt voor het bepalen van afstanden voor propaanreservoirs die vallen binnen het Activiteitenbesluit (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer, 2007).

14.6 Hoofdstuk 10 Mijnbouwwerken

De rekenmethode is van toepassing op de volgende typen inrichtingen:

- Brzo-plichtige mijnbouw- en gastransportinrichtingen. Deze zijn aangewezen via artikel 2.1, onderdeel a, van het Bevi [50].
- Inrichtingen waar aardgasdruk gereduceerd wordt of aardgashoeveelheid gemeten wordt, voor zover de gastoevoerleiding een grotere diameter heeft dan 20 inch. Deze zijn aangewezen via artikel 1b, onderdeel g, van de Revi [1].
- Niet Brzo-plichtige mijnbouwwerken, niet zijnde (offshore) mijnbouwinstallaties. Deze worden in 2015 aangewezen via artikel 1b, onderdeel h, van de Revi [1].

Hoofdstuk 10 is tot stand gekomen in de periode tussen 2008 en 2014 door een projectgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) de 'Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie' (NOGEPa) en de N.V. Nederlandse Gasunie. De huidige versie is een actualisatie en verdieping van de 'interim-methodiek' die in 2010 door SodM is uitgegeven [51].

Voor een aantal onderdelen was de beschikbare hoeveelheid informatie of de bruikbaarheid van die informatie beperkt. In die gevallen heeft RIVM in overleg met de overige betrokkenen een inschatting moeten doen. Deze inschattingen kunnen soms getypeerd worden als 'best guess' en in andere gevallen als conservatief.

De verantwoording van dit hoofdstuk gebeurt verder per paragraaf.

Verantwoording van paragraaf 10.1

Bij het opstellen van de rekenmethode zijn de eventuele risico's van mijnbouwwerk anders dan voor de productie, injectie, behandeling of transport van aardgas en aardolie niet onderzocht. Voor deze activiteiten moet daarom met bevoegd gezag worden overlegd of een risicoberekening nodig is en zo ja, welke uitgangspunten daarvoor gebruikt kunnen worden.

Verantwoording van paragraaf 10.2

Inrichtingsgrens (paragraaf 10.2.1)

Met betrekking tot doorgaande transportleidingen moet duidelijk zijn waar de doorgaande transportleiding die valt onder het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) eindigt, en waar de leiding die hoort tot de inrichting begint. Gaat het om (i) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert, aftakt van de doorgaande transportleiding, (ii) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert bovengronds komt, of (iii) de eerste flens in de leiding die producten naar de inrichting voert binnen de inrichting? In het Bevb wordt niet beschreven waar doorgaande transportleidingen beginnen en eindigen. Om te voorkomen dat leidingen 'tussen wal en schip komen te vallen' is er voor gekozen om de keuze over te laten aan bevoegd gezag.

Mengsels en voorbeeldstoffen (paragraaf 10.2.2)

De belangrijkste componenten in onbehandeld aardgas zijn methaan (circa 70 tot 80 massa%), overige alkanen en alkenen, stikstof, kooldioxide en waterstofsulfide. De koolwaterstoffen zijn zeer licht ontvlambaar. Zwavelwaterstof is zeer giftig. Kooldioxide is alleen bij zeer hoge concentraties giftig en stikstof is alleen verstikkend.

Toxiciteit en ontvlambaarheid (paragraaf 10.2.2.1)

Voor wat betreft de toxiciteit is het criterium van 4,3 vol% H₂S overgenomen van het Bevb. Omdat H₂S de meest toxische component in aardgas is, kan deze ondergrens ook voor andere toxische stoffen gebruikt worden. De relevantie van de toxiciteit van mengsels met meer dan 4,3 vol% is niet onderzocht en in het bijzonder is de invloed van uitstroomcondities (zoals temperatuur, druk, uitstroomduur en afname van het debiet in de tijd) niet bekend. Daarom is in de rekenmethode nog geen voorschrift voor de risicoberekening opgenomen.

De relevantie van de toxiciteit kan (onder andere) op de volgende manier worden ingeschat:

- Ga voor het uitstroomscenario na wat de letaliteit ten gevolge van de warmtestraling is, afhankelijk van de locatie.
- Creëer voor het uitstroomscenario een nieuw bronscenario met de optie 'create source'.
- Vervang in deze nieuwe bron de gekozen voorbeeldstof door de bepalende toxische component in het mengsel.
- Verlaag het uitstroomdebiet (kg/s) op basis van de fractie toxische componenten (massa%) in het mengsel.
- Ga na of de letaliteit ten gevolge van het vrijkomen van toxische stoffen op enige locatie groter is dan de letaliteit van de warmtestraling.
- Ga op basis van de geconstateerde verschillen na of het eventueel meenemen van toxische eigenschappen leidt tot een verandering in de ligging van de PR 10⁻⁶ contour of de hoogte van het groepsrisico.

Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels (paragraaf 10.2.2.2)

De categorie-indeling is gebaseerd op EU Verordening Nr. 1272/2008, beter bekend als 'CLP' [52]. De indeling van ontvlambare gassen volgens CLP is beschreven in Tabel 2.2.1 en Tabel 2.2.2 van [52]. In deze rekenmethode wordt onderscheid gemaakt tussen aardgas met minder dan 80 m³ condensaat per miljoen Nm³ gas ('aardgas') en mengsels van aardgas en aardgascondensaat met meer dan 80 m³ condensaat per miljoen Nm³ gas ('ongestabiliseerde mengsels'). Daarnaast zijn er drie categorieën van gestabiliseerde mengsels. De indeling is geïnspireerd op de indeling van CLP (Tabel 2.6.1 en Tabel 2.6.2 van [52]).

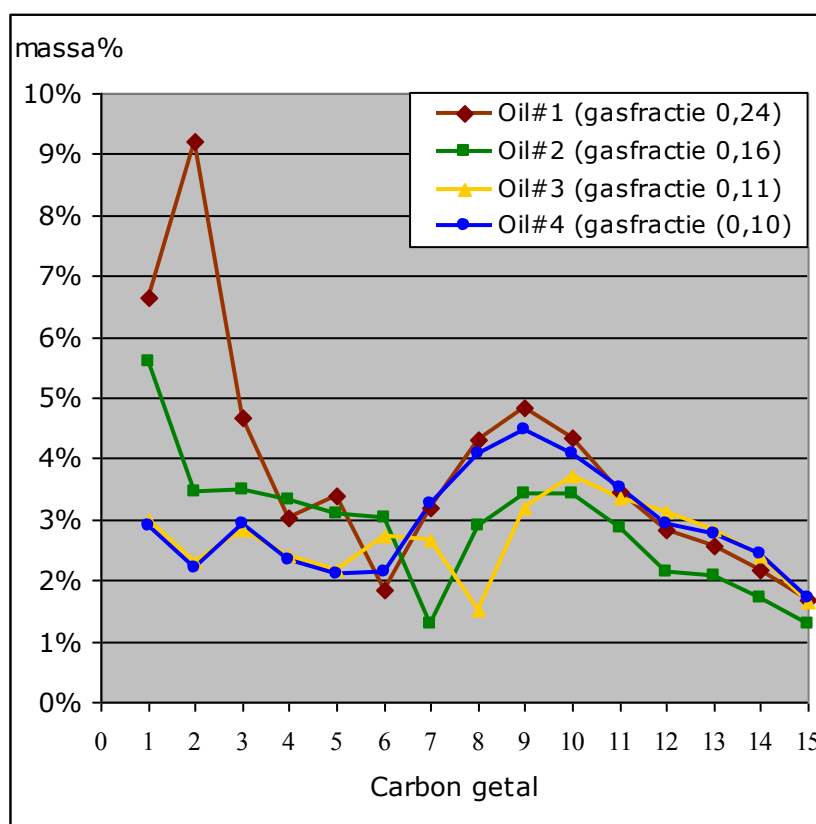
De onderbouwing van de voorbeeldstoffen is als volgt:

- De categorie ontvlambare gassen betreft hoofdzakelijk aardgas. Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan en ethaan. In het algemeen is de hoeveelheid methaan groter dan de hoeveelheid ethaan. De eigenschappen van de belangrijkste stoffen liggen dicht bij elkaar. Het gebruik van methaan is gangbaar en staat niet ter discussie. In Lowesmith et al [53] wordt besproken wat de invloed is van (aardgas)condensaat op een fakkelbrand van (voornamelijk) aardgas. Onder invloed van het condensaat neemt de hoeveelheid energie die als warmte wordt uitgestraald toe. In relatie tot andere modelonzekerheden vonden de opstellers van deze rekenmethode het niet nodig om dit effect mee te nemen in de effectberekeningen zolang de massafractie minder is dan 10%.
- Ongestabiliseerd aardgascondensaat en olie kunnen een aanzienlijke hoeveelheid (zeer) vluchtige componenten bevatten. In Burke et al. [54] worden oliemengsels geanalyseerd die tot 24 massa% gassen (methaan, ethaan, propaan en butaan) bevatten (zie Figuur 27). Het is momenteel niet mogelijk om een goed voorstel te doen voor de effectmodellering voor mengsels van olie en gas. Voor deze effectmodellering is aanvullend inzicht nodig in:
 - de uitstroming van dergelijke mengsels (druk, vloeistoffractie, uitstroomsnelheid);
 - de verspreiding van deze mengsels (druppelgrootte, verdamping en

- uitregenen);
- de effecten van een fakkelbrand.

Binnen de literatuur zijn deze gegevens niet of nauwelijks beschikbaar. Ook het 'Multicomponent model' in PHAST is nog onvoldoende geschikt om mengsels van vloeibare en vluchtige componenten te onderzoeken.⁵⁶ De opsteller van de QRA moet voor dergelijke mengsels voorlopig zelf met een onderbouwd voorstel komen.

- Voor gestabiliseerde mengsels (categorie 2 en 3) wordt aangesloten bij de voorbeeldstoffen voor Bevi inrichtingen (respectievelijk n-hexaan en n-nonaan). Dit is mede op basis van RIVM onderzoek uit 2010 [55].



Figuur 27 Samenstelling van enkele ruwe-oliesmonsters (Burke et al.,)

Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties (paragraaf 10.2.3)

De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen.

Additionele faaloorzaken (paragraaf 10.2.4)

Runaway reacties (paragraaf 10.2.4.1)

De tekst is identiek aan de tekst voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.2.2).

⁵⁶ Het multicomponent model in PHAST 6.7 bevat de volgende beperkingen: (1) voor mengsels met vloeibare componenten kan het Long Pipeline model niet gebruikt worden, (2) voor mengsels van gassen en vloeistoffen wordt de druppelgrootte niet goed berekend, (3) de mogelijkheid dat vloeistoffen uitregenen is nog niet in het model opgenomen.

Externe beschadiging (paragraaf 10.2.4.2)

De aanpak is analoog aan die voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.2.2) en andere typen inrichtingen. Voor leidingen binnen de inrichtingen zijn de faaloorzaken en -frequenties specifiek onderzocht. In het bijbehorende rapport [56] staat expliciet dat de kans op schade door externe beschadiging niet in de uitstroomfrequentie is opgenomen en dat deze bijdrage bovendien niet zonder meer verwaarloosd kan worden. Daarom moeten maatregelen getroffen worden om de kans op externe schade te beperken. In het rapport wordt gerefereerd aan maatregelen tegen aanrijdingen en maatregelen tegen het vallen van voorwerpen bij hijswerkzaamheden.

Interne domino-effecten (paragraaf 10.2.4.3)

Voor mijnbouwwerken wordt voor hogedruk gastransportleidingen de bijdrage van domino-effecten specifiek beschouwd. De reden is dat in het onderzoek naar de kans op breuk van een hogedruk transportleiding ([56]) expliciet is aangegeven dat de bijdrage van domino-effecten additioneel in rekening gebracht moet worden. Voor overige installatie-onderdelen (anders dan hogedruktransportleidingen) zijn de uitgangspunten gelijk aan die voor Brzo-bedrijven (paragraaf 3.2.2).

Voor de hogedruk gastransportleidingen worden alleen domino-effecten als gevolg van branden die ontstaan bij flenslekkages meegenomen. Dit heeft de volgende redenen:

- i. Leidinglekken of lekken in vaten geven een kleine bijdrage in de (verhoging van de) uitstroomfrequentie en zijn daarom niet relevant.
- ii. Leidingbreuk en instantaan falen van een vat geven vergelijkbare effecten als het domino-effect. Ter vereenvoudiging van de methode hoeven deze scenario's voor het domino-effect niet extra te worden beschouwd.

Buisleidingen falen als ze worden blootgesteld aan direct vlamcontact of intensieve warmtestraling. Als criterium hiervoor is 35 kW/m^2 gekozen. De effectafstanden van Tabel 69 zijn berekend voor methaan bij een temperatuur van 9°C en gelden voor weertype D9. De temperatuur en het weertype zijn conservatief gekozen.

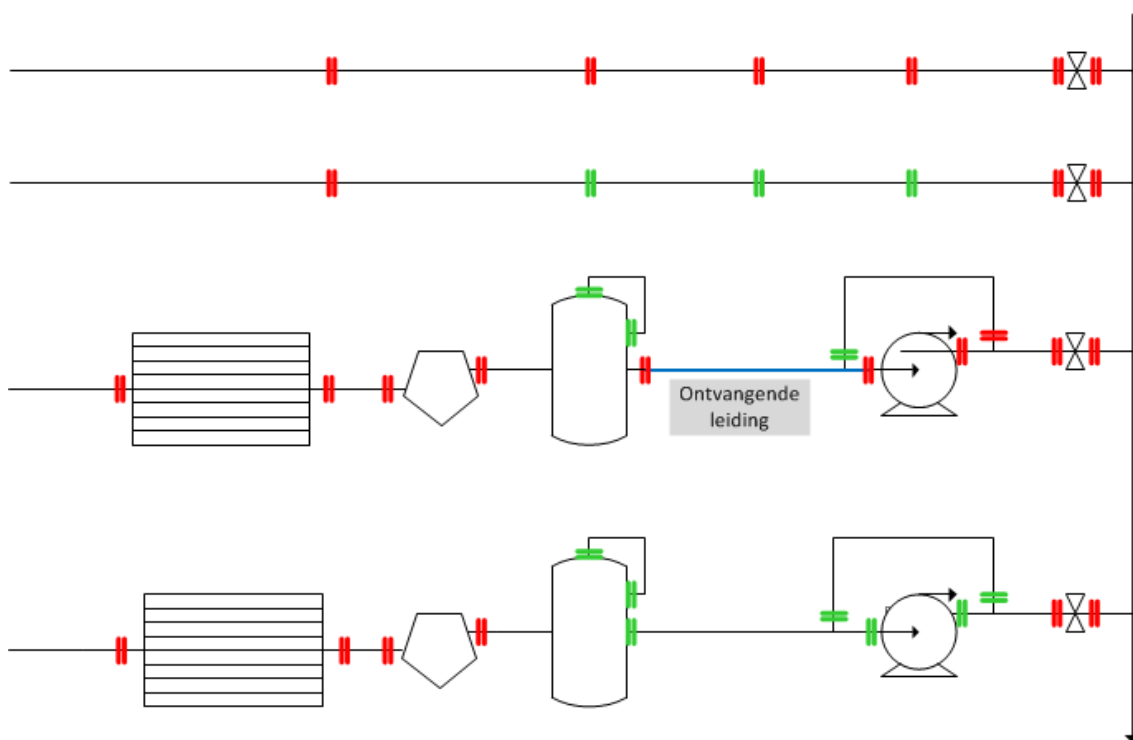
Elke flens die een intern domino-effect kan veroorzaken, geeft een verhoging van de kans op breuk van de hogedruk gastransportleiding van $9,3 \times 10^{-10}$ per jaar. Dit is 1‰ van de basiskans op een flenslek ($9,3 \times 10^{-7}$ per jaar per flens). De waarde 1‰ is ontleend aan [47] en is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De ontstekingskans voor een klein lek is 0,04 (aardgas).
- De vervolgcans dat het lek gericht is op de naburige leiding wordt ingeschat op 0,3.
- De kans dat de lekkage tijdig gesignaleerd kan worden en een domino-effect voorkomen kan worden, wordt ingeschat op 0,9. De vervolgcans dat niet tijdig wordt ingegrepen is dus 0,1.

De basisfrequentie voor breuk van de leiding (zonder de bijdrage van domino-effecten) is $5,6 \times 10^{-9}$ per meter per jaar. Als het aantal flenzen kleiner is dan $0,6 \times$ de lengte van het bovengrondse leidingdeel in meters, dan is de additionele bijdrage van domino's door flenslekken kleiner dan $0,6 \times 9,3 \times 10^{-10} = 5,6 \times 10^{-10}$ per meter leiding per jaar. Dat is minder dan 10% van de basisuitstroomfrequentie voor breuk van de leiding en onder die voorwaarde is de bijdrage van flenzen dus verwaarloosbaar.

De effectafstanden in Tabel 69 zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en zijn naar boven afgerond op veelvouden van 5.

In Figuur 28 is een voorbeeld gegeven van de flenzen die relevant zijn voor een domino-effect op de ontvangende leiding in het midden van de figuur. Het plaatje moet als 3D-geïnterpreteerd worden, waarbij de leidingen op gelijke hoogte liggen (bijvoorbeeld 1,5 m boven maaiveld). De flenzen in het betreffende (ontvangende) leidingdeel zijn niet relevant voor de beschouwing van de kans op een domino-effect. De overige leidingen zijn wel relevant, tenzij het pad tussen de flens en het ontvangende leidingdeel (deels) is geblokkeerd door een ander installatie-onderdeel. In de figuur zijn de groen gemarkeerde flenzen relevant en de rood gemarkeerde flenzen niet relevant. Voor de groen gemarkeerde flenzen moet worden nagegaan of de 35 kW/m²-contour van een fakkelflam volgend op een flenslek, (deels) overlapt met de ligging van de ontvangende leiding.



Figuur 28 Voorbeeld van flenzen die in de beschouwing van een domino-effect voor de ontvangende leiding moeten worden meegenomen (weergegeven in groen).

Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden (10.2.4.4)

De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen maar is nu voor het eerst expliciet gemaakt. De bijdrage van uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Er wordt aangenomen dat in het ontwerp al rekening gehouden is met voorzienbare uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden. Er wordt geen rekening gehouden met buitengewoon uitzonderlijke omstandigheden, maar in dat geval zijn de maatschappelijke consequenties in ieder geval groot en is de additionele impact van het mogelijke vrijkomen van gevaarlijke stoffen beperkt.

Moedwillige verstoring (10.2.4.5)

De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen maar is nu voor het eerst expliciet gemaakt. De bijdrage van moedwillige verstoring is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Voor moedwillige verstoring is specifiek beleid van kracht.

Boringen (paragraaf 10.2.5)

Boringen worden gezien als tijdelijke activiteiten waarvoor het afwegingskader van Bevi niet geschikt is. Voor boringen wordt bij het verstrekken van de boorvergunning nagegaan of de risico's van de boring acceptabel zijn voor de omgeving.

Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten (paragraaf 10.2.6)

In paragraaf 10.2 is aangegeven dat sommige installatieonderdelen buiten beschouwing mogen worden gelaten omdat ze niet relevant zijn voor de externe veiligheid. De lijst is opgesteld door de betrokken vertegenwoordigers van NOGEPA. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd om de stelling dat deze systemen niet relevant zijn voor externe veiligheid te toetsen.

Met betrekking tot de ontvlambaarheid wordt in Hankinson et al. [57] opgemerkt dat mengsels van olie en water met meer dan 55 massa% water geen brand in stand kunnen houden⁵⁷. Deze mengsels hoeven daarom niet te worden meegenomen in de risicoberekening. Als water en condensaat in lagen gescheiden zijn, dan is er geen sprake van een mengsel. De betreffende installaties moeten wel worden meegenomen.

Afkapgrens (paragraaf 10.2.7)

De effectafstanden in Tabel 70 en Tabel 71 zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en afgerond op veelvouden van 5 m. Voor de horizontale lekkages is het Leak model gebruikt met constant uitstroomdebiet. Deze aanpak geeft voor de gegeven combinatie van gatgrootte en druk de grootste effectafstand. Voor de verticale lekkages is het Long Pipeline model gebruikt met lengte 64 km, en een breuklocatie halverwege. De diameter van de leiding is $\sqrt{5}$ keer de gatgrootte en de 'relative aperture' is 0,2. Ook dit is – binnen de mogelijkheden van SAFETI-NL 6.54 – de meest conservatieve aanpak.

Maatregelen en systeemreacties (10.2.8)

De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen. De aanvullende opmerkingen zijn een nadere toelichting op de reeds geldende voorschriften.

