



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

Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid

Module II – Aanvullende voorschriften voor milieubelastende
activiteiten onderdeel A, B en E lid 2 t/m 13
Versie oktober 2020

Colofon

© RIVM 2020

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 Omgevingsveiligheid
omgevingsveiligheid@rivm.nl

Helpdesk Safeti-NL
safeti-nl@rivm.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	10
1.1	A: Activiteiten met vastgestelde afstanden voor het plaatsgebonden risico zonder vergunningplicht.	11
1.2	B. Activiteiten met vastgestelde afstanden voor het plaatsgebonden risico met vergunningplicht	11
1.3	E. Activiteiten met te berekenen afstanden voor het plaatsgebonden risico met vergunningplicht	12
2	Opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen (B.4)	14
2.1	Inleiding	14
2.2	Scenario's	14
2.2.1	Detonatie	14
2.2.2	Deflagratie	14
2.2.3	Brand	15
2.3	Overige invoergegevens Safeti-NL	15
3	Koelinstallatie met ammoniak (B.1 en E.2)	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Basischema koelinstallatie	16
3.3	Ongevalseenario's	19
3.3.1	Vloeistofvaten	19
3.3.2	Pompen/compressoren	19
3.3.3	Leidingen	19
3.3.4	Condensoren en verdamperen	20
3.3.5	Overige installatieonderdelen	20
3.4	Modellering van de bronterm	20
3.4.1	Uitgangspunten	20
3.4.2	Vessel	21
3.4.3	Scenario	25
3.4.4	Route	26
3.4.5	Beveiliging	26
4	Het opslaan in een opslagtank van propaan of propeen (A.7, B.2, E.3.3)	28
4.1	Inleiding	28
4.2	Scenario's en faalfrequenties	28
4.2.1	Tankauto	28
4.2.2	Verlading tankauto	29
4.2.3	BLEVE scenario's	29
4.2.4	Opslag	31
4.2.5	Aflevering	31
5	Opslagplaats voor gasflessen (A.11.b, E.5.1, E.5.2)	32
5.1	Inleiding	32
5.2	Opslag van gasflessen in een opslagvoorziening buiten	32
5.2.1	Scenario's	32
5.3	Opslag van gasflessen binnen in een gebouw	33

6 Het in een opslagplaats opslaan van gevaarlijke stoffen (A.11.a, B.3, E.5.3) 34

- 6.1 Inleiding 34
- 6.1.1 Overzicht scenario's 34
- 6.2 Ontwikkeling brand: brandfrequentie, brandscenario's en brandsnelheid 35
- 6.2.1 Definitie 35
- 6.2.2 Kenmerken 36
- 6.2.3 Overzicht brandbestrijdingssystemen 36
- 6.2.4 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening 36
- 6.2.5 Brandscenario's 37
- 6.2.6 Brandsnelheid 39
- 6.3 Bepaling molfractie in opgeslagen product voor berekening verbrandingsproducten [mol/mol] 39
- 6.3.1 Definitie 39
- 6.3.2 Kenmerken 39
- 6.3.3 Bepaling molfractie N, Cl, (F, Br) en S in opgeslagen product 39
- 6.4 Onverbrand toxisch product 41
- 6.4.1 Definitie 41
- 6.4.2 Kenmerken 41
- 6.4.3 Bronterm en survivalfractie onverbrand toxisch product 41
- 6.5 Toxische emissies bij overslag in open lucht 42
- 6.5.1 Definitie 42
- 6.5.2 Kenmerken 42
- 6.5.3 Kans op falen verpakking bij verlading in open lucht 43
- 6.5.4 Falen van een verpakking met zeer toxisch inhaleerbaar poeder [kg] 43
- 6.5.5 Falen van een verpakking met zeer toxische vloeibare stoffen [kg/s, plasverdamping] 43
- 6.6 Invoerparameters in Safeti-NL 44
- 6.6.1 Invoer opgeslagen producten 44
- 6.6.2 Invoer gebouw 44
- 6.6.3 Invoer brandscenario's 45
- 6.6.4 Modellerings van onverbrande (zeer) toxische producten 45

7 Metaalproductenindustrie: bad met giftige gevaarlijke stoffen (E.8) 47

- 7.1 Inleiding 47
- 7.2 Scenariobeschrijving 47
- 7.2.1 Kans op een brand in de productieruimte 48
- 7.2.2 Berekening bronterm waterstofcyanide 48
- 7.3 Invoerparameters Safeti-NL 51

8 Opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid (E.9) 53

- 8.1 Inleiding 53
- 8.2 Ongevalsescenario's 53
- 8.2.1 Overslag tankcontainers 53
- 8.2.2 Overslag boxcontainers 54
- 8.2.3 Toedeling aan deelhandelingen en posities op het terrein 55
- 8.2.4 Verblijf op terrein: intrinsiek falen 57
- 8.2.5 Verblijf op terrein: BLEVE door externe brand 58
- 8.2.6 Overig 59
- 8.3 Parameters 60

8.3.1	Kans op ontsteking overslag	60
8.3.2	Kans op ontsteking intrinsiek falen	60
8.3.3	Begrenzing vloeistofplas	60
8.3.4	Overig	61
8.4	Doorzet	61
9	Opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation. Voor LPG (A.1.a), CNG (A.2), waterstof (B.5) en LNG (E.10)	62
9.1	Inleiding	62
9.1.1	Overzicht scenario's	62
9.1.2	Stofparameters	63
9.2	Tankauto	63
9.3	Verlading tankauto	63
9.4	BLEVE scenario's	64
9.4.1	BLEVE door brand tijdens verlading	64
9.4.2	BLEVE door brand in de omgeving	64
9.4.3	BLEVE door externe beschadiging	66
9.5	Opslag en buffering van LNG	66
9.5.1	Opslagvat en buffervat	66
9.5.2	Pompen en warmtewisselaars	66
9.5.3	Leidingen	68
9.6	Aflevering LNG aan voertuigen	68
9.7	CNG	69
9.8	LPG	69
9.8.1	Stofparameters	69
9.8.2	BLEVE door brand in de omgeving	69
9.8.3	BLEVE door externe beschadiging	69
9.9	Waterstof	70
9.9.1	Type 1: gasvormig