Nalevering (paragraaf 10.2.9)

Voor de scenario's lek in een vat (diameter 10 mm) en lek in een leiding (diameter 10% van nominale diameter, maximaal 50 mm) wordt het uitstroomdebiet hoofdzakelijk bepaald door de initiële druk in het systeem en de gatgrootte. Voor deze scenario's wordt het uitstroomdebiet niet tijdafhankelijk berekend. Nalevering geeft een verlenging van de uitstroomduur en is voor de genoemde scenario's niet relevant zolang de vrijkomende stoffen geen giftige eigenschappen hebben. Voor mengsels met meer dan 4,3 vol% toxische stoffen (waaronder H₂S) moet maatwerk verricht worden.

⁵⁷ 'The results also indicate that the flame is extinguished if the water content of the well-stream fluid reaches about 55% by mass.'

Rapportageplicht (paragraaf 10.2.10)

Het betreft de onderdelen die het mogelijk maken de uitkomsten van de QRA te reproduceren.

Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties (paragraaf 10.2.11)

Het streven is geweest om daar waar mogelijk aan te sluiten bij de risicomodellering voor Brzo-inrichtingen, waarvoor de scenario's en uitstroomfrequenties beschreven zijn in Hoofdstuk 3. Voor olie- en gasputten en slokkenvangers bestond nog geen voorschrift en hiervoor zijn nieuwe scenario's en frequenties opgesteld. Voor hogedruk gastransportleidingen en voor verschillende typen pompen en compressoren zijn nieuwe uitstroomfrequenties afgeleid op basis van uitgebreid onderzoek. Voor flexibele leidingen, verschillende typen separatoren en voor koelerbanken zijn nieuwe uitstroomfrequenties vastgesteld op basis van analogieën met installatieonderdelen waarvoor reeds frequenties beschikbaar waren. Bij het opstellen van nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties zijn de kaders van het 'Protocol aanpassing rekenmethoden' [58] gebruikt. Tabel 125 geeft een samenvatting van de gevolgde werkwijze.

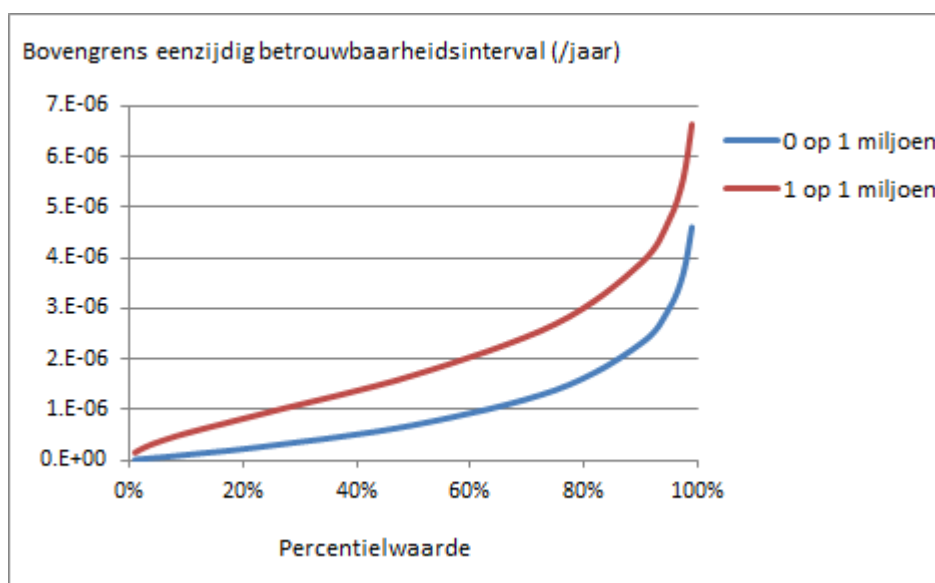
Tabel 125 Installatie-onderdelen waarvoor nieuwe uitstroomscenario's en/of -frequenties zijn opgesteld

Installatie-onderdeel	Type aanpassing	Methode
Gas- en olieputten	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor productie, injectie en onderhoudswerkzaamheden	Beschikbare statistiek voor gas- en olieputten.
Leidingen	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor flexibele leidingen	Expert judgement op basis van analogie met offshore flexibele leidingen.
	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen	Analogie met transportleidingen buiten de inrichting en gebruikmaking van betreffende statistiek.
Separatoren	Nieuwe indeling in typen separatoren, daarmee samenhangend ook nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties	Analogie met installatieonderdelen waarvoor al scenario's en frequenties zijn vastgesteld.
Pompen en compressoren	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor verschillende typen pompen en compressoren.	Beschikbare statistiek voor pompen en compressoren.
Warmtewisselaars	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor koelerbanken	Analogie met installatieonderdelen waarvoor al scenario's en frequenties zijn vastgesteld.

Verantwoording van de statistische methode

Voor gas- en olieputten (paragraaf 10.3), hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3) en pompen en compressoren (paragraaf 0) zijn nieuwe uitstroomfrequenties afgeleid op basis van datasets met ongevallen en ervaringsjaren. Daarbij is de faalkans gebaseerd op de bovengrens van een enkelzijdig betrouwbaarheidsinterval. Aangenomen is dat het aantal events (uitstromingen) in de dataset (aantal ervaringsjaren) Poisson verdeeld is. De faalkans kan dan beschreven worden met de Gamma $(1+x, 1/n)$ -verdeling waarbij x het aantal ongevallen is en n de duur van de tijdsperiode. In dit onderzoek is gekozen voor de 50% percentielwaarde van het betrouwbaarheidsinterval. De motivatie hiervoor was dat deze waarde het beste aansluit bij de uitstroomfrequenties die voor andere typen inrichtingen zijn afgeleid.

In Figuur 29 is de aanpak geïllustreerd voor een fictief voorbeeld. In de figuur is de bovengrens weergegeven van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval voor 0 ongevallen in 1 miljoen ervaringsjaren (blauwe lijn) en voor 1 ongeval in 1 miljoen ervaringsjaren (rode lijn). De 50%-waarde is respectievelijk $6,9 \times 10^{-7}$ per jaar en $1,7 \times 10^{-6}$ per jaar. Ter vergelijking: de rekenkundige gemiddeldes voor deze voorbeelden zijn respectievelijk 0 en 1×10^{-6} per jaar.



Figuur 29 Visualisatie van de bovengrens van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval voor 0 ongevallen in 1 miljoen ervaringsjaren en 1 ongeval in 1 miljoen ervaringsjaren

Als grote en kleine incidenten afzonderlijk beschouwd zouden worden, dan zou voor beiden een (relatief grote) onzekerheidsmarge worden meegenomen. In dit onderzoek is besloten om grote en kleine incidenten in samenhang te beschouwen, waarbij de som van de twee uitstroomfrequenties is gelijkgesteld aan de bovengrens voor het totale aantal ongevallen. Dit is toegelicht met een voorbeeld (zie Tabel 126). In [58] wordt toegelicht hoe de percentielwaarden kunnen worden berekend.

Tabel 126 Illustratie van de gebruikte statistische aanpak

Betreffende grootheid	Getalswaarde (voorbeeld)
Aantal ervaringsjaren	450.000
Aantal grote ongevallen	0
Aantal kleine ongevallen	2
Totaal aantal ongevallen	2
Bovengrens (50%) voor totaal aantal ongevallen	$5,94 \times 10^{-6}$ per jaar
Bovengrens (50%) voor grote ongevallen	$1,54 \times 10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroombrequentie voor grote ongevallen	$1,54 \times 10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroombrequentie voor kleine ongevallen	$4,40 \times 10^{-6}$ per jaar

Verantwoording van paragraaf 10.3

In Figuur 8 zijn de onderdelen weergegeven van een put die voldoet aan de 'North Sea Standard'. Alle onderdelen vanaf het reservoir tot en met de 'wing valve' worden tot de put gerekend. Alle bovengrondse installaties vanaf de wing valve moeten afzonderlijk worden meegenomen in de QRA.

Verantwoording afleiding uitstroombrequenties voor olie- en gasputten

Uitgangspunt is een rapport van SCANDPOWER [59] waarin uitstroombrequenties worden afgeleid voor offshore installaties. De data zijn afkomstig uit het Noordzeegebied en Golf van Mexico over de periode 1980-2005 (voor sommige onderdelen 1986 – 2005). Putten met een 'gas oil ratio' groter dan 1000 worden gezien als gasputten en overige putten als olieputten.

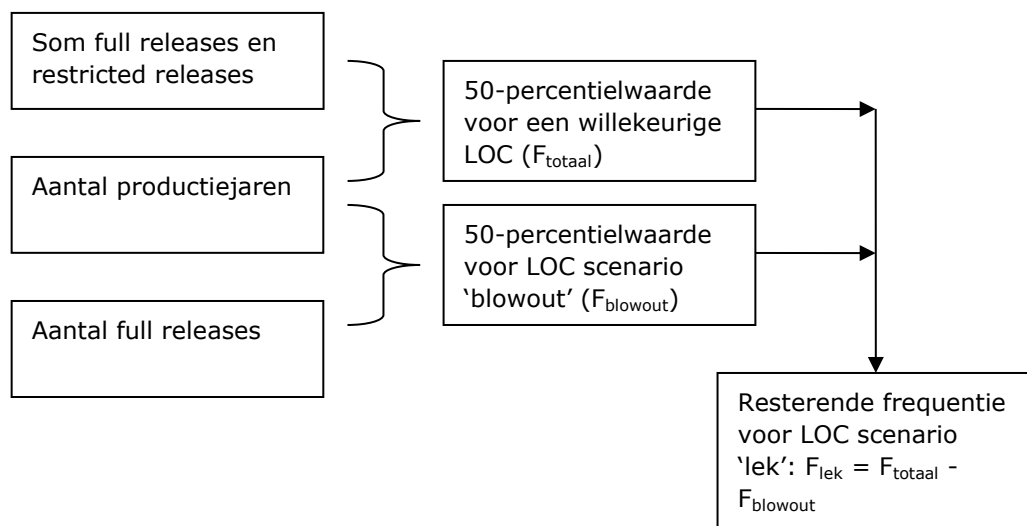
Het SCANDPOWER rapport maakt onderscheid tussen een 'well blowout' en een 'well release', en tussen een 'full release' en een 'restricted release'. Bij een 'well blowout' stroomt de olie en gas ongehinderd uit de put en wordt de uitstroom niet gestopt door barrières die voorafgaand aan de release bij de put aanwezig waren⁵⁸. Bij een 'well release' wordt de uitstroom wel gestopt door de aanwezige veiligheidsvoorzieningen⁵⁹ als is het niet duidelijk op welk moment precies. Beide categorieën worden verder verdeeld naar 'full releases' en 'restricted releases'. Uit navraag bleek dat 'restricted releases' in het algemeen kleinere lekkages betreft.

Het SCANDPOWER rapport bevat voor de verschillende typen ongevallen geen gedetailleerde gegevens over de duur van de release en de locatie en omvang (uitstroombediet) ervan. Omdat het niet duidelijk is op welk moment (en door welke barrières) 'well releases' gestopt werden, is besloten om ten behoeve van de externe-veiligheidsberekening geen onderscheid te maken naar 'well blowouts' en 'well releases'. Het onderscheid tussen 'full releases' en 'restricted releases' wordt wel gebruikt. 'Full releases' worden daarbij toebedeeld aan het EV-scenario blowout van de put en 'restricted releases' worden beschouwd als lekkages vanuit de put (zie Figuur 30). Het volledige stroomschema voor de manier waarop de frequenties voor de LOC scenario's zijn afgeleid, is

⁵⁸ Definitie SINTEF: 'An incident where formation fluid flows out of the well or between formation layers after all the predefined technical well barriers – or the activation of the same – have failed.'

⁵⁹ Definitie SINTEF: 'An incident where hydrocarbons flow from the well at some point where flow was not intended and the flow was stopped by use of the barrier system that was available on the well at the time of the incident.'

weergegeven in Figuur 31.

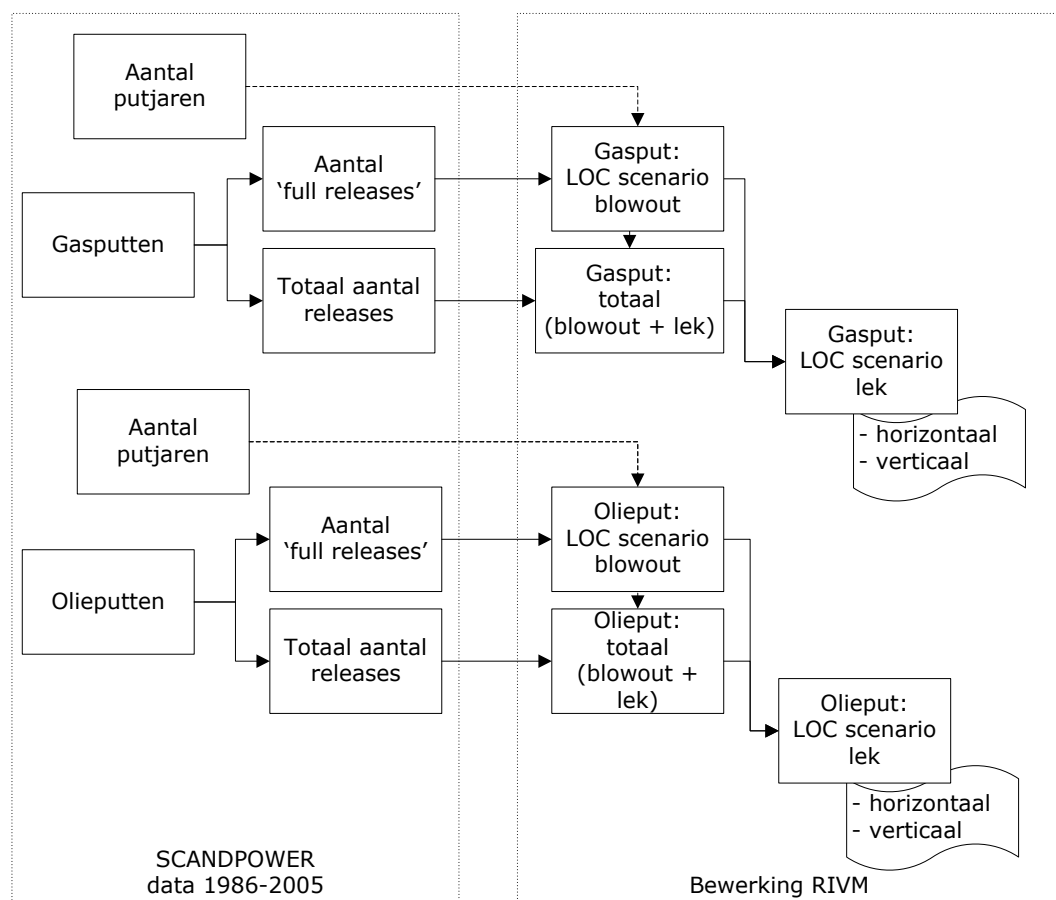


Figuur 30 Toekenning van uitstroomfrequenties aan LOC scenario's

Faalkansen voor productie en injectie

Voor productie en injectie worden in het SCANDPOWER [59] rapport het volgende vermeld:

- Voor de periode 1986-2005 worden in paragraaf 5.2 van [59] 'well blowouts' vermeld voor putten die voldeden aan de 'North Sea Standard'. De betreffende paragraaf heeft alleen betrekking op 'interne' oorzaken. Uit paragraaf 5.1 van [59] blijkt dat in dezelfde periode ook zeven blowouts zijn opgetreden ten gevolge van een externe faaloorzaak (één keer domino-effect, twee keer aanvaring door een schip en vier keer storm/orkaan). Deze externe faaloorzaken zijn niet meegenomen in de bepaling van de uitstroomfrequentie.
- Het aantal 'well releases' in dezelfde periode voor dezelfde putten was 2 (zie paragraaf 5.3 van [59]). Eventuele ongevallen door toedoen van externe oorzaken ('external loads') zijn niet meegenomen.
- Van de 8 bovengenoemde incidenten waren er 7 bij gasputten en 1 bij een olieput (zie paragraaf 5.3 van [59]).
- Het aantal putjaren in de periode 1986-2005 was 81.168 voor gasputten en 93.860 voor olieputten (zie onder meer paragraaf 5.2 van [59]).
- Voor de verdeling 'full releases'/'restricted releases' worden in paragraaf 6.1 van [59] data gerapporteerd over de periode 1980-2005. Voor 'well blowouts' waren er in deze periode zeven ongevallen, waarvan 2 'full' en 5 'choked' (Tabel 6.1). In dezelfde periode waren er twee 'well releases', waarvan 1 'full' en 1 'choked' (Tabel 6.5). In totaal waren er dus 3 'full releases' en 6 'restricted releases'. De fractie 'full releases' is daarmee een derde van het totale aantal ongevallen.



Figuur 31 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor productie/injectie

Voor gasputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

- Er waren 7 incidenten ('full release' of 'restricted release') in 81.168 putjaren. De 50-percentielwaarde voor een willekeurig incident (groot of klein) is $9,4 \times 10^{-5}$ per jaar.
- Van deze incidenten is een derde een 'full release'. De beste schatting voor het aantal 'full releases' is daarom 2,33. De corresponderende 50-percentielwaarde is $3,3 \times 10^{-5}$ per jaar. Deze frequentie wordt toegekend aan het LOC scenario Blowout.
- De resterende kans ($F_{\text{totaal}} - F_{\text{blowout}}$) wordt toegekend aan het LOC scenario Lek. Deze waarde is $6,2 \times 10^{-5}$ per jaar.
- De kans op een lek wordt verder onderverdeeld naar een horizontaal lek en een verticaal lek. Aangenomen wordt dat 10% van alle releases een horizontaal lek betreft.⁶⁰ De bijbehorende kans is $9,4 \times 10^{-6}$ per jaar. Het resterende deel van de kans op een lek ($5,2 \times 10^{-5}$ per jaar) wordt toegekend aan het scenario verticaal lek.

Voor olieputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

- Er was 1 incident ('full release' of 'restricted release') in 93.860 putjaren. De 50-percentielwaarde voor een willekeurig incident (groot of klein) is $1,8 \times 10^{-5}$ per jaar.
- Van deze incidenten is een derde een 'full release'. De beste schatting voor het aantal 'full releases' is daarom 0,33. De corresponderende 50-

⁶⁰ Deze waarde werd aanbevolen door experts uit de industrie die door de werkgroep benaderd zijn.

percentielwaarde is $7,4 \times 10^{-6}$ per jaar. Deze frequentie wordt toegekend aan het LOC scenario Blowout.

- De resterende kans ($F_{\text{totaal}} - F_{\text{blowout}}$) wordt toegekend aan het LOC scenario Lek. Deze waarde is $1,0 \times 10^{-5}$ per jaar.
- De kans op een lek wordt verder onderverdeeld naar een horizontaal lek en een verticaal lek. Aangenomen wordt dat 10% van alle releases een horizontaal lek betreft. De bijbehorende kans is $1,8 \times 10^{-6}$ per jaar. Het resterende deel van de kans op een lek ($8,7 \times 10^{-5}$ per jaar) wordt toegekend aan het scenario verticaal lek.

De resulterende faalkansen zijn vermeld in Tabel 127 voor gasputten en Tabel 128 voor olieputten. Voor de volledigheid zijn ook de gemiddelde waarden en de 95-percentielwaarden weergegeven.

Tabel 127 Resultierende uitstroomfrequenties voor gasputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	50- percentielwaarde (per jaar)	95- percentielwaarde (per jaar)
Totale kans	$8,6 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-4}$
Kans op full release	$2,9 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,8 \times 10^{-5}$
Kans op restricted release	$5,7 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-5}$
Kans op een blowout	$2,9 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,8 \times 10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$4,9 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$8,6 \times 10^{-6}$	$9,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-5}$

Tabel 128 Resultierende uitstroomfrequenties voor olieputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	50- percentielwaarde (per jaar)	95- percentielwaarde (per jaar)
Totale kans	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$
Kans op full release	$3,6 \times 10^{-6}$	$7,4 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Kans op restricted release	$7,1 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-5}$
Kans op een blowout	$3,6 \times 10^{-6}$	$7,4 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$6,0 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$1,1 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$5,1 \times 10^{-6}$

Faalkansen voor onderhoudsactiviteiten zoals workover, wireline, coiled-tubing en snubbing

Ook voor onderhoudswerkzaamheden zijn de faalkansen afgeleid van de beschikbare gegevens in het SCANDPOWER rapport [51]. Voor verschillende typen activiteiten wordt het aantal ongevallen gerapporteerd waarbij onderscheid gemaakt wordt naar 'well blowouts' en 'well releases' en naar 'full releases' en 'restricted releases'. Er wordt niet per activiteit gerapporteerd

hoeveel releases bij gasputten plaatsvonden en hoeveel bij olieputten. Daarom is de manier waarop de uitstroombrequentie wordt afgeleid iets anders dan voor productie.

In het SCANDPOWER rapport [59] worden de volgende gegevens gerapporteerd:

- Het aantal blowouts tijdens onderhoudsactiviteiten (20,8) in de periode 1980-2005 voor putten die voldoen aan de North Sea Standard (paragraaf 6.1.1 in [59]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 129).⁶¹
- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (23,2) in de periode 1980-2005 (paragraaf 6.1.2 in [59]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 129).⁶¹
- Het aantal blowouts tijdens onderhoudsactiviteiten (14,8) in de periode 1986-2005 voor putten die voldoen aan de North Sea Standard (Tabel 4.3 in [59]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 129).⁶¹
- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (20) in de periode 1986-2005 (Tabel 4.7 in [59]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 129).⁶¹
- Het totale aantal blowouts en 'well releases' in de periode 1986-2005 (41⁶²), waarvan 3 met uitstroming van boorvloeistof, 19 met uitstroming van gas (gas oil ratio groter dan 1000), 12 met uitstroming van olie (gas oil ratio kleiner dan 1000) en 7 onbekend (paragraaf 4.1 in [59]). Hieruit worden fracties van het aantal gas releases (19/31) en het aantal olie releases (12/31) afgeleid.
- Het aantal productie jaren voor gas (81.168) en het aantal productie jaren voor olie (93.860) in de periode 1986-2005 en de som van beide (175.028) (paragraaf 4.1 van [59]).
- De fractie van het aantal 'full releases' en het aantal 'restricted releases' voor blowouts (Tabel 6.1 van [59]) en voor 'well releases' (Tabel 6.5 van [59]) voor de onderscheiden (onderhouds)activiteiten in de periode 1980-2005, zie Tabel 130.
- De frequentie van de onderhoudsactiviteiten (paragraaf 4.1 in [59]), zie Tabel 131.

⁶¹ De weergegeven aantallen zijn geen gehele getallen. De reden hiervoor is dat SCANDPOWER correctiefactoren heeft toegepast om relevante scenario's te selecteren. Voor completion bijvoorbeeld, zijn in de periode 1980-2005 negen blowouts opgetreden waarvan twee bij putten die voldeden aan de North Sea Standard (NSS) en zeven bij putten die niet voldeden aan de NSS. Niet alle blowouts bij putten die niet voldoen aan de NSS kunnen voorkomen worden met installaties die wel voldoen aan de NSS. SCANDPOWER veronderstelt dat 20% van de blowouts toch zou optreden (paragraaf 4.1). Daarmee komt het totale aantal relevant geachte blowouts voor completion uit op $2 + 1,4 = 3,4$. Het totaal voor alle onderhoudsactiviteiten komt voor de genoemde periode uit op 20,8.

⁶² Het getal 41 wijkt af van het genoemde aantal in Tabel 129 (34,8). De achterliggende reden is dat Tabel 129 alleen betrekking heeft op scenario's die kunnen optreden bij putten die voldoen aan de North Sea Standard.

Tabel 129 Aantal 'blowouts' en 'well releases' voor de periodes 1980-2005 en 1986-2005

	1980-2005	1986-2005
Blowouts tijdens completion	3,4	1,4
Blowouts tijdens wireline	4	2
Blowouts tijdens coiled-tubing	2	2
Blowouts tijdens snubbing	4	3
Blowouts tijdens workover	7,4	6,4
Subtotaal	20,8	14,8
Well releases tijdens completion	4	4
Well releases tijdens wireline	3	3
Well releases tijdens coiled-tubing	2	2
Well releases tijdens snubbing	2	1
Well releases tijdens workover	12,2	10
Subtotaal	23,2	20
Totaal	44	34,8

Tabel 130 Verdeling van 'full releases' en 'restricted releases' in de periode 1980-2005

	Aantal incidenten	Fractie 'full releases'	Fractie 'restricted releases'
Blowouts tijdens completion	3,4	0,65	0,35
Blowouts tijdens wireline	4	0,25	0,75
Blowouts tijdens coiled-tubing	2	0,50	0,50
Blowouts tijdens snubbing	4	0,50	0,50
Blowouts tijdens workover	7,4	0,40	0,60
Well releases tijdens completion	4	0,50	0,50
Well releases tijdens wireline	3	0,33	0,67
Well releases tijdens coiled-tubing	2	0,50	0,50
Well releases tijdens snubbing	2	0,50	0,50
Well releases tijdens workover	12,2	0,50	0,50

Tabel 131 Frequentie van onderhoudsactiviteiten volgens SCANDPOWER

Activiteit	Frequentie	Herkomst getal
Completion	0,09 per putjaar	16.327 'completions' op 175.042 putjaren.
Wireline	1,7 per putjaar	"assumption based on feedback from oil companies"
Coiled-tubing	0,08 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Snubbing	0,05 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Workover	0,14 per gasputjaar 0,2 per olieputjaar	Schatting op basis van referentie 4 in .

Het onderscheid naar 'full releases' en 'restricted releases' is dus wel beschikbaar voor de periode 1980-2005 maar niet voor de periode 1986-2005. Het aantal productiejaar voor gas en voor olie gedurende de periode 1980-2005 wordt niet vermeld in [59]. De aantallen voor de periode 1980-1985 zijn

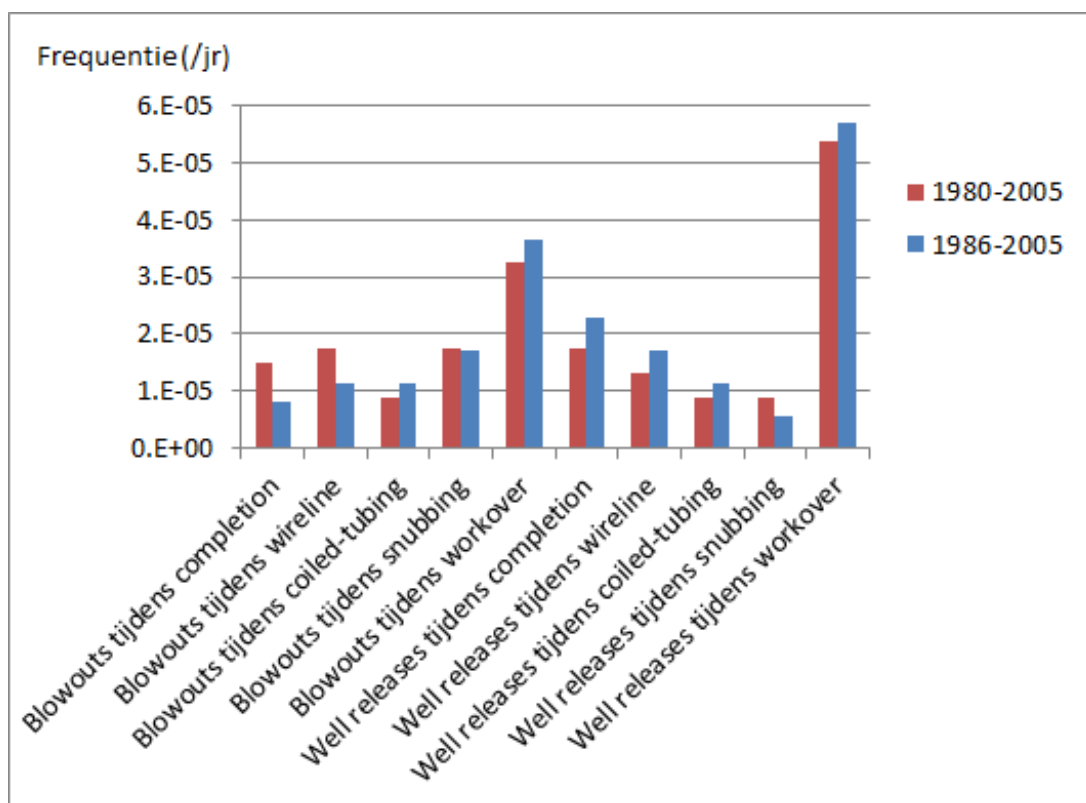
wel beschikbaar in [60]⁶³. In

Tabel 132 zijn de data van de beide bronnen gecombineerd.

Tabel 132 Aantal productie jaren voor gas- en olieputten voor de periode 1980-2005

Periode	Bron	Gasputten	Olieputten	Totaal
1980-1985	Holand ([60])	27.171	24.374	51.545
1986-2005	SCANDPOWER ([59])	81.168	93.860	175.028
1980-2005	Combinatie van [59] en [60]	108.339	118.234	226.573

Omdat voor de periode 1980-2005 de verdeling naar 'full releases' en 'restricted releases' bekend is (Tabel 130), is deze periode als referentieperiode gebruikt. In termen van ongevalsrisico's zijn de onderlinge verschillen tussen de twee datasets overigens beperkt, zie Figuur 32. In de verdere afleiding van uitstroombereik is alleen de verdeling van het aantal gasreleases en het aantal oliereleases gebaseerd op gegevens over de periode 1986-2005.

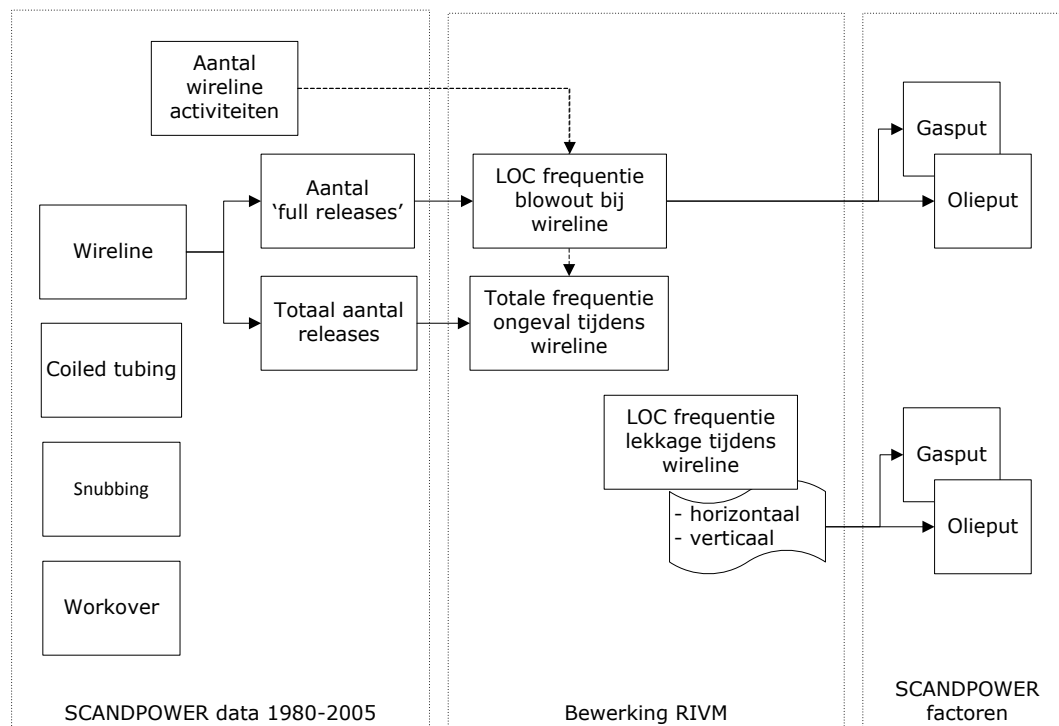


Figuur 32 Vergelijking datasets 1980-2005 en 1986-2005

De manier waarop de uitstroombereik frequenties zijn afgeleid is weergegeven in Figuur 33. Voor elk van de onderhoudsactiviteiten wordt in het SCANDPOWER rapport een aantal ongevallen gegeven met onderscheid naar 'full releases' en 'restricted releases'. Op basis van deze data en het bijbehorende aantal activiteiten worden LOC frequenties afgeleid. Het SCANDPOWER rapport bevat weinig informatie over het type put (olie of gas). Daarom wordt pas nadat

⁶³ Het betreft 27171 putjaren voor gas en 24374 putjaren voor olie. Het aantal gas- en olieputten in de periode 1980-1985 (op enig moment gemiddeld 8591) verschilt nauwelijks van het aantal gas- en olieputten in de periode 1986-2005 (op enig moment gemiddeld 8751).

(gemiddelde) LOC frequenties zijn afgeleid, een correctiefactor toegepast voor olie-/gasputten. Deze aanpak is vergelijkbaar met de manier waarop SCANDPOWER het onderscheid tussen olie- en gasputten aanbrengt.



Figuur 33 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor onderhoudswerkzaamheden (uitgewerkt voor wireline)

In Tabel 133 is het aantal 'blowouts' en het aantal 'well releases' weergegeven voor putten die voldoen aan de North Sea Standard. Deze data zijn gebaseerd op paragraaf 6.1 van het SCANDPOWER rapport. Het betreft alle releases gedurende de periode 1980-2005 die relevant worden geacht voor putten die voldoen aan de North Sea Standard.

Tabel 133 Aantal blowouts en well releases (met onderscheid naar 'full releases') voor putten die voldoen aan de North Sea Standard in de Noordzee regio en de Golf van Mexico

Activiteit	Well blowout		Well release		Totaal	
	alle releases	'full rel.'	alle releases	'full rel.'	alle releases	'full rel.'
Completion	3,4	2,2	4	2	7,4	4,2
Wireline	4	1	3	1	7	2
Coiled Tubing	2	1	2	1	4	2
Snubbing	4	2	2	1	6	3
Workover	7,4	3,2	12,2	6,1	19,6	9,3
Totaal	20,8	9,4	23,2	15,1	44,0	20,5

Voor het afleiden van een faalkans per activiteit is het nodig om het aantal putjaren te vertalen naar aantallen activiteiten. Hiervoor zijn factoren afgeleid in paragraaf 4.1 van het SCANDPOWER rapport. Deze zijn vermeld in Tabel 134.

Op basis van het aantal ongevallen (Tabel 133) en het aantal activiteiten (Tabel 134) kunnen frequenties worden afgeleid. Hiervoor wordt dezelfde aanpak gehanteerd als voor productie (zie Figuur 30). De gekozen uitstroomfrequenties komen overeen met de 50% bovengrens van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval (zie verantwoording van de statistische methode). De frequentie voor het LOC scenario blowout wordt afgeleid van het aantal 'full releases'. De resterende uitstroomfrequentie wordt toebedeeld aan het LOC scenario lek. De frequentie voor horizontale lekkages is daarbij 10% van de totale frequentie voor een release (op basis van een inschatting van experts uit de industrie). Dit resulteert in de uitstroomfrequenties van Tabel 135. Voor de blowout tijdens 'workover' wordt aangenomen dat 20% een blowout ter grootte van de casing betreft en 80% een blowout ter grootte van de tubing. Ook dit betreft een inschatting van experts uit de industrie.

Tabel 134 Schatting van het aantal uitgevoerde onderhoudswerkzaamheden

Activiteit	Aantal putjaren	Aantal activiteiten per putjaar (schatting)	Aantal activiteiten (schatting)
Completion	226.573	0,10 ⁶⁴	22.657
Wireline	226.573	1,7	385.174
Coiled Tubing	226.573	0,08	18.126
Snubbing	226.573	0,05	11.329
Workover	226.573	0,18 ⁶⁵	40.783

Tabel 135 Uitstroomfrequenties (50 percentiel) voor LOC scenario's (gas en olieputten tezamen)

	Totaal (freq. per act.)	Blowout (freq. per act.)	Horizontaal lek (freq. per act.)	Verticaal lek (freq. per act.)
Completion	$3,4 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
Wireline	$2,0 \times 10^{-5}$	$6,9 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
Snubbing	$5,9 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Workover	$4,9 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-5}$

De uitstroomfrequenties van Tabel 135 betreffen gemiddelde frequenties waarin nog geen onderscheid is gemaakt naar gas- en olieputten. Volgens SCANDPOWER zijn er in de periode 1986-2005 41 releases geweest waarvan 19 met uitstroming van gas, 12 met olie, 3 met boorvloeistof en 7 met onbekende uitstroming. Omdat er 7 incidenten zijn met onbekende uitstroming, kunnen de frequenties niet direct uit het aantal ongevallen berekend worden, maar is een extra correctiefactor nodig.

Voor de vertaling van gemiddelde frequenties naar specifieke frequenties voor gasputten en voor olieputten is de aanpak van SCANDPOWER gevolgd. Deze maakt gebruik van de vereenvoudiging dat het aantal gasputten gelijk is aan het aantal olieputten en dat de gemiddelde frequentie voor gas- of olieputten (f_{gem}) het gemiddelde is van de frequentie voor gasputten (f_{gas}) en de frequentie voor olieputten (f_{olie}). In werkelijkheid is deze vereenvoudiging niet nodig en had ook een exacte oplossing gebruikt kunnen worden (zie Tabel 136). De verschillen

⁶⁴ Een afrondingsfout. Volgens Tabel 131 is de werkelijke waarde 0,09.

⁶⁵ Een afrondingsfout. Voor 93.860 olieputjaren en 81.168 gasputjaren is de gemiddelde waarde op basis van Tabel 131 gelijk aan 0,17.

tussen de SCANDPOWER benadering en de exacte oplossing zijn zeer beperkt en vormen geen aanleiding om de uitstroomfrequenties te herberekenen.

Tabel 136 Aanpak voor het afleiden van specifieke frequenties voor gas- en olieputten

Parameter	SCANDPOWER benadering	Exacte oplossing
$f_{\text{gas}}/f_{\text{olie}}$	$(19/81.168) / (12/93.860) = 1,8$	idem
f_{gem}	$f_{\text{gem}} = (f_{\text{gas}} + f_{\text{olie}})/2$	$81.168 f_{\text{gas}} + 93.860 f_{\text{olie}} = 175.028 f_{\text{gem}}$
f_{gas}	$f_{\text{gas}} = 1,29 \times f_{\text{gem}}$	$f_{\text{gas}} = 1,32 \times f_{\text{gem}}$
f_{olie}	$f_{\text{olie}} = 0,71 \times f_{\text{gem}}$	$f_{\text{olie}} = 0,72 \times f_{\text{gem}}$

De resulterende uitstroomfrequenties voor gasputten zijn vermeld in Tabel 74 en de resulterende uitstroomfrequenties voor olieputten in

Tabel 76.

Verantwoording van paragraaf 10.4

Voor het onderdeel Leidingen zijn twee onderzoeken uitgevoerd. Het eerste onderzoek betrof een korte analyse van de uitstroomfrequentie van flexibele leidingen. Het tweede betrof uitgebreid onderzoek naar transportleidingen voor aardgas binnen inrichtingen.

Procesleidingen (paragraaf 10.4.3.1)

Voor procesleidingen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3 en de daarbij horende verantwoording.

Flexibele leidingen (paragraaf 10.4.3.2)

In mijnbouwwerken wordt er veel gebruik gemaakt van flexibele leidingen. Het betreft hier het gebruik van bovengrondse leidingen van het type 'unbonded'⁶⁶. Voor dergelijke leidingen zijn in Hoofdstuk 3 nog geen uitstroomfrequenties vastgesteld.

Om informatie te vergaren over de uitstroomfrequenties van flexibele leidingen is een literatuuronderzoek verricht. Uit dit literatuuronderzoek blijkt dat er geen specifieke faalgegevens bekend zijn over flexibele leidingen die op land (onshore) worden gebruikt. Er zijn wel faalgegevens bekend over flexibele leidingen (ook van het bovengenoemde type) die in de offshore worden gebruikt. De omstandigheden waaronder de flexibele leidingen in de offshore worden gebruikt (externe druk van zeewater, externe corrosie, erosie, impact temperatuurswisselingen, etc.), zijn over het algemeen veel zwaarder dan het gebruik van dezelfde flexibele leidingen in de onshore. De uitstroomfrequenties van de flexibele leidingen tijdens de 'offshore omstandigheden' geven daarom een conservatieve benadering voor het inschatten van de uitstroomfrequenties van dezelfde flexibele leidingen die in onshore worden gebruikt.

In Tabel 2 van [61] worden specifieke faalgegevens weergegeven voor flexibele en stalen leidingen met onderscheid naar transportleidingen ('pipelines', Tabel 137) en procesleidingen ('piping', Tabel 138). De gemiddelde uitstroomfrequentie voor flexibele transportleidingen komt uit op $2,15 \times 10^{-5}$ per jaar en voor stalen transportleidingen $4,15 \times 10^{-6}$ per jaar. De frequentie voor flexibele transportleidingen is dus een factor 5,2 hoger dan die voor stalen transportleidingen. Voor procesleidingen zijn de uitstroomfrequenties respectievelijk $3,51 \times 10^{-4}$ per jaar (flexibele procesleidingen) en $9,84 \times 10^{-5}$ per jaar (stalen procesleidingen). Het verschil is een factor 3,57. Geconcludeerd wordt dat de flexibele leidingen een uitstroomfrequentie hebben die ongeveer een factor 5 hoger is dan de stalen leidingen.

Tabel 137 Offshore faaldata voor flexibele en stalen transportleidingen (bron: [61])

	Flexibele leidingen			Stalen leidingen		
Diameter (D)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
D ≤ 4"	107.676	3	$2,79 \times 10^{-5}$	253.976	5	$1,97 \times 10^{-5}$
4" < D ≤ 8"	142.153	1	$7,03 \times 10^{-6}$	955.716	3	$3,14 \times 10^{-6}$

⁶⁶ Er zijn twee typen flexibele leidingen te onderscheiden: 'bonded' en 'unbonded'. Een gedetailleerde beschrijving van beide typen en de verschillen is terug te vinden in de 'Recommended practice for flexible pipe' (ANSI/API 17B, versie juli 2008).

8" < D ≤ 12"	16.206	0		346.172	1	$2,89 \times 10^{-6}$
12" < D ≤ 16"	3.250	2	$6,15 \times 10^{-4}$	214.664	0	
D > 16"	10.375	0		639.147	1	$1,56 \times 10^{-6}$
Totaal	279.660	6	$2,15 \times 10^{-5}$	2.409.675	10	$4,15 \times 10^{-6}$

Tabel 138 Offshore faaldata voor flexibele en stalen procesleidingen (bron: [61])

	Flexibele leidingen			Stalen leidingen		
Diameter (D)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
D ≤ 3"	34.517	30	$8,69 \times 10^{-4}$	1.004.405	186	$1,85 \times 10^{-4}$
3" < D ≤ 11"	72.675	10	$1,38 \times 10^{-4}$	1.671.519	98	$5,86 \times 10^{-5}$
D > 11"	6.725	0		474.549	26	$5,48 \times 10^{-5}$
Totaal	113.917	40	$3,51 \times 10^{-4}$	3.150.473	310	$9,84 \times 10^{-5}$

Omdat de belasting van offshore leidingen verschilt van die van onshore leidingen is besloten om de uitstroomfrequenties van Tabel 137 en Tabel 138 niet te gebruiken voor flexibele onshore leidingen. In plaats daarvan is ervoor gekozen om voor flexibele onshore procesleidingen dezelfde indeling en uitstroombesluitingen te gebruiken als voor vaste onshore procesleidingen (Tabel 27) en de uitstroomfrequenties met een factor 5 te verhogen. Het resultaat is weergegeven in Tabel 139.

Tabel 139 Resultierende uitstroomfrequenties voor flexibele leidingen

	Uitstroomfrequentie voor breuk van de leiding (per meter per jaar)	Uitstroomfrequentie voor lek van de leiding (per meter per jaar)
Nominale diameter < 75 mm	$5,0 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-5}$
75 mm ≤ nominale diameter ≤ 150 mm	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Nominale diameter > 150 mm	$5,0 \times 10^{-7}$	$2,5 \times 10^{-6}$

In Tabel 139 zijn de uitstroomfrequenties voor het scenario lek een factor vijf hoger dan de uitstroomfrequenties voor het scenario breuk. De data van [61] zijn gebruikt om na te gaan of deze verdeling ook voor flexibele leidingen gebruikt mag worden. Uit de analyse (zie Tabel 140) blijkt de verdeling 5/6 voor lek en 1/6 voor breuk conservatief is.

Tabel 140 Geconstateerde gatgrootten bij het falen van flexibele leidingen (bron: [61])

		Gatgrootte: equivalente diameter in mm						
		<10	10-25	25-50	50-75	75-100	>100	Onb.
Transportleiding	$d \leq 4"$	2	0	1	0	0	0	0
	$4" < d \leq 8"$	0	0	0	0	0	1	0
	$8" < d \leq 12"$	0	0	0	0	0	0	0
	$12" < d \leq 16"$	0	0	0	0	1	1	0
	$d > 16"$	0	0	0	0	0	0	0
Procesleiding	$d \leq 3"$	13	9	4	3	0	1	0
	$3" < d \leq 11"$	6	2	1	0	0	0	0
	$d > 11"$	0	0	0	0	0	0	0
Totaal		21	11	6	3	1	3	0
Percentage		47%	24%	13%	7%	2%	7%	0%
Cumulatief %		100%	53%	29%	16%	9%	7%	0%

Hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3)

Voor hogedruk gastransportleidingen zijn de mogelijke uitstroombesnoeiingen en -frequenties in 2011 onderzocht. De bevindingen zijn gerapporteerd in [56] en samengevat in Tabel 141. In [56] wordt voorgesteld om de uitstroombesnoeiing voor breuk of lek van een hogedruk gastransportleiding binnen de inrichting af te leiden van statistiek voor Europese hogedruk gastransportleidingen buiten de inrichting. Voor flenzen kan de statistiek afkomstig van Nederlandse onshore mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen gebruikt worden.

Tabel 141 Resultierende uitstroombesnoeiingen voor hogedruk gastransportleidingen

Scenario	Aantal meterjaren ervaring	Aantal ongevallen	50 percentielwaarde
Breuk van de leiding	$3,15 \times 10^9$ ⁶⁷	17 ⁶⁷	$5,6 \times 10^{-9}$
Lek van de leiding	$3,15 \times 10^9$ ⁶⁷	63 ⁶⁷	$2,0 \times 10^{-8}$
Flenslek	1.802.355	1	$9,3 \times 10^{-7}$

Het falen van een leiding door 'external impact' is nog niet meegenomen in de standaard uitstroombesnoeiingen. Het risico van bijvoorbeeld voertuigbewegingen en hijswerkzaamheden moest afzonderlijk in kaart worden gebracht. In paragraaf 10.4 zijn al voorwaarden opgenomen waarmee de faaloorzaak 'external impact' kan worden uitgesloten. Als de leidingen hier niet aan voldoen, dan moet het risico van voertuigbewegingen en hijswerkzaamheden specifiek beschouwd worden.

De te gebruiken diameter voor de flenslekkage is op het eerste gezicht onrealistisch groot. Uit het onderzoek naar transportleidingen binnen inrichtingen [56] is naar voren gekomen dat de meeste flenslekkages een equivalente diameter hebben van 10 mm of minder. Deze lekkages worden niet relevant geacht voor externe veiligheid en zijn niet meegenomen bij het bepalen van de uitstroombesnoeiing voor (EV-relevante) flenslekkages. Deze uitstroombesnoeiing is afgeleid van één ongeval waarbij de equivalente diameter groter was dan 25 mm. Zie [56].

⁶⁷ Data afkomstig van Europese hogedrukgastransportleidingen *buiten* de inrichtingen.

Verantwoording van paragraaf 0 Separatoren

Binnen de mijnbouwindustrie worden verschillende typen separatoren gebruikt.

Deze zijn omschreven in Tabel 142.

Tabel 142 Typen separatoren inclusief omschrijving

Type separator	Omschrijving
Vloeistofvanger	Type separator waarin vloeibare componenten in een productstroom (water en/of condensaat) worden verwijderd door ze neer te slaan in een vat. De scheiding vindt plaats door gebruik te maken van inertie en zwaartekracht. In sommige gevallen wordt de scheiding bevorderd door internals zoals roosters van schoepen en vinnen. Deze internals dienen enkel als mistvangers. In tegenstelling tot slokkenvangers is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost.
Slokkenvanger	Type separator waarin grote 'slokken' vloeistof uit een gasstroom verwijderd worden. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Er wordt onderscheid gemaakt naar 'vessel type' en 'finger type' slokkenvangers.
Gaswasser (ook wel scrubber) inclusief adsorber	Type separator waarin componenten uit een productstroom verwijderd worden door de productstroom door een medium te leiden. Het medium kan gasvormig, vloeibaar of vast zijn en de te verwijderen componenten kunnen daarin oplossen of adsorberen of daarmee reageren. Ook deluge-systemen en adsorbers vallen onder de categorie gaswassers.
Filterseparator ('eindschubber')	Type separator waarin een restverontreiniging uit een nagenoeg schone gasstroom wordt gehaald door het gas door een mechanisch obstakel (bv. filterdoek, metalen filter) te leiden.
Centrifugaalseparator ('eindschubber')	Type separator waarin vloeibare en/of vaste componenten uit een gasstroom worden gehaald door de productstroom door een stationaire spiraal (cycloon) of elleboog te sturen waarbij de zwaardere deeltjes (vloeibaar of vast) naar buiten worden geslingerd en worden afgevangen.

De uitstroombesnoeiingen en -frequenties zijn gebaseerd op analogon met installatieonderdelen procesvaten en opslagvaten bij Brzo-bedrijven (Hoofdstuk 3) en hogedruk aardgasleidingen bij mijnbouwwerken. Voor vloeistofvangers, slokkenvangers en gaswassers konden bestaande (tekstuele) aanwijzingen in Hoofdstuk 3 gebruikt worden. Voor filterseparatoren en centrifugaalseparatoren was niet op voorhand duidelijk welk analogon van toepassing was. Voor deze typen is daarom het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [58] gevolgd. In Tabel 143 zijn de resulterende analogons vermeld.

Tabel 143 Gebruikte analogons voor uitstroombesnoeiingen en -frequenties

Type separator	Subtype	Analogon
Vloeistofvanger	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met complexe internals	Procesvat
Slokkenvanger	Finger type (per vinger)	Opslagvat onder druk
	Vessel type	Opslagvat onder druk
Gaswasser	N.v.t.	Procesvat
Filterseparator	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met intrinsiek veilig filter	Default: opslagvat onder druk
Centrifugaalseparator	N.v.t.	Hogedruk aardgasleiding

De keuzes worden verderop per onderdeel toegelicht.

De meeste separatoren bevatten zowel ontvlambare gassen als ontvlambare vloeistoffen. Het scenario 'uitstroming uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm' kan in dat geval betrekking hebben op een lek vanuit de gasfase of een lek vanuit de vloeistoffase van de separator. Voor die situaties is gekozen voor de 'worst case' en dat is het vrijkomen van ongestabiliseerde vloeistof. Deze uitstroming wordt gemodelleerd met de voorbeeldstof n-butaan. In gaswassers zijn de ontvlambare vloeistoffen gebonden aan een (vast of vloeibaar) medium. Daarom wordt voor gaswassers een uitstroming van gas gezien als de 'worst case' situatie.

Vloeistofvervangers (paragraaf 10.5.3.1)

Er worden twee soorten vloeistofvangers onderscheiden: standaard vloeistofvangers en vloeistofvangers met complexe internals.

- Voor standaard vloeistofvangers is het analogon met opslagvaten onder druk gekozen (zie Tabel 15). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "Vaten waarin alleen de hoeveelheid stof verandert, moeten beschouwd worden als opslag (onder druk). Een buffervat in een procesinstallatie kan gezien worden als een voorbeeld hiervan."
- Voor vloeistofvangers met complexe internals is het analogon met procesvaten gekozen (zie Tabel 31). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

In paragraaf 10.5.3.1 worden drie voorbeelden gegeven van complexe 'internals', namelijk 'vane packs', 'swirl decks' en schoepentoeters. Voor andere typen 'internals' moet de opsteller van de QRA motiveren of Tabel 79 (standaard vloeistofvangers) of Tabel 80 (vloeistofvangers met complexe 'internals') van toepassing is.

Slokkenvangers (paragraaf 10.5.3.2)

Er worden twee soorten slokkenvangers onderscheiden: 'finger type' slokkenvangers en 'vessel type' slokkenvangers. Voor beide is het analogon met opslagvaten onder druk gekozen (zie Tabel 15). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "Vaten waarin alleen de hoeveelheid stof verandert, moeten beschouwd worden als opslag (onder druk). Een buffervat in een procesinstallatie kan gezien worden als een voorbeeld hiervan." Voor 'finger type' slokkenvangers gelden de frequenties per vinger.

Gaswassers (inclusief adsorbers) (paragraaf 10.5.3.3)

Voor gaswassers is het analogon met procesvaten gekozen (zie Tabel 31). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

Filterseparatoren (paragraaf 10.5.3.4) en Centrifugaalseparatoren (paragraaf 10.5.3.5)

Voor deze typen is het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [58] gebruikt om te bepalen of de uitstroombesnoeiingen en -frequenties konden worden afgeleid op basis van een analogon. Daarbij zijn drie analogons bekeken: procesvaten bij Brzo-bedrijven (Tabel 31), opslagvaten onder druk bij Brzo-bedrijven (Tabel 15) en hogedruk gastransportleidingen bij

mijnbouwwerken (Tabel 78).

Conform het Protocol is de geschiktheid van de mogelijke analogons getoetst aan de volgende criteria:

- functie
- uitvoering
- onderhoud en inspectie
- procescondities
- intensiteit en belasting
- faaloorzaken.

De geschiktheid van analogons is gewaardeerd met een driepuntsschaal (zie Tabel 144).

Tabel 144 Betekenis en getalsmatig gewicht van de waarderingen

Waardering	Betekenis	Getalswaarde
-	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel weinig of geen gelijkenis met het analogon.	-1
±	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel beperkte gelijkenis met het analogon.	0
+	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel aanzienlijke gelijkenis met het analogon.	+1

Voor het aspect faaloorzaken zijn de foutenbomen uit Bijlage 8 van de PGS 6 [62] gebruikt. Hierin wordt onderscheid gemaakt naar negen verschillende basis faaloorzaken (zie Tabel 145). Voor elk van deze oorzaken is nagegaan in hoeverre ze relevant zijn voor procesvaten, drukvaten en hogedruk aardgasleidingen. Vervolgens is gekeken in hoeverre deze faaloorzaken relevant zijn voor filter- en centrifugaalseparatoren en of deze separatoren dan het meest lijken op procesvaten, drukvaten of hogedruk aardgasleidingen.

Tabel 145 Faaloorzaken volgens PGS 6 en relevantie daarvan voor procesvaten, drukvaten en hogedruk aardgasleidingen

Faaloorzaak	Relevantie voor procesvat	Relevantie voor drukvat	Relevantie voor hogedruk aardgasleiding
Corrosie: – inwendig – uitwendig	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.
Erosie	Eventueel relevant voor processen met vaste deeltjes en turbulentie.	Niet relevant	Niet relevant voor hoge druk aardgasleidingen met weinig vaste deeltjes.
Externe belasting: – storm, sneeuw, ... – overstroming – aardbeving	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.
Externe impact: – botsing met voertuig – vallende voorwerpen	Relevant.	Relevant.	Relevant.
Fout operator:	Zeer relevant:	Beperkt relevant:	Nauwelijks

– overvullen – openen omhulling – sturen naar verkeerde omhulling – monstername	Veel operator gestuurde processen, veel monstername.	Beperkte operator gestuurde flow, nauwelijks monstername.	relevant: Weinig inmenging van operators, geen monstername.
Overdruk / onderdruk: – koeling/verwarming (intern of extern) – chemische reacties – verstopte leidingen – kleppen open/dicht	Zeer relevant, e.g. koeling, verwarming, chemische reacties, frequent aanspreken kleppen.	Relevant: Frequent aanspreken kleppen.	Beperkt relevant: Beperkt aanspreken kleppen.
Hoge/lage temperatuur: – externe brand – exotherme reactie – koudkoken – winters weer – interne koeling/verwarming	Zeer relevante faaloorzaak vanwege mogelijkheden (reacties, inwendige koeling/verwarming) enz.	Vooraf externe brand.	Vooraf externe brand (gastransport zorgt voor koeling).
Trillingen: – wind – mechanisch (proces)	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.
Foute onderdelen of fout bij installatie: – ontwerpfout – materiaalfout – constructiefout – fout bij ingebruikname – fout na onderhoud	Zeer relevant: veel onderhoud en mogelijk wijzigingen in het proces (management of change procedures). Ook materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.	Relevant: drukvaten worden opengemaakt bij (routine)onderhoud, verder weinig procesaanpassing en. Ook materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.	Beperkt relevant: hogedruk leidingen worden zelden opengemaakt. Materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.

Filterseparatoren (paragraaf 10.5.3.4)

De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor filterseparatoren is samengevat in Tabel 146. Voor het aspect faaloorzaken is onderscheid gemaakt naar 'standaard' separatoren en separatoren met een filter dat bij lage druk verschillen over het filter bezwijkt ('intrinsiek veilig filter').

Tabel 146 laat zien dat standaard filterseparatoren de grootste gelijkenis vertonen met drukvaten. Separatoren met een intrinsiek filter vertonen zowel gelijkenissen met drukvaten als met hogedruk aardgasleidingen. De verschillen zijn te klein om een keuze tussen één van beide analogons te rechtvaardigen. Voorzichtigheidshalve worden voor deze separatoren standaard ook de scenario's en frequenties van drukvaten gebruikt. Alleen bij uitzondering worden

de scenario's en frequenties van leidingen gebruikt. Er moet dan minimaal voldaan worden aan de volgende drie eisen:

- Het filter is intrinsiek veilig ontworpen: kleine drukverschillen over het filter (bijvoorbeeld door blokkade van het filter) leiden tot het passief falen van het filter. Het is uitgesloten dat een blokkade van het filter een druktoename in de separator zou kunnen veroorzaken die (zonder additionele actieve systemen) tot het catastrofaal falen van de separator zou kunnen leiden.
- Er zijn maatregelen genomen en geborgd om een LoC bij ingebruikname (ook na onderhoud) te voorkomen.
- Het bevoegd gezag gaat akkoord met het gebruik van de (lagere) uitstroomfrequenties.

Tabel 146 Filterseparatoren: geschiktheid van analogons

Afwegingscriterium	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Functie	-	-	-
Uitvoering	+	+	± (*)
Onderhoud en inspectie	+	+	- (**)
Procescondities	-	+	+
Intensiteit van gebruik en belasting	-	±	+
Faaloorzaken	standaard: - intr. veilig: -	standaard: + intr. veilig: ±	standaard: + intr. veilig: +
Totale score standaard filter	-2	+3	+1 */**
Totale score intrinsiek veilig filter	-2	+2	+1 */**

(*) Tijdens regulier procesgebruiken kunnen appendages gaan zweten, maar grote lekkages worden niet verwacht.

(**) Bij het opnieuw opstarten van een installatie na onderhoud kan een groot lek ontstaan, bijvoorbeeld door een montagefout. Dit faalmechanisme kan weggenomen worden door strenge procedures voor ingebruikname van installaties en zorgvuldige naleving daarvan. In dat geval is een positievere waardering gerechtvaardigd.

Toelichting op de keuzes van Tabel 146:

- **Functie.** De functie van filterseparatoren is het scheiden van componenten in productstromen. Deze functie wijkt af van de functie van alle drie de analogons (proces- en drukvaten) en ook van de functie van leidingen. Het aspect functie is dus niet onderscheidend.
- **Uitvoering.** Qua wanddikte, staalsoort, enz. is geen onderscheid te maken tussen procesvaten, opslagvaten en leidingen. Voor installaties onder hoge druk zijn de eisen uit de richtlijn drukapparatuur vergelijkbaar met die van de NEN 3650. In vergelijking met leidingen hebben filterseparatoren meer appendages.
- **Onderhoud en inspectie.** Proces- en drukvaten worden periodiek opengemaakt voor onderhoud en inspectie. Leidingen worden extern geïnspecteerd en gepigd. De inspectietermijnen zijn 'risk based'. Een filterseparator wordt ook periodiek opengemaakt. Daarom lijkt een analogie met proces- en drukvaten meer geschikt dan de analogie met leidingen.
- **Procescondities.** Qua procescondities (druk, temperatuur, enz.) zijn filterseparatoren robuuster dan procesvaten omdat er geen variatie optreedt in fysisch/chemische omstandigheden. Tussen drukvat en leiding is geen onderscheid te maken.
- **Intensiteit en belasting.** De intensiteit en belasting is bij de filterseparatoren constant en continu. Daarin lijkt de belasting het meest op die van een leiding. In een procesvat kan de intensiteit sterk variëren. Deze

analogie scoort dus negatief.

- **Faaloorzaken.** Voor faaloorzaken is een gedetailleerde analyse gedaan met gebruikmaking van de foutenbomen uit de PGS-6 (Bijlage 8) [62], zie Tabel 145. De analyse wordt hieronder besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 147.

Als volgende stap is nagegaan welke faaloorzaken relevant zijn voor filterseparatoren en of de mate van relevantie het meest lijkt op een procesvat, een drukvat of een hogedruk aardgasleiding. Voor filterseparatoren was het nodig om onderscheid te maken naar twee typen: een type waarbij het filter al bij kleine drukverschillen over het doek passief faalt ('intrinsiek veilig filter') en overige typen ('standaard'). Als het filter tijdig faalt, dan zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename.

- **Corrosie.** Inwendige corrosie hangt af van het medium en niet van het type installatieonderdeel. Uitwendige corrosie hangt af van de omgeving. Tussen de analogons onderling (procesvaten, opslagvaten en hogedruk leidingen) is deze faaloorzaak niet onderscheidend.
- **Erosie.** Inwendige erosie is geen relevante faaloorzaak voor hogedruk aardgasleidingen en in het algemeen ook niet voor drukvaten. Filterseparatoren behandelen grotendeels schone productstromen waarbij de internals eerder aangetast raken dan de omhulling. Ook dit aspect wordt als niet onderscheidend beoordeeld. Uitwendige erosie is geen onderscheidend criterium.
- **Externe belasting.** De invloed van externe belasting is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Externe impact.** De invloed van externe impact is voor alle bovengrondse drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze van de analogons dus niet onderscheidend.
- **Fout operator.** Operatorfout is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. De productstromen op mijnbouwwerken worden slechts beperkt aangestuurd door operators. Het analogon leiding is het meest geschikt, gevolgd door het analogon drukvat. NB Het gaat hier om fouten in het reguliere proces. Fouten tijdens of na onderhoud worden geadresseerd onder 'overige oorzaken'.
- **Overdruk/onderdruk.** Overdruk/onderdruk is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. Voor filterseparatoren kan een (gedeeltelijk) verstopt filter in principe leiden tot een ongewenste druktoename in de installatie. In dat geval wordt de faaloorzaak overdruk relevant geacht en het analogon drukvat het meest passend. Filterseparatoren kunnen ook een 'intrinsiek veilig' filter bevatten dat al bij kleine overdruk passief faalt. In dat geval zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename en is het analogon leiding het meest passend.
- **Hoge/lage temperatuur.** Hoge/lage temperatuur is een bekende faaloorzaak voor procesvaten. voor drukvaten en leidingen is eigenlijk alleen externe brand een mechanisme dat kan leiden tot een temperatuur die buiten de specificaties komt. Daarbij zijn leidingen beter bestand tegen de warmtetoevoer omdat de gasstroom een deel van de warmte onttrekt aan de leiding. In filterseparatoren is ook sprake van een gasstroom en daarom is het analogon leiding het meest geschikt, gevolgd door drukvat.
- **Trillingen.** De invloed van trillingen uit de omgeving is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Foute onderdelen of installatie.** Hiervoor is het vooral relevant hoe vaak een ontwerp gewijzigd wordt en hoe vaak een installatie bij onderhoudswerkzaamheden geopend wordt. De faaloorzaak is zeer relevant voor procesvaten, gewoon relevant voor opslagvaten en beperkt relevant voor hogedruk aardgasleidingen. Filterseparatoren worden periodiek

opengemaakt voor inspectie, en daarom lijkt het analagon met drukvaten het meest passend.

Voor het aspect faaloorzaken wordt voor standaard filterseparatoren ingeschat dat de analogie met drukvaten het sterkst is, maar dat een analogie met een hogedruk aardgasleiding ook (goed) te overwegen is. Voor separatoren met een intrinsiek veilig filter is juist de analogie met leidingen het sterkst en komt de analogie met drukvaten op de tweede plaats. Dit is verwerkt in Tabel 146.

Tabel 147 Geschiktheid van analogons voor filterseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken

Faaloorzaak	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	Standaard: ± Intr. veilig: -	Standaard: + Intr. veilig: -	Standaard: - Intr. veilig: +
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	±	+	±
Totale score standaard filter:	Getal: +2 Waardering: -	Getal: +7 Waardering: +	Getal: +6 Waardering: +
Totale score intrinsiek veilig filter:	Getal: +1 Waardering: -	Getal: +5 Waardering: ±	Getal: +8 Waardering: +

Centrifugaalseparatoren (paragraaf 10.5.3.5)

De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren is samengevat in Tabel 148. Uit Tabel 148 blijkt dat het analagon hogedruk aardgasleiding voor dit type separatoren het meest geschikt is.

Tabel 148 Centrifugaalseparatoren: geschiktheid van analogons

Afwegingscriterium	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Functie	-	-	-
Uitvoering	+	+	±
Onderhoud en inspectie	-	-	+
Procescondities	-	+	+
Intensiteit van gebruik en belasting	-	±	+
Faaloorzaken	-	±	+
Totale score:	-4	0	+3

Toelichting op de keuzes van Tabel 148:

- **Functie.** De functie van centrifugaalseparatoren is het scheiden van componenten in productstromen. Deze functie wijkt af van de functie van alle drie de analogons (proces- en drukvaten) en ook van de functie van leidingen. Het aspect functie is dus niet onderscheidend.

- **Uitvoering.** Qua wanddikte, staalsoort, enz. is geen onderscheid te maken tussen procesvaten, opslagvaten en leidingen. Voor installaties onder hoge druk zijn de eisen uit de richtlijn drukapparatuur vergelijkbaar met die van de NEN 3650. In vergelijking met leidingen hebben centrifugaalseparatoren meer appendages.
- **Onderhoud en inspectie.** Proces- en drukvaten worden periodiek opengemaakt voor onderhoud en inspectie. Leidingen worden extern geïnspecteerd en gepigd. De inspectietermijnen zijn 'risk based'. Centrifugaalseparatoren zonder filter worden niet opengemaakt voor onderhoud. Voor deze separatoren is het analogon leiding het meest geschikt.
- **Procescondities.** Qua procescondities (druk, temperatuur, enz.) zijn centrifugaalseparatoren robuuster dan procesvaten omdat er geen variatie optreedt in fysisch/chemische omstandigheden. Tussen drukvat en leiding is geen onderscheid te maken.
- **Intensiteit en belasting.** De intensiteit en belasting is bij de centrifugaalseparatoren constant en continu. Daarin lijkt de belasting het meest op die van een leiding. In een procesvat kan de intensiteit sterk variëren. Deze analogie scoort dus negatief.
- **Faaloorzaken.** Voor faaloorzaken is een gedetailleerde analyse gedaan met gebruikmaking van de foutenbomen uit de PGS 6 (Bijlage 8) [62], zie Tabel 145. De analyse wordt hieronder besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 149.

Als volgende stap is nagegaan welke faaloorzaken relevant zijn voor centrifugaalseparatoren en of de mate van relevantie het meest lijkt op een procesvat, een drukvat of een hogedruk aardgasleiding.

- **Corrosie.** Inwendige corrosie hangt af van het medium en niet van het type installatieonderdeel. Uitwendige corrosie hangt af van de omgeving. Tussen de analogons onderling (procesvaten, opslagvaten en hogedruk leidingen) is deze faaloorzaak niet onderscheidend.
- **Erosie.** Inwendige erosie is geen relevante faaloorzaak voor hogedruk aardgasleidingen en in het algemeen ook niet voor drukvaten. Centrifugaalseparatoren behandelen grotendeels schone productstromen waarbij de internals eerder aangetast raken dan de omhulling. Ook dit aspect wordt als niet onderscheidend beoordeeld. Uitwendige erosie is geen onderscheidend criterium.
- **Externe belasting.** De invloed van externe belasting is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Externe impact.** De invloed van externe impact is voor alle bovengrondse drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze van de analogons dus niet onderscheidend.
- **Fout operator.** Operatorfout is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. De productstromen op mijnbouwwerken worden slechts beperkt aangestuurd door operators. Het analogon leiding is het meest geschikt, gevolgd door het analogon drukvat. NB Het gaat hier om fouten in het reguliere proces. Fouten tijdens of na onderhoud worden geadresseerd onder 'overige oorzaken'.
- **Overdruk/onderdruk.** Overdruk/onderdruk is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. In centrifugaalseparatoren zal de hoofdstroom niet snel geblokkeerd raken en is het analogon leiding het meest geschikt.
- **Hoge/lage temperatuur.** Hoge/lage temperatuur is een bekende faaloorzaak voor procesvaten. voor drukvaten en leidingen is eigenlijk alleen externe brand een mechanisme dat kan leiden tot een temperatuur die buiten de specificaties komt. Daarbij zijn leidingen beter bestand tegen de warmtetoevoer omdat de gasstroom een deel van de warmte onttrekt aan de leiding. In centrifugaalseparatoren is ook sprake van een gasstroom en

- daarom is het analogon leiding het meest geschikt, gevolgd door drukvat.
- **Trillingen.** De invloed van trillingen uit de omgeving is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
 - **Foute onderdelen of installatie.** Hiervoor is het vooral relevant hoe vaak een ontwerp gewijzigd wordt en hoe vaak een installatie bij onderhoudswerkzaamheden geopend wordt. De faaloorzaak is zeer relevant voor procesvaten, gewoon relevant voor opslagvaten en beperkt relevant voor hogedruk aardgasleidingen. Centrifugaalseparatoren worden niet opengemaakt en lijken daardoor meer op leidingen.

Tabel 149 Geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken

Faaloorzaak	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	-	±	+
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	-	-	+
Totale score:	getal: 0 waardering: -	getal: +4 waardering: ±	getal: +9 waardering: +

Voor centrifugaalseparatoren is de analogie met hogedruk leidingen dus met meest overtuigend voor het aspect faaloorzaken. Dit is verwerkt in Tabel 148.

Verantwoording van paragraaf 0

Voor hogedruk pompen en compressoren is uitgebreid onderzoek gedaan naar de uitstroomscenario's en bijbehorende frequenties. De bevindingen van het onderzoek zijn gerapporteerd in [63].

Voor verdringerpompen (Tabel 86) en centrifugaalpompen (Tabel 87) werden in het onderzoek geen lekken of breuken gevonden. Met de gehanteerde statistische aanpak is de kans op een breuk dan gelijk aan de totale kans op een uitstroming (breuk of lek), en hoeft het scenario lek niet te worden meegenomen.

Verantwoording van paragraaf 10.7

Er is geen specifieke afleiding gedaan van faalmodi en uitstroomfrequenties van koelerbanken. De relevantie van dit installatieonderdeel werd beperkt geacht. Het effectgebied dat samenhangt met het falen van dergelijke warmtewisselaars zal in de meeste gevallen klein zal zijn.

In paragraaf 3.12 zijn scenario's opgenomen van andere typen warmtewisselaars. Wat betreft het ontwerp en de uitvoering verschillen de koelerbanken aanzienlijk van de pijpwarmtewisselaars die in paragraaf 3.12 worden genoemd.

Het instantaan falen van een koelerbank en een grootschalige continue

uitstroming worden niet waarschijnlijk geacht. Meer waarschijnlijk is het dat één of enkele pijpleidingen lekken of breken. Dit is in overeenstemming met de scenario's voor pijpwarmtewisselaars van Tabel 37 en Tabel 39. De kans op breuk van tien pijpen tegelijkertijd is volgens Tabel 39 een factor tien hoger dan volgens Tabel 37. Voor de koelerbanken is voorzichtigheidshalve aangesloten bij de uitstroomscenario's en -frequenties uit Tabel 39. Het scenario 'lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van een pijp' wordt niet relevant geacht voor de ligging van de PR 10^{-6} contour en het groepsrisico en is daarom weggelaten in Tabel 90.

De resulterende uitstroomscenario's en -frequenties (Tabel 92) zijn vergeleken met de faalkansen uit het Handboek Uitstroomfrequenties 2009 van de Vlaamse overheid [64]. De Vlaamse overheid hanteert voor pijpwarmtewisselaars een kans van $6,0 \times 10^{-3}$ per jaar op een klein lek (lekgrootte kleiner dan 25 mm), een kans van $3,9 \times 10^{-3}$ per jaar op een middelgroot lek (lekgrootte tussen 25 en 50 mm), een kans van $1,6 \times 10^{-5}$ per jaar op een groot lek (lekgrootte tussen 50 en 150 mm) en een kans van $1,3 \times 10^{-5}$ per jaar op een breuk van een (enkele) pijpleiding. In vergelijking met deze data, zijn de faalkansen van Tabel 90 conservatief.

Verantwoording van paragraaf 10.8 Effectmodellering

Uitstroomrichting (paragraaf 10.8.1)

Voor Brzo-inrichtingen is de uitstroomrichting voor alle ondergrondse leidingen verticaal en voor verdiept aangelegde leidingen is de uitstroomrichting niet beschreven. In het algemeen zijn bij Brzo-inrichtingen nauwelijks ondergrondse leidingen aanwezig. Bij mijnbouwwerken zijn ondergrondse leidingen niet ongebruikelijk en daarom is aandacht besteed aan de vraag wanneer er wel/niet een verticale uitstromingsrichting gebruikt mag worden. De uitstromingsrichting is immers van grote invloed op de berekende risico's.

Voor de diepteligging is aangesloten bij de rekenmethode voor transportleidingen [65]. De minimale diepte (40 cm) betreft de bovengrens voor de validatie van de raakkans bij graafwerkzaamheden.

Afwijkende effectmodellering (paragraaf 10.8.2)

De verantwoording wordt hieronder per deelparagraaf besproken.

Maatwerk voor snelsluitende kleppen (paragraaf 10.8.2.1)

Het aantal installaties met snelsluitende kleppen was ten tijde van het uitbrengen van deze rekenmethode beperkt. Daarom is besloten om niet te onderzoeken hoe de invloed van deze kleppen op generieke wijze berekend kan worden. In plaats daarvan is maatwerk voorgeschreven.

Vervolgeffecten (paragraaf 10.8.2.2)

In paragraaf 3.4 van Module B zijn gebeurtenissenbomen opgenomen voor het vrijkomen van ontvlambare gassen, tot vloeistof verdichte gassen en vloeistoffen. Deze gebeurtenissenbomen zijn ooit ontwikkeld voor 'standaard' chemische bedrijven (Brzo-inrichtingen). In 2012 is onderzocht of deze gebeurtenissenbomen ook geschikt zijn voor mijnbouwbedrijven. Hierbij speelden de volgende afwegingen een rol:

- Voor mijnbouwwerken is specifiek gevraagd hoe de invloed van snelsluitende kleppen in de QRA verwerkt moet worden. Bij de beantwoording van deze vraag bleek dat de invloed van snelsluitende kleppen niet realistisch kon worden meegenomen zonder de effect-modellering te herzien.
- Bij mijnbouwwerken kan een deel van de leidingen ondergronds liggen. Hoewel het niet expliciet vermeld wordt, zijn de gebeurtenissenbomen van

Module B vooral opgesteld voor bovengrondse scenario's met een horizontale uitstroomrichting.

- Bij mijnbouwwerken bevatten veel installaties gas onder hoge druk. In geval van een groot lek zal de druk in het systeem snel afnemen en het uitstroomdebiet dus ook. Voor Brzo-inrichtingen is de afname van het uitstroomdebiet met de tijd meestal minder groot.
- In de afgelopen jaren is de effect- en risicomodellering voor (aardgas)transportleidingen uitvoerig onderzocht. Met de actualisatie van de gebeurtenissenbomen voor inrichtingen wordt de coherentie met de methodiek voor transportleidingen vergroot.

Bij de actualisatie van de gebeurtenissenbomen is gebruik gemaakt van bestaande modellen in SAFETI-NL. Voor het gebruik van nieuwe modellen zijn transparantie en verifieerbaarheid belangrijke afwegingscriteria. Als gevolg daarvan zijn er geen nieuwe (effect)modellen geïntroduceerd.

De nieuwe gebeurtenissenboom is opgesteld voor hogedruk systemen. Als criterium wordt een minimale operationele druk van 16 bar (overdruk) gebruikt. Dit criterium wordt ook gebruikt om hogedruk aardgasleidingen ([56]) en hogedruk compressoren (63) te onderscheiden van gewone leidingen en compressoren. Het is niet onderzocht of de gebeurtenissenboom ook geschikt is voor systemen die bij een lagere druk bedreven worden.

Een gevolg van het voorstel is dat ontsteking niet altijd plaatsvindt bij maximale wolkomvang. Daarmee wordt het beginsel van vrije-veldontsteking, dat voor Brzo-bedrijven is voorgeschreven, deels verlaten.

Kans op ontsteking (paragraaf 10.8.2.3)

De kans op directe ontsteking is gebaseerd op Tabel 7 van Module B. Voor aardgas zijn de ontstekingskansen van laag-reactieve gassen gebruikt en voor mengsel de ontstekingskansen van hoog-reactieve gassen.

Als de LFL contour deels buiten de inrichting ligt, dan is er altijd vertraagde ontsteking. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan is er alleen vertraagde ontsteking als er ontstekingsbronnen gemodelleerd zijn binnen de wolk.

Voor verticale releases is de omvang van de ontvlambare wolk op 1 m hoogte zeer beperkt. Dit leidt ertoe dat er geen vertraagde ontsteking wordt meegenomen in de berekening. Naar de mening van RIVM leidt dit tot een onderschatting van de risico's. Uit de rekenmethode voor gastransportleidingen en het achterliggende onderzoek, blijkt dat grote lekkages in transportleidingen ook na enkele minuten nog spontaan kunnen ontsteken. Het interessante aan deze dataset is dat het scenario's betreft met een verticale uitstroomrichting. Een rapport van het Energy Institute [66] richt zich niet specifiek op verticale releases, maar laat wel zien dat het inachtnemen van een kans op vertraagde ontsteking gemeengoed is.

Het ministerie van IenM en het SodM hebben besloten om de (nieuwe) inzichten ten aanzien van de kans op vertraagde ontsteking voor verticale releases in de huidige versie van de rekenmethode niet mee te nemen. Ze zijn voornemens om binnen vijf jaar te bezien of de nieuwe inzichten alsnog in de rekenmethode kunnen worden opgenomen.

Aantal jets (paragraaf 10.8.2.4)

Het aantal jets en de uitgangspunten voor het berekenen van toelevering zijn samengevat in Tabel 150.

Tabel 150 Samenvatting modellering jets

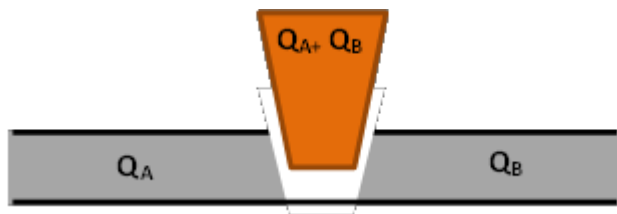
Scenario	Modellering	Aanpak
Falen bovengrondse installatie of breuk bovengrondse leiding	Twee onafhankelijke jets	"2×1"
Falen ondergrondse installatie of breuk ondergrondse leiding	Eén jet met twee onafhankelijke bijdragen	"1×2"
Blowout van de put tijdens productie of injectie	Eén jet met twee afhankelijke bijdragen	"1×1½"
Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden	Eén jet met één bijdrage	"1×1"

Bij het falen van een bovengrondse installatie of breuk van een bovengrondse leidingen ontstaan twee jets. De ene jet wordt gevoed vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en de andere vanuit het stroomafwaartse deel (zie Figuur 34). Verder wordt aangenomen dat de twee jets geen interactie hebben. Dit is voor ontvlambare stoffen een conservatieve aanname. Beide jets worden als afzonderlijk (onafhankelijk) scenario ingevoerd: "2×1". Voor beide jets is de uitstroomfrequentie gelijk aan de uitstroomfrequentie. Ook worden beide jets in SAFETI-NL via de windroos over alle mogelijke windrichtingen gedraaid. Deze aanpak geeft een overschatting van het risico dichtbij de bron.



Figuur 34 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een bovengrondse leiding

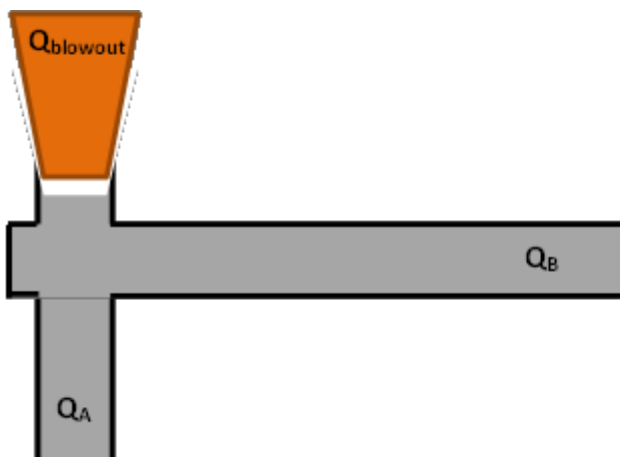
Bij het falen van een ondergrondse (of verdiept aangelegde) installatie of breuk van een ondergrondse leiding ontstaat een een krater waarbij de jets vanuit de stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen elkaar zullen beïnvloeden. Deze twee bijdragen worden opgeteld en gemodelleerd als verticale release (zie Figuur 35). In SAFETI-NL worden de twee bijdragen (Q_A en Q_B) los van elkaar berekend als ware het twee aparte gaten, en daarna opgeteld: "1×2".



Figuur 35 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een ondergrondse leiding

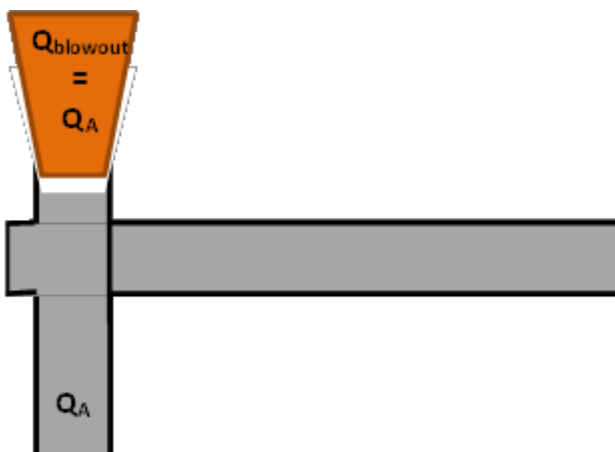
Voor een blowout vanuit een put (putmond) tijdens productie of injectie geldt een afwijkende modellering (zie paragraaf 10.8.3). In dit geval is er een verticale release met toestroming van twee zijden ('putzijde' en 'landzijde'). De

uitstroming vindt plaats vanuit een (één) gat ter grootte van de tubing van de put en met toestroming vanuit de put en vanaf de inrichting (zie *Tabel 36*). De toestroming van beide zijden beïnvloedt elkaar en wordt op basis van maatwerk bepaald. Als Q_A de verwachte onafhankelijke uitstroming is vanaf de putzijde (alsof de 'wing valve' gesloten is) en Q_B de onafhankelijke uitstroming vanaf landzijde (alsof de 'master gate valves' gesloten zijn), dan geldt: $Q_{\text{blowout}} < Q_A + Q_B$ (vandaar "1×1,5"). Hierin verschilt de modellering van de uitstroming vanuit een ondergrondse leiding waarvoor geldt: $Q_{\text{release}} = Q_A + Q_B$ (oftewel "1×2").



Figuur 36 Modellering van de blowout vanuit een put tijdens productie of injectie

Tijdens werkzaamheden aan de put is de 'wing valve' gesloten. Een blowout tijdens werkzaamheden aan de put wordt daarom alleen gevoed vanuit de put: $Q_{\text{blowout}} = Q_A$ (vandaar "1×1"), zie *Figuur 37*.



Figuur 37 Modellering van de blowout vanuit een put tijdens onderhoudswerkzaamheden

Invloed van inbloksystemen (paragraaf 10.8.2.5)

Inbloksystemen zorgen voor een reductie van het uitstroomdebiet vanaf het moment dat ze in werking treden. Er is uitgebreid gediscussieerd hoe het effect van inbloksystemen in de QRA kon worden opgenomen. De uiteindelijke oplossing is om de release in twee segmenten op te splitsen, waarbij het eerste segment wordt gekoppeld aan directe ontsteking en het tweede segment aan vertraagde ontsteking.

Voor het eerste segment wordt een tijdsmiddeling over de eerste 20 s gebruikt. De vervolgeffecten hangen samen met de uitstroomduur. Aangenomen wordt dat een stabiele fakkel kan ontstaan als de uitstroomduur groter of gelijk is aan 20 s. Voor kortere uitstroming is maatwerk nodig, waarvoor het initiatief bij de opsteller van de QRA ligt. Het criterium van 20 s is gebaseerd op de volgende afwegingen:

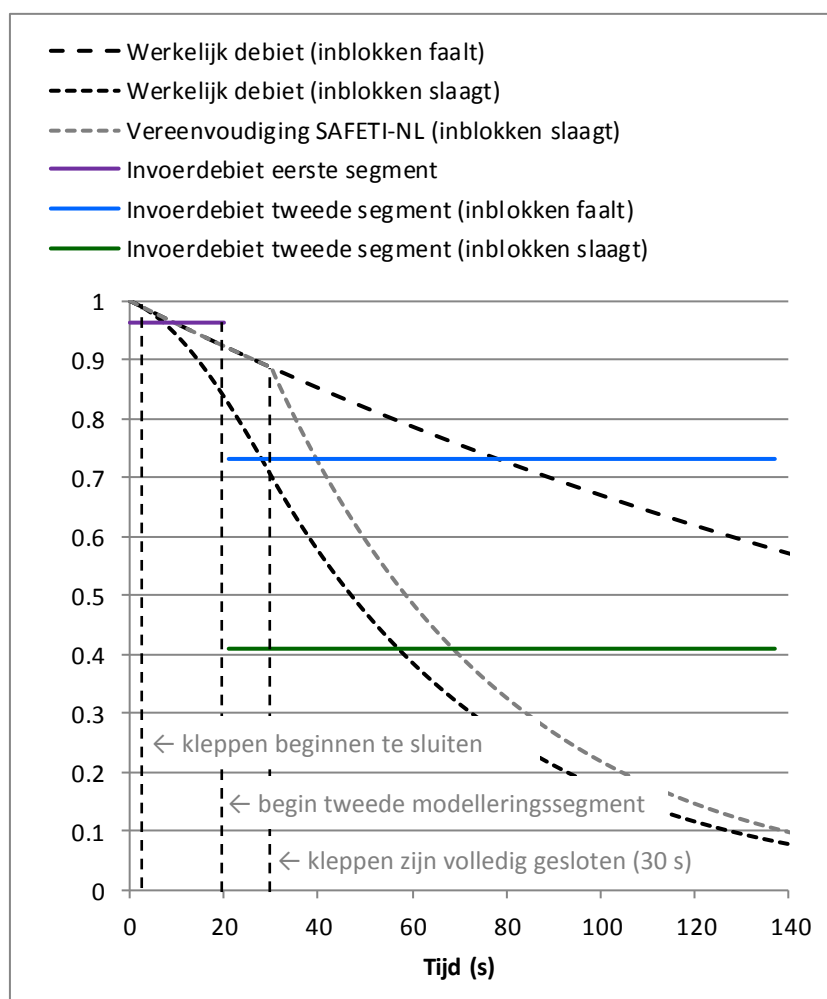
- Bij aanvang van een uitstroming ontstaat niet direct een stabiele jet. De ontwikkelingstijd voor een stabiele jet hangt af van de diameter van het lek. Voor grote diameters kan de ontwikkelingstijd volgens inschatting van RIVM oplopen tot circa 10 tot 20 s.
- Voor de berekening van effecten wordt het fakkelbrandmodel gebruikt. In dit model wordt uitgegaan van een blootstellingstijd van 20 s.
- Het criterium sluit aan bij paragraaf 3.3.7 van module B en ook bij de rekenmethode voor gastransportleidingen buiten de inrichting ([65]).

Voor vertraagde ontsteking worden de navolgende twee minuten gebruikt, dus 20-140 s. Deze keuze is ingegeven door de rekenmethode voor gastransportleidingen. Voor deze leidingen wordt het tijdsegment 120-140 s gebruikt voor vertraagde ontsteking. Echter, in de methodiek voor transportleidingen wordt voor vertraagde ontsteking, ten opzichte van directe ontsteking, een lage ontstekingskans toebedeeld en dat is in paragraaf 3.3.7 niet het geval. Daarom is besloten om het interval voor vertraagde ontsteking voor mijnbouwwerken te vergroten van 120-140 s naar 20-140 s. Bijkomend voordeel is dat de twee segmenten direct op elkaar aansluiten.

De aanpak maakt het mogelijk om het effect van inbloksystemen mee te nemen in de risicoberekening. Voor reguliere systemen (zonder snelsluitende kleppen) is het effect gedurende de eerste 20 s van de release, vanwege de reactietijd van het systeem en de sluittijd van de kleppen nog beperkt. Daarom wordt de invloed van inbloksystemen niet meegenomen voor het eerste releasesegment. Bijkomend voordeel is dat de berekening eenvoudiger wordt en dus beter reproduceerbaar. Voor het tweede releasesegment is de werking van het inbloksysteem wel significant en wordt daarom ook meegenomen (indien van toepassing).

In Figuur 38 is een voorbeeld gegeven van de werkelijke invloed van het inbloksysteem en van de manier waarop het in de modellering wordt meegenomen.

- De zwarte doorgetrokken lijnen geven het werkelijke (verwachte) debiet aan voor de situatie dat het inblokken slaagt (onderste lijn) of faalt (bovenste lijn). Als het inblokken slaagt dan beginnen de kleppen al na 2 s te sluiten. Daarna duurt het voor de 28 inch leiding naar schatting nog 28 s voordat de kleppen volledig gesloten zijn.
- De grijze gestippelde lijn geeft het debiet weer zoals het door SAFETI-NL berekend wordt voor de situatie dat het inblokken slaagt. Daar waar het sluiten van kleppen in werkelijkheid enige tijd in beslag neemt, wordt het in SAFETI-NL gemodelleerd als een instantane gebeurtenis. Deze gebeurtenis vindt plaats na 30 s.
- De drie horizontale doorgetrokken lijnen geven de debieten weer die worden gebruikt voor de effectmodellering. De paarse lijn is het gemiddelde uitstroombdebit over de eerste 20 s. De eventuele werking van het inbloksysteem speelt voor dit tijdsegment nog geen rol. De blauwe lijn geeft het debiet weer voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken faalt, terwijl de groene lijn het debiet weergeeft voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken slaagt.



Figuur 38 Voorbeeld van de doorwerking van (reguliere) kleppen in een 28" leiding

Blowout en lekkage van de put (paragraaf 10.8.3)

De uitgangspunten zijn opgesteld in overleg met de experts vanuit de branche. Daarbij is rekening gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van SAFETI-NL. In het bijzonder betreft de invoer voor het Long Pipeline model in SAFETI-NL, waaronder de druk aan het begin (!) van de leiding en de 'pumped inflow', de stationaire situatie in de leiding voorafgaand aan de release. Daarna wordt de uitstroming vanuit de putmond dynamisch berekend op basis van de begincondities bij de putmond, die afhangen van de druk aan het begin van de leiding en de doorstroming ('pumped inflow'), en de gatgrootte. Het model gaat er vanuit dat de 'pumped inflow' tijdens de release gelijk blijft. In werkelijkheid kan de toevoer van vanuit het reservoir naar de leiding (c.q. put) toenemen als de druk in de leiding afneemt.

Voor de blowout tijdens productie wordt uitgegaan van de 'flowing bottom hole pressure' onderin de put en is de toevoer vanuit het reservoir gelijk aan het productiedebiet. Tevens wordt terugstroming vanaf de inrichting meegenomen. Samen geeft dit naar verwachting voldoende realistische uitkomsten voor de totale uitstroming vanuit de putmond.

Voor de blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden wordt uitgegaan van de 'closed-in tubing head pressure' voorafgaand aan de release en wordt de toevoer vanuit het reservoir niet meegenomen als 'pumped inflow'. Met die

uitgangspunten zal het uitstroomdebiet na verloop van tijd convergeren naar nul. In werkelijkheid is er wel toevoer vanuit het reservoir en zal het debiet convergeren naar de 'tubing blowout potential' (TBOP) als er sprake is van een tubing blowout, en naar de 'casing blowout potential' (CBOP) als er sprake is van een casing blowout. Om onderschatting van de effecten te voorkomen, is de extra randvoorwaarde opgenomen dat het gemodelleerde debiet niet kleiner mag zijn dan de TBOP (tubing blowout) of de CBOP (casing blowout).

Invoer van scenario's in SAFETI-NL (paragraaf 10.9)

De invoer van scenario's wordt alleen besproken voor het instantaan falen van een installatie-onderdeel of breuk van een leiding (paragraaf 10.9.3) en daarmee samenhangend de vereenvoudigde invoermethode (paragraaf 0). Voor de overige uitstroombesonderingen is de invoer in SAFETI-NL niet bijzonder.

Leidingbreuk en instantaan falen (paragraaf 10.9.3)

Volgens de aanpak van Module B moet per scenario (i) de inhoud van het systeem, (ii) de nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en (iii) de nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting worden bepaald. Voor mijnbouwwerken moet op basis van paragraaf 10.8.2.2 gekeken worden naar 'directe ontsteking' en 'vertraagde ontsteking'. Dit betekent dat voor twee tijdstippen drie bijdragen berekend moeten worden en vervolgens moet worden nagegaan hoe het geheel op een geschikte manier in SAFETI-NL kan worden ingevoerd. De verwachting was dat er zonder verdere 'guidance' geen eenduidige en verifieerbare resultaten zouden ontstaan. De vereenvoudigde invoermethode van paragraaf 0 moet deze leemte invullen.

De vereenvoudigde invoermethode is relatief eenvoudig, zowel in beschrijving als in uitvoering. Het Long Pipeline model is geschikt voor zowel eenzijdige als tweezijdige uitstromingen. Hierdoor wordt de berekening van de nalevering (die afhankelijk is van de werking van kleppen) een stuk eenvoudiger en overzichtelijker. Met het voorstel wordt het uitstroomdebiet hoofdzakelijk conservatief berekend. Om te voorkomen dat er knelpunten ontstaan die niet realistisch zijn, is de mogelijkheid om maatwerk te leveren opengelaten.

In de vereenvoudigde invoermethode is de uitstroming gebaseerd op de eigenschappen van de toevoer- en afvoersystemen. Dit kan tot een onderschatting van het risico leiden als de druk in deze systemen aanmerkelijk lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel. Voor deze situatie mag de vereenvoudigde invoermethode dan ook niet gebruikt worden.

Vereenvoudigde invoermethode (paragraaf 0)

Voor de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' wordt rekening gehouden met de afname van het uitstroomdebiet in de tijd. De afname in de tijd hangt af van het uitstroombesondering (gatgrootte), de specifieke layout van de inrichting en het eventuele sluiten van inblosksystemen.

De modellen in SAFETI-NL zijn niet geschikt om het tijdafhankelijke uitstroomdebiet te berekenen volledig rekening houdend met de genoemde specifieke ontwerpdetails. In de periode voorafgaand aan de invoering van het rekenvoorschrift voor mijnbouwwerken zijn ook geen andere rekenpakketten gevonden waarmee het uitstroomdebiet op een passende, transparante en reproduceerbare manier berekend kon worden. Daarom is gezocht naar een vereenvoudigde invoermethode in SAFETI-NL die recht doet aan de dynamiek van uitstroming en tegelijkertijd transparant en reproduceerbaar is. De gepresenteerde 'vereenvoudigde invoermethode' is daarvan de uitkomst. Deze

invoermethode is relatief eenvoudig en daardoor voor de opsteller van de QRA eenvoudiger toe te passen en voor bevoegd gezag beter op juistheid te beoordelen. Verder zal de vereenvoudigde invoermethode overwegend conservatieve uitkomsten geven omdat wordt uitgegaan van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande leidingen. In de praktijk zal de doorstroming in geval van een (groot) ongeval binnen de inrichting veelal belemmerd worden door tussenleidingen met kleinere diameters dan de inkomende en uitgaande inleidingen. In uitzonderlijke gevallen geeft de vereenvoudigde invoermethode uitkomsten die niet conservatief zijn. Dat is geaccepteerd omdat de voordelen van de methode (eenvoud, reproduceerbaarheid en verifieerbaarheid) groot zijn.

De vereenvoudigde invoermethode gaat uit van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande leidingen en daarmee wordt de feitelijke layout van de inrichting een 'black box'. Alleen eventueel aanwezige insluitsystemen doen nog ter zake. Compressoren en reduceerkleppen binnen de inrichting zijn in de vereenvoudigde methode niet langer relevant voor de rekenuitkomsten.

Een interessante situatie is een verbinding met een doorgaande leiding (paragraaf 10.9.4.3). In dat geval vindt toevoer plaats vanaf twee leidingdelen buiten de inrichting. Een voor de hand liggende aanpak is om voor deze situatie de breuklocatie halverwege de leiding te modelleren (in plaats van aan het eind van de leiding). Echter, in dat geval telt SAFETI-NL de uitstroming vanuit twee zijden bij elkaar op (alsof er twee gaten zijn) en dat geeft voor de eenzijdige nalevering (één gat) een te groot debiet. Een alternatieve aanpak is om de diameter van het toevoersysteem met een factor $\sqrt{2}$ te vergroten en de relative aperture met een factor $\sqrt{2}$ te verkleinen (alsof de doorgaande leiding uit twee uitgaande leidingen bestaat). Deze mogelijkheid was voorafgaand aan het consequentieonderzoek over het hoofd gezien en is daarna niet meer 'gerepareerd'. Overall wordt verwacht dat de vereenvoudigde invoermethode nog steeds voldoende conservatief is.

Blowout van de put tijdens productie of injectie (paragraaf 0)

De uitstroming vindt plaats vanuit een gat ter grootte van de tubing. Daarbij moet op realistische wijze rekening gehouden worden met de nalevering vanuit de put en vanaf de installaties op de inrichting. In SAFETI-NL 6.54 is geen model beschikbaar waarmee de gezamenlijke bijdrage eenvoudig berekend kan worden. SAFETI-NL berekent ofwel eenzijdige uitstroming (de uitstroming vanuit één leidingdeel) ofwel dubbele uitstroming (de opgetelde uitstroming vanuit twee leidingdelen). De dubbele uitstroming geeft een overschatting omdat er maar één gat is (bovenin de put). Daarom is gekozen voor maatwerk.

Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden (paragraaf 10.9.7)

Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put aanvankelijk onder druk (de 'closed-in tubing head pressure'). Bij een release is toevoer vanaf het reservoir mogelijk (casing blowout potential of tubing blowout potential). De rekenmethode houdt daar geen rekening mee. Daarmee wordt de uitstroming na enige tijd onderschat. De mate van onderschatting hangt af van de eigenschappen van de put en het reservoir. Voor het eerste tijdsegment (0-20 s) zal de onderschatting doorgaans beperkt zijn.

In het Long Pipeline model wordt de druk en uitstroming ter plaatse van de breuklocatie berekend op basis van de druk aan het begin van de leiding, de doorvoer ('pumped inflow') en de leidingweerstand. Het eventuele gebruik van de casing of tubing blowout potential als 'pumped inflow' resulteert in een druk ter plaatse van de breuklocatie die lager is dan de 'closed-in tubing head

pressure'. Dit leidt tot een uitstroming die juist aan het begin van de release lager is dan realistisch.

Voorbeeldberekening (10.10)

Voor het grootste deel van installaties wordt de vereenvoudigde invoermethode gebruikt, en deze hoeft niet apart te worden verantwoord. Alleen voor de blowout-scenario's is conform paragraaf 0 en 10.9.7 maatwerk toegepast. In het resterende deel van deze paragraaf wordt de modellering van deze scenario's toegelicht.

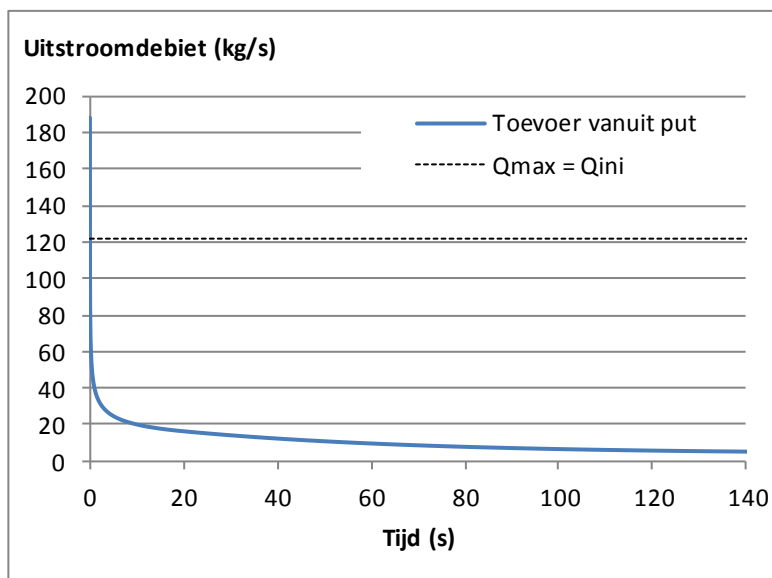
Blowout tijdens productie:

De uitgangspunten voor de modellering zijn beschreven in paragraaf 0. In het bijzonder vindt de uitstroming plaats vanuit één gat met toestroming vanuit twee richtingen. De gatgrootte is gelijk aan de tubing diameter (5¼ inch).

Voor het totale uitstroomdebiet als functie van tijd, gelden de volgende uitgangspunten:

- Het totale uitstroomdebiet neemt af in de tijd. Het initiële debiet (Q_{ini}) kan berekend worden op basis van de initiële druk en de gegeven gatgrootte en blijkt 122 kg/s te bedragen⁶⁸. Dit initiële debiet geldt dus ook als maximum. In Figuur 39 is Q_{ini} weergegeven met de zwarte gestippelde lijn.
- Het uitstroomdebiet ($Q_{blowout}$) is gelijk aan de som van de bijdragen vanuit de put en vanaf landzijde. Deze bijdragen zijn onderling afhankelijk. Het is echter niet mogelijk om de interactie te modelleren. Het is wel mogelijk om de *onafhankelijke* bijdragen te berekenen. De onafhankelijke bijdrage vanuit de put (Q_A) is gebaseerd op de veronderstelling dat de 'wing valve' naar de inrichting gesloten is en de bijdrage vanaf landzijde (Q_B) op de veronderstelling dat de 'master gate valves' in de put gesloten zijn. In werkelijkheid is er interactie tussen de twee bijdragen (er is maar één gat) en is de werkelijke toevoer kleiner dan de som van de onafhankelijke bijdragen Q_A en Q_B , dus $Q_{blowout} < Q_A + Q_B$. Op basis van maatwerk wordt een zo realistisch mogelijke inschatting gedaan van het werkelijke uitstroomdebiet.
- De onafhankelijke bijdrage vanuit de put (Q_A) hangt af van de diameter (5¼ inch) van de put, de gatgrootte (ook 5¼ inch), de druk en de toevoer onderin de put vanuit het reservoir. De toevoer onderin de put is initieel gelijk aan het productiedebiet. Als de druk onderin de put afneemt, kan de toevoer vanuit het reservoir toenemen. Het Long Pipeline model in SAFETI-NL houdt hier geen rekening mee en gebruikt in plaats daarvan een vaste waarde voor het toevoerdebiet ('pumped inflow'), gelijk aan het toevoerdebiet voorafgaand aan het begin van de release. In dit geval is de 'pumped inflow' dus gelijk aan het productiedebiet. De invoerwaarde voor de druk betreft de druk aan het begin van de leiding. Voor productieputten is dat de 'flowing bottom hole pressure'. Het Long pipeline model houdt geen rekening met de invloed van zwaartekracht. Voor productieputten geeft dit een conservatieve inschatting van de druk ter plaatse van het gat en van de uitstroming. In Figuur 39 is Q_A weergegeven met de blauwe lijn.

⁶⁸ Dit is berekend met een 'leak scenario' met druk 60 bar(g) en temperatuur 70°C. Voor dit scenario gaat SAFETI-NL uit van een 'discharge coefficient' van 0,87, d.w.z. dat de efficiency van de uitstroming 13% lager is ten opzichte van een situatie waarin de stroming perfect is opgelijnd met het lek.

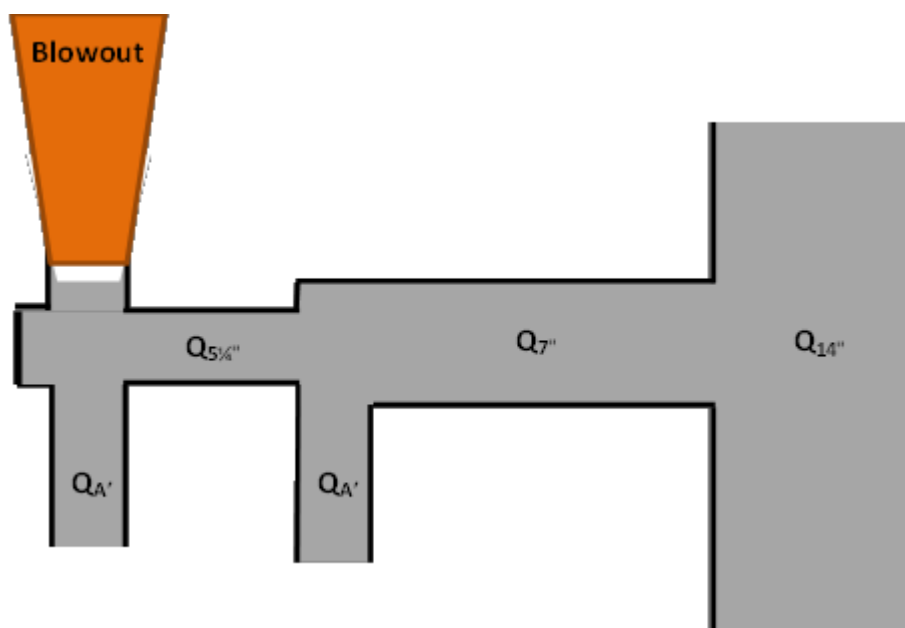


Figuur 39 Inschatting voor QA (toevoer vanaf putzijde)

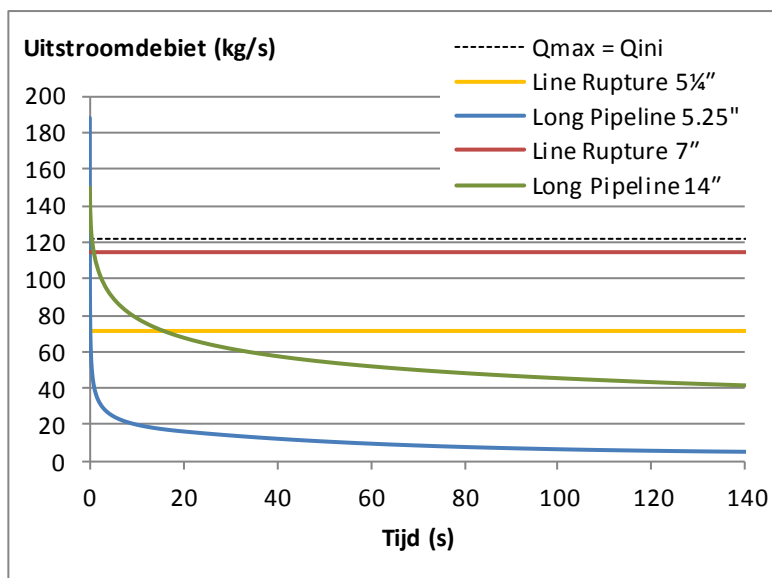
- Het toevoersysteem vanaf landzijde bestaat onder meer uit een leidingdeel met een diameter van 5¼ inch, een verbinding met de tweede put (A'), een leidingdeel met een diameter van 7 inch en een doorgaande transportleiding met een diameter van 14 inch, zie Figuur 40. In Figuur 40 zijn de condensaatafscheiders, de koelerbank, de filterseparator en het leidingdeel met een diameter van 8,5 inch eenvoudigheidshalve weggelaten. In de vereenvoudiging wordt aangenomen dat de 5¼ inch leiding een lengte heeft van 20 m (de gecombineerde lengte van de leidingen a en c) en de 7 inch leiding een lengte van 40 m (gecombineerde lengte van de leidingen e, f en g).
- Voor de verschillende onderdelen van Figuur 40 kan nu worden nagegaan wat de maximale doorstroming is.
 - De maximale toevoer door het leidingdeel met een diameter van 5¼ inch ($Q_{5\frac{1}{4}''}$) kan berekend worden met het Line Rupture model. Voor een 20 m lange leiding met een maximale druk van 40 bar aan het begin van de leiding⁶⁹ is het debiet maximaal 71 kg/s (oranjegele lijn in Figuur 41).
 - De maximale toevoer vanuit de tweede put ($Q_{A'}$) is gelijk aan de maximale toevoer vanuit de eerste put: Q_A (blauwe lijn in Figuur 1)
 - De maximale toevoer door het leidingdeel met een diameter van 7 inch ($Q_{7''}$) kan berekend worden met het Line Rupture model. Voor een 20 m lange leiding met een maximale druk van 40 bar is het debiet maximaal 115 kg/s (rode lijn in Figuur 41).
 - De maximale toevoer vanuit de doorgaande 14 inch transportleiding ($Q_{14''}$) kan berekend worden met een Long Pipeline model met een diameter van 14 inch en een gatgrootte van 5¼ inch⁷⁰. De uitkomsten zijn in Figuur 41 weergegeven met de groene lijn.

⁶⁹ Er is gekozen voor 40 bar omdat de druk binnen de inrichting waarschijnlijk zeer snel zakt tot de druk in de toevoerleiding.

⁷⁰ Omdat de relative aperture in het Long Pipeline model niet kleiner mag zijn dan 0,2, en de gatgrootte gefixeerd wordt op 5¼ inch, is de feitelijke invoerwaarde voor de diameter 11,74 inch in plaats van 14 inch.



Figuur 40 Vereenvoudiging van het toevoersysteem vanaf landzijde



Figuur 41 Analyse van de mogelijke toevoer van gas vanaf landzijde voor de tubing blowout tijdens productie

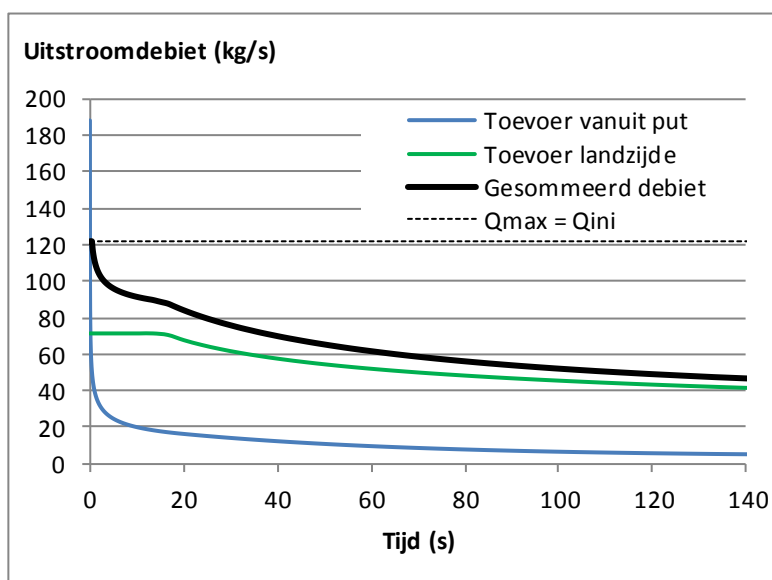
Figuur 41 laat duidelijk de gevoeligheid zien voor aannames in de modellering, in het bijzonder met betrekking tot de uitstroming vanaf landzijde. Figuur 41 is dus ook een illustratie van de meerwaarde van eenduidige voorschriften, zoals de vereenvoudigde invoermethode.

Figuur 41 laat verder zien dat de doorstroming door de 5 1/4 inch leidingen (oranjegele lijn) gedurende de eerste 15 s lager is dan de toevoer vanuit de transportleiding (groene lijn). Voor deze periode is de lengte en diameter van de 5 1/4 inch leidingen dus de remmende factor. Na 15 s is de toevoer vanuit de doorgaande transportleiding door de drukafname in de doorgaande leidingen aanzienlijk verminderd, en vormt de toevoer vanuit de doorgaande transportleiding de remmende factor. Het leidingdeel met

diameter 7 inch vormt op geen enkel moment een remmende factor voor de toevoer van gas.

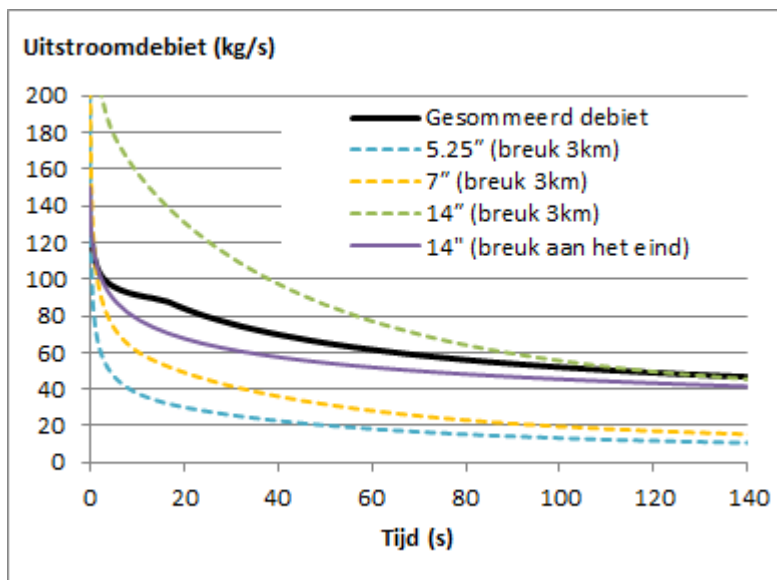
Op deze manier is het mogelijk om een inschatting te maken van het verloop van de uitstroming gedurende de gehele tijd. Het betreft het minimum van de oranjegele lijn en de groene lijn in Figuur 41 en deze is in Figuur 42 weergegeven met een felgroene lijn.

- Vervolgens kan worden nagegaan wat het gecombineerde uitstroomdebiet is vanuit de put en vanaf de inrichting. Dit is in principe de som van de uitstroming vanuit de put (Q_A , blauwe lijn in Figuur 42) en vanaf de inrichting (Q_B , felgroene lijn in Figuur 42), maar mag de maximale uitstroming op basis van de initiële druk en de gatgrootte (zwarte gestippelde lijn) niet overschrijden. Dit resulteert in de zwarte doorgetrokken lijn.
- De zwarte doorgetrokken lijn geeft dus de meest realistische inschatting van het uitstroomdebiet voor een blowout van de put tijdens productie.



Figuur 42 Verwachting voor de totale uitstroming voor een tubing blowout tijdens productie met onderscheid naar bijdragen van putzijde en van landzijde

- Tot slot kan worden nagegaan met welk invoerscenario de verwachte uitstroming het beste kan worden nagebootst. In Figuur 43 zijn enkele mogelijkheden weergegeven. In dit geval geeft de eenzijdige uitstroming vanuit de 14 inch doorgaande transportleiding de beste benadering (zie Figuur 43). De invoerwaarden voor dat model zijn:
 - Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
 - Leidingdiameter: 0,298 m (bovengrens op basis van relative aperture).
 - Relative aperture: 0,2.
 - Leidinglengte: 32000 m.
 - Afstand tot breuklocatie: 32000 m.
 - Pompdebiet: 0 kg/s.



Figuur 43 Simulatie van de gecombineerde bijdragen aan de tubing blowout tijdens productie

Discussie

De uitkomst van het verrichte maatwerk is dat de blowout van de put tijdens productie, het beste gemodelleerd kan worden als het vrijkomen van gas vanuit de 14 inch doorgaande transportleiding (met gatgrootte 5¼ inch). De achterliggende verklaring is dat de drukafname in de put zelf veel sneller verloopt dan de drukafname binnen de inrichting en de transportleiding. Als de diameter van de 'wing valve' gelijk is aan de tubing diameter van de put, dan is toevoer vanaf de inrichting bepalend.

De verantwoording van de blowout modellering laat zien dat de vereenvoudigde invoermethode voor dit rekenvoorbeeld een goede methode is die over het algemeen (licht) conservatieve uitkomsten zal geven.

Blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden:

Tijdens onderhoudswerkzaamheden is de 'wing valve' gesloten en vindt er alleen uitstroming vanuit de put plaats. De bijbehorende invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn beschreven in paragraaf 10.9.7. Concreet zijn deze:

- Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
- Leidingdiameter: 0,133 m (tubing blowout) of 0,178 m (casing blowout).
- Relative aperture: 1.
- Leidinglengte: 3000 m.
- Afstand tot breuklocatie: 3000 m.
- Pompdebiet: 0 kg/s.

Het debiet voor tubing blowout is groter dan de TBOP en het debiet voor casing blowout groter dan de CBOP. Daarmee is het gebruik van de invoerwaarden acceptabel.

14.7 Opslag van vergiftigde gasen in cilinders

14.7.1 Definitie

Deze methodiek geldt niet voor de opslag van spuitbussen. Deze vallen onder Hoofdstuk 8. Ook voor gascontainers met een (water)inhoud groter dan 150 liter is de richtlijn niet van toepassing. Hiervoor kunnen de scenario's en faalfrequenties voor opslagtanks onder druk (bovengronds) gebruikt worden.

14.7.2 Scenario's

Deze methodiek heeft betrekking op opslag- en opstelplaatsen voor gascilinders - zowel buiten- als in pandige opslag - inclusief de aan- en afvoer van de cilinders. De faalfrequentie is gebaseerd op een onderzoek van Marchal uit 1985 [67], waarbij 74 ongevallen zijn beschouwd in de periode 1977 – 1984 onder 10 miljoen gasflessen waarvan de resultaten zijn samengevat in Handboek Faalfrequenties [68]:

Tabel 151 Samenvatting resultaten onderzoek Marchal [67]

Faaloorzaak	Aantal ongevallen	Kans op voorkomen (per cilinder per jaar)
<u>Oorzaken eigen aan de fles</u>		
- fabricage fout	3	4,3E-08
- materiaalfout	10	1,4E-07
<u>externe oorzaken</u>		
- mechanische belasting	6	8,6E-08
- corrosie	6	8,6E-08
- overvullen	2	2,9E-08
- verkeerde opstelling	1	1,4E-08
- afkoppelen van een niet lege fles	4	5,7E-08
- niet compatibel materiaal bij aansluiting	6	8,6E-08
- vallen (van een vrachtauto)	6	8,6E-08
- andere voornamelijk menselijke fout	30	4,3E-07
Totaal	74	1,1E-06

Omdat veel faaloorzaken tot zowel een explosie als lekkage kunnen leiden, wordt voor de modellering aangenomen dat in 50% van de gevallen een gascilinder compleet zal falen waarbij instantaan de gehele inhoud van de gascilinder vrijkomt. Voor de andere 50% wordt uitgegaan van een lekkage waarvoor een gat met een effectieve diameter van 3,3 mm wordt gehanteerd.

Fragmentatie

Fragmentatie begint pas een rol van betekenis te spelen bij opslagvoorzieningen met duizenden gascilinders. Omdat gascilinders met vergiftigde gasen meestal in kleine hoeveelheden worden opgeslagen, hoeft geen rekening te worden gehouden met fragmentatie.

Fysische explosie

Met de aannames uit de *Handleiding risicoberekeningen Bevi* worden letale effecten op 5 tot 10 meter berekend in geval van een fysische explosie van een gascilinder (bij een overdruk > 0,1 bar is er een kans op overlijden als gevolg van het instorten van constructies). Het wordt niet aannemelijk geacht dat een gascilinder het instorten van een constructie kan bewerkstelligen. Ramen vormen echter wel een risico. Zeker wanneer er personen vlak achter het raam aanwezig zijn, kunnen deze door rondvliegende glasscherven (dodelijk) worden getroffen. Zolang er geen ramen in de buurt van een buitenopslag aanwezig zijn, zijn er bij de opslag van gascilinders geen letale effecten te verwachten ten gevolge van een fysische explosie.

Verstikkende en oxiderende gassen

Gascilinders met verstikkende en oxiderende gassen waarbij uitsluitend de effecten van een fysische explosie relevant is, worden dehalve niet in een QRA beschouwd. Er zijn hierbij geen letale effecten te verwachten en dus ook geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar [69]⁷¹.

Cilinderpakketten

Het instantaan vrijkomen van de inhoud van het gehele cilinderpakket wordt niet aannemelijk geacht. Bij het instantaan falen van één gascilinder van een cilinderpakket zal de inhoud ervan instantaan vrijkomen. Daarna zal de rest van de inhoud van het cilinderpakket als nalevering vrijkomen. De uitstroming wordt beschouwd als het instantaan vrijkomen van de inhoud van de eerste (grootste) cilinder, waarna de inhoud van de overige $N - 1$ cilinders door middel van een 5 mm gat uitstroomt (5 mm is de afmeting van de verbindende leiding tussen de gascilinders in een cilinderpakket). Het instantaan vrijkomen van de inhoud van een cilinder is relevant voor de hoogte van het plaatsgebonden risico dicht bij de bron, de nalevering is relevant voor het bepalen van het gebied waarin een toxisch effect van 1% letaal verwacht kan worden. In SAFETI-NL versie 6.54 (en lager) is het niet mogelijk om het instantaan vrijkomen en een daarop volgende uitstroom in één scenario te modelleren. Daarom is om praktische redenen gekozen om dit scenario te modelleren als twee onafhankelijk scenario's.

Brand in de omgeving

Door de bouwkundige eisen voor een opslag van gasflessen wordt aangenomen dat gascilinders niet zullen falen ten gevolge van warmte-aanstraling door brand in de omgeving.

⁷¹ Voor opslagvoorzieningen (PGS 15 opslag) met gascilinders gevuld met ontvlambare, verstikkende of oxiderende gassen die vallen onder het Bevi geeft tabel 3 van bijlage 1 van de Revi III de aan te houden afstand aan gemeten vanaf de rand van de opslagvoorziening. Deze is voor alle opslagvoorzieningen met gasflessen 20 meter.

Referenties

- [1] Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen.
- [2] <http://www.rivm.nl/Onderwerpen/P/Probitrelaties>
- [3] http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/SAFETI_NL
- [4] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade ('Groene boek'). Ministerie van VROM, 2005
- [5] D. Riedstra. Windturbines op veilige afstand? Milieu Magazine jaargang 16, nummer 8, pag. 36 – 39, 2005.
- [6] H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit. Handboek Risicozonering Windturbines, 2e geactualiseerde versie. SenterNovem, 2005
- [7] Circulaire opslag ontplofbare stoffen voor civiel gebruik. Kenmerk EV/2006268085, 19 juli 2006.
- [8] W.A. Atherton. An experimental investigation of bund wall overtopping and dynamic pressures on the bund wall following catastrophic failure of a storage vessel. HSE Research Report 333, 2005.
- [9] A.M. Thyer, I.L. Hirst, S.F. Jagger. Bund overtopping – the consequences of catastrophic tank failure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15 (2002) 357 – 363
- [10] J.M. Ham, A.W.T. van Blanken. Invloed systeemreacties LPG-tankinstallatie op risico LPG-tankstation (ligging PR-contour). TNO rapprt R 2004/107, 2004
- [11] Ministerie van VROM - Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 15. Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, richtlijn voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid, 2005.
- [12] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Handboek brandbestrijdingssystemen (CPR-15 supplement).
- [13] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Opslag bestrijdingsmiddelen in emballage (CPR 15-3).
- [14] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afvalstoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage, opslag van grote hoeveelheden (CPR 15-2).
- [15] VROM. Risico-analyse methodiek CPR-15 bedrijven, 1997
- [16] Ministerie van VROM- Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 15 Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, richtlijn voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid, 2005.
- [17] L.P. Sluijs, W.J. Oudshoorn. Onderzoek naar uniformering subselectiemethodiek QRA, Tebodin document 3800317, 2004
- [18] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse ('Paarse boek'). Ministerie van VROM, 2005
- [19] F.P. Lees. Loss Prevention in the process industries. Butterworth-Heinemann, Second edition, 1996
- [20] J.R. Taylor. Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process plants. Version 1 issue 6, Taylor Associates ApS
- [21] AMINAL. Handboek kanscijfers voor het opstellen van een veiligheidsrapport. Gecoördineerde versie 2.0, 01/10/2004
- [22] HSL. Failure Rate and Event Data for Use in Risk Assessment (FRED), issue 1, RAS/99/20, 1999 en HSL. New Failure Rates for Land Use Planning QRA Update RAS/00/22, 2000

- [23] Ale BJM, Golbach GAM, Goos D, Ham K, Janssen LAM, Shield SR. Benchmark risk analysis models. RIVM rapport 610066015, 2001
- [24] P. Uijt de Haag. Verlading faalfrequentie schepen. RIVM notitie 01-02-2002
- [25] TNO, "Reductie BLEVE-frequentie van een LPG tankauto op een autotankstation", report no. 85-01237, February 28th 1985 (Dutch report).
- [26] Infomil. Herziene versie 2004. Checklist CPR 9-6: Vloeibare aardolieproducten
- [27] LPG Integraal studie, Rapport 6, deelrapport 1113 Kansschatting LPG.
- [28] Molag M. en Blom-Bruggeman J.M. Onderzoek naar de gevaren van de opslag van bestrijdingsmiddelen, , TNO rapport 90-424, september 1991.
- [29] AMINAL. Richtlijn betreffende de aanpak van magazijnbranden in veiligheidsrapporten, Aminoal 22 december 2004.
- [30] Verslag CPR-RE vergadering van 18 september 2001
- [31] Purser DA, The relationship of small scale toxicity test data to full scale fire hazard. Fire Research Station, UK 1991
- [32] Noordende van 't. Voorkomen 1,5% stikstof in opslagvoorzieningen met gevaarlijke stoffen, Tebodin rapport 35898 d.d. 1 september 2006
- [33] G. Laheij. Studie naar de gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen, RIVM rapport 610066003, december 1995
- [34] A. Matthijsen. Omzettingspercentage van stikstofhoudende verbindingen naar NOx en HCN bij brand, RIVM notitie d.d. 25 juli 2007 (kenmerk 191/07 CEV Rie/sij – 1145)
- [35] Atkinson GT, Jagger SF. Exposure of organophosphorus pesticides to turbulent diffusion flames, J. Loss Prev. Process Ind. Vol 5, No 5 (1992) p271-277.
- [36] Atkinson GT, Jagger SF. Assessment of hazards from warehouse fires involving toxic materials, Fire Safety Journal Vol 22 (1994) p107-123
- [37] Atkinson GT, Jagger SF et al. Plume Seeding Mechanisms in Warehouse Fires, EC Industrial Fires workshop, Cadarche May 17-18th 1994.
- [38] HSE. Safety Report Assessment Guide: Chemical Warehouses – Hazards, HSE version 6 June 26th 2002 (<http://www.hse.gov.uk/comah/sragcwh/index.htm>).
- [39] D. Riedstra. Consequentieonderzoek rekenmethodiek S 15 bedrijven, RIVM notitie d.d. 15 april 2008
- [40] RIVM, *QRA berekening LPG-tankstations*, versie 1.2, d.d. 16 augustus 2013.
- [41] VVG en VROM, *Convenant LPG-autogas*, d.d. 22 juni 2005.
- [42] RIVM, brief *Consequenties van LPG studies voor PR en GR*, kenmerk 210/06 CEV Mah/mva-10009, d.d. 26 juni 2006.
- [43] RIVM, brief *Onderbouwing van effectiviteit van hittewerende coating - Invloed coating op ligging van plaatsgebonden risicocontour*, kenmerk 452/06 CEV Mah/sij-1329, d.d. 20 dec 2006.
- [44] TNO, *Onderzoek naar de faalfrequentie van propaanlosslangen*, rapportnummer TNO-060-UT-2012-00594, d.d. 26 april 2012.
- [45] RIVM, brief *Reductie faalfrequenties propaanlosslangen en risicoafstanden*, kenmerk 20130046 VLH JK SM fvdS, d.d. 20 februari 2013.
- [46] TNO, *Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation*, rapportnummer 85-01237, d.d. 28 februari 1985.

- [47] RIVM. Rekenmethodiek voor LPG-tankstations, versie 1.2 d.d. 5 november 2014.
- [48] TNO, *Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations (Hoofdrapport)*, rapportnummer R2001/435a, 2001.
- [49] RIVM, brief *Afstandentabel propaanreservoir*, kenmerk 263/06 CEV, d.d. 24 juli 2006.
- [50] Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Besluit houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen milieubeheer (Besluit externe veiligheid inrichtingen). Geraadpleegd d.d. 2-11-2014
- [51] Staatstoezicht op de Mijnen. Interim handleiding risicoberekeningen. Versie 1.0. 2010. Brief van dhr. ir. M. van Pinxteren (SodM) d.d. 2 juli 2010. Kenmerk 10097961.
- [52] Verordening (EG) Nr. 1272/2008 Van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging en intrekking van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot Wijziging van Verordening (EG) nr. 1907/2006.
- [53] B.J. Lowesmith, G. Hankinson, M.R. Acton and G. Chamberlain. An overview of the nature of hydrocarbon jet fire hazards in the oil and gas industry and a simplified approach to assessing the hazards. Process Safety and Environmental Protection. Volume 83. Issue 3 (pp 207-220). 2007.
- [54] N.E. Burke, C.K. Chea, R.D. Hobbs and H.T. Tran. Extended analysis of live reservoir oils by gas chromatography. Proceedings of the SPE International Symposium of Oilfield Chemistry in 1991. 1991.
- [55] RIVM. Evaluation of the Dutch QRA directives for storage and transportation of flammable liquids. Report 620550001. 2010.
- [56] RIVM. On-site natural gas piping: scenarios and failure frequencies. Report 620550004. 2011.
- [57] G. Hankinson, B.J. Lowesmith, J.A. Evans and L.C. Shirvill. Jet fires involving releases of crude oil, gas and water. Process Safety and Environmental Protection. Volume 83. Issue 3 (pp 221-229). 2007.
- [58] RIVM. Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid. Rapport 620550009. 2012.
- [59] SCANDPOWER. Blowout and well release frequencies – based on SINTEF offshore blowout database (2007). Kenmerk 80.005.003/2008/R3. 2008.
- [60] P. Holand. Offshore blowouts – causes and control. Gulf Professional Publishing. ISBN: 978-0-88415-514-0. 1997.
- [61] HSE. Offshore hydrocarbon releases - statistics 1999. OTO 1999 079. 2000.
- [62] Ministerie van VROM. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen – Deel 6: Aanwijzingen voor implementatie van Brzo 1999. 2006.
- [63] RIVM memorandum. Recommended failure rates for pumps and compressors (beschikbaar op aanvraag).
- [64] LNE. Handboek uitstroomfrequenties 2009 – voor het opstellen van een veiligheidsrapport. 2009.
- [65] N.V. Nederlandse Gasunie. Risicoanalyse aardgastransportleidingen. DEI 2008.R.0939. 2008.
- [66] Energy Institute. Ignition probability review, model development and look-up correlations. IP research report. 2006.
- [67] Marchal. Bouteilles à gaz – Analyse Statistique des accidents, IGC Document 31/85/F, 1985

- [68] LNE. Achtergrond-informatie bijlage bij Handboek faalfrequenties 2009 voor het opstellen van een veiligheidsrapport, Vlaamse overheid, Departement LNE, Afdeling Milieu-, Natuur- en Energiebeleid, Dienst Veiligheidsrapportering, 5 mei 2009
- [69] RIVM. Briefrapport aan Ministerie van VROM Directie Externe Veiligheid, Onderwerp: Risicoafstanden gasflessenopslagen tot 1000 liter waterinhoud, Datum: 6 april 2006, kenmerk: 125/06 CEV Rie/mva-278. 2006



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevi

Woordenlijst

Versie 3.3
1 juli 2015

Colofon

© RIVM 2015

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Helpdesk SAFETI-NL
SAFETI-NL@rivm.nl

Woordenlijst

1% letaliteitsafstand	De afstand tot de locatie waar een onbeschermd persoon een kans van 1% op overlijden heeft, gegeven het scenario en de weerklassse
Aanwijzingsgetal	Maat voor het gevaar dat een installatie kan opleveren, ongeacht de locatie ervan
Atmosferische opslagtank	Opslagtank waarin de maximaal toegestane druk kleiner of gelijk is aan 0,5 bar overdruk. In het algemeen is de overdruk maximaal 70 mbar.
Beheergroep probitrelaties	Commissie van inhoudelijk deskundigen op het gebied van toxicologie die de procedure voor het afleiden van probitrelaties en de probitrelaties vaststelt.
Bevoegd gezag	Instantie die de vergunning verstrekt voor de activiteit met gevaarlijke stoffen
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion; ontstaat na het plotseling falen van een vat dat vloeistof bevat waarvan de temperatuur beduidend hoger is dan zijn normale (atmosferische) kookpunt. Een BLEVE bij brandbare stoffen resulteert (bij ontsteking) in een grote vuurbal.
Brandbare (gevaarlijke) stoffen	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.
Dispersie	Het vermengen en verspreiden van stoffen in de lucht
Domino-effect	Het effect dat een Loss of Containment van één installatie leidt tot een Loss of Containment van andere installaties
Dosis	Een maat voor de integrale blootstelling; functie van concentratie en blootstellingsduur
Druktank	Opslagtank onder druk waarin de maximaal toegestane druk groter is dan 0,5 bar overdruk.
Exploitant	Iedere natuurlijke of rechtspersoon die de inrichting of installatie exploiteert of in bezit heeft, of aan wie, indien daarin door de nationale wetgeving is voorzien, economische zeggenschap over die technische eenheid is overgedragen
Explosie	Plotseling vrijkomen van energie waardoor een drukgolf wordt veroorzaakt
Foutenboomanalyse	De evaluatie van een ongewenste gebeurtenis, de topgebeurtenis van de foutenboom. Gegeven een topgebeurtenis wordt een foutenboom opgesteld met behulp van een deductiemethode (top-down), waardoor de oorzaak (of oorzaken) van de ongewenste gebeurtenis kan worden vastgesteld
Fakkel	Verbranding van materiaal dat met grote impuls uit een opening stroomt
Flash	Deel van een oververhitte vloeistof dat snel verdampt vanwege een relatief snelle drukvermindering, waarbij het ontstane damp/vloeistofmengsel bij de einddruk is afgekoeld tot beneden het kookpunt. Oververhitting is de extra warmte van de vloeistof die beschikbaar komt door

	het verlagen van de vloeistoftemperatuur, bijvoorbeeld door verdamping, tot het moment dat de dampdruk gelijk is aan de omgevingsdruk.
Flash fire	De ontbranding van een brandbaar mengsel damp en lucht, waarbij de vlam zich door het mengsel beweegt met een snelheid die lager is dan geluidssnelheid, zodat een te verwaarlozen schadelijke overdruk ontstaat
Flash-verdamping	Zie Flash
FN-curve	Log-log-grafiek: de x-as geeft het aantal sterfgevallen en de y-as de cumulatieve frequentie van ongevallen, waarbij het aantal sterfgevallen gelijk is aan of groter dan N
Frequentie	Het aantal malen dat in een bepaalde periode een bepaalde uitkomst wordt verwacht (zie ook kans)
Gaswolkexplosie	Explosie die het gevolg is van de ontbranding van een wolk van ontbrandbare damp, gas of spray gemengd met lucht, waarin de vlamsnelheid dusdanig hoog wordt dat er een significante overdruk ontstaat
Gebeurtenissenboom	Een diagram waarin combinaties van succes en falen worden gebruikt om reeksen gebeurtenissen te identificeren die leiden tot alle mogelijke consequenties van een bepaalde begin-gebeurtenis
Grenswaarde	maat voor de gevaarlijke eigenschappen van een stof gebaseerd op zowel de fysische als de toxische/explosieve/brandbare eigenschappen van de stof
Groepsrisico	De frequentie (per jaar) dat een groep personen van een bepaalde omvang slachtoffer wordt van een ongeval
Inbloksysteem	repressiesysteem om (een deel van) een installatie te isoleren om (verdere) uitstroming te voorkomen
Inrichting	Het gehele gebied dat onder de verantwoordelijkheid van een exploitant valt en waar in een of meer installaties gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, inclusief algemene of gerelateerde infrastructuur en activiteiten
Insluitsysteem	Een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. Een Loss of Containment in één insluitsysteem leidt niet tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen.
Installatie	Een technische eenheid binnen een inrichting waar gevaarlijke stoffen worden geproduceerd, gebruikt, verwerkt of opgeslagen.
Kans	Maat voor de waarschijnlijkheid dat een gebeurtenis plaatsvindt, uitgedrukt in een dimensieloos getal tussen 0 en 1. Risico wordt gedefinieerd als de kans dat binnen een vaststaande periode, meestal één jaar, een ongewenst effect optreedt. Dientengevolge wordt het risico uitgedrukt als een dimensieloos getal. Vaak wordt het risico echter uitgedrukt als een frequentie-eenheid 'per jaar'. Omdat de faalfrequenties laag zijn, is de kans dat een ongewenst effect optreedt binnen de periode van één jaar praktisch gezien gelijk aan de frequentie van plaatsvinden per jaar. In deze Handleiding wordt de frequentie gebruikt om het risico aan te duiden.
K0-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt lager dan 0 °C en een kookpunt (of het begin van een

K1-vloeistof	kooktraject) gelijk aan of lager dan 35 °C. Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt beneden 21 °C, die echter niet zeer licht ontvlambaar zijn.
K2-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan of gelijk aan 21 °C en lager dan of gelijk aan 55 °C.
K3-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 55 °C en lager dan of gelijk aan 100 °C.
K4-vloeistof	Vloeibare stoffen en preparaten met een vlampunt hoger dan 100 °C.
LC ₅₀	Mediaan letale concentratie, ofwel de concentratie van een stof waarbij 50% van de testorganismen overlijdt. LC ₅₀ (rat, inh., 1 h) is de concentratie in de lucht die letaal is voor ratten na blootstelling van een uur.
LFL	Lower flammability limit (ondergrens ontbrandbaarheid); beneden deze concentratie is te weinig brandbaar gas in de lucht aanwezig om de ontbranding in stand te houden
LOC	zie Loss of Containment Event
Loss of Containment	gebeurtenis die leidt tot vrijkomen van materiaal in de atmosfeer
Nominaal pompdebiet	De normaal optredende stroom van materiaal door een pomp
Ontploffbare stoffen	Onder ontplofbare stoffen worden verstaan: a. 1°. stoffen en preparaten die ontploffingsgevaar opleveren door schok, wrijving, vuur of andere ontstekingsoorzaken (waarschuingszin R2); 2°. pyrotechnische stoffen. Onder een pyrotechnische stof wordt verstaan een stof of een mengsel van stoffen die of dat tot doel heeft warmte, licht, geluid, gas of rook of een combinatie van dergelijke verschijnselen te produceren door middel van niet-ontploffende, zichzelf onderhoudende exotherme chemische reacties; 3°. ontplofbare of pyrotechnische stoffen en preparaten die in voorwerpen zijn vevat; b. stoffen en preparaten die ernstig ontploffingsgevaar opleveren door schok, wrijving, vuur of andere ontstekingsoorzaken (waarschuingszin R3).
Ontstekingsbron	Iets wat een brandbare wolk kan ontsteken, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van vonken, hete oppervlakken of open vuur
Operator	Een persoon die technische apparatuur bedient
Pasquill-klasse	classificatie voor de stabiliteit van de atmosfeer, aangeduid met de letters A t/m F, waarbij A voor zeer instabiel staat en F voor stabiel.
PGS 15 inrichtingen	Opslag van gevaarlijke stoffen volgens de PGS 15 richtlijn
Plaatsgebonden risico	De kans dat gedurende een periode van één jaar een persoon het slachtoffer wordt van een ongeval, waarbij die persoon zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt. Vaak (ook in deze Handleiding) wordt de kans van een voorval in een jaar vervangen door de frequentie van een voorval in een jaar.
Plasbrand	De ontbranding van materiaal dat verdampt uit een laagje vloeistof
Probit	Getal dat rechtstreeks aan de kans is gerelateerd door numerieke omzetting
Procesvat	Vat waarin een verandering optreedt in de fysische eigenschappen van een stof, bijvoorbeeld in temperatuur of

	fase
QRA	Zie Quantitatieve Risico Analyse
Quantitatieve Risico Analyse	Een cijfermatige evaluatie van de kansen, effecten en gevolgen van ongevallen en de combinatie hiervan in risicomaten
Reactiviteit	Maat voor de vlamversnelling in een gas/luchtmengsel
Reactorvat	Vat waarin een verandering optreedt in de chemische eigenschappen van een stof
Repressiesysteem	Systeem om het vrijkomen van stoffen in de omgeving bij een bepaald incident te beperken
Risico	De combinatie van kans en effect. In deze Handleiding is het effect het (acuut) overlijden ten gevolge van een ongeval met gevaarlijke stoffen.
Risicocontour	Lijn op een kaart die de punten met eenzelfde risico met elkaar verbindt
Ruwheidslengte	Kunstmatige lengteschaal die wordt gebruikt in formules waarmee de stroomsnelheid over een bepaald oppervlak wordt beschreven en die de ruwheid van het oppervlak weergeeft. De ruwheidslengte van een leiding bepaalt de weerstand in de leiding, de ruwheidslengte van de omgeving bepaalt de windsnelheid op grondniveau.
SAFETI-NL	Software programma voor het uitvoeren van QRA berekeningen in Nederland. Het programma is een specifiek voor Nederland gemaakte versie van het programma SAFETI van DNV.
Selectiegetal	Mate van gevaar die een installatie op een specifieke locatie oplevert
Tankput	Een tankput bestaat uit een omsloten of verdiept liggend gebied rondom een tank met als doel de verspreiding van een vloeistofplas te beperken.
Tot vloeistof verdicht gas	Gas dat is samengeperst tot een druk die gelijk is aan de verzadigingsdampdruk bij opslagtemperatuur, zodanig dat het merendeel is gecondenseerd tot de vloeibare fase
Veiligheidsrapport	Rapport over de veiligheid van een inrichting, zoals vereist in het Besluit risico's Zware Ongevallen
Veiligheidsklep	klep (of hier ook breekplaat) ontworpen om automatisch een teveel aan druk te laten ontsnappen.
Vloeistofkolom	verticale afstand tussen het vloeistofniveau en de plaats van het gat
Vrije veld berekening	Berekeningsmethode waarbij ontstekingsbronnen buiten de inrichting niet worden beschouwd. Als een brandbare wolk niet ontsteekt binnen de inrichting, wordt aangenomen dat de ontsteking plaatsvindt buiten de inrichting bij maximaal wolkoppervlak. De vrije veld methode wordt toegepast voor de berekening van het Plaatsgebonden Risico.
Vuurbal	Een brand die zo snel brandt dat de brandende massa in de lucht kan opstijgen als een wolk of een bal
Weerklasse	Combinatie van Pasquill stabiliteit en windsnelheid. De weerklasse D5 betekent Pasquill klasse D en windsnelheid 5 m/s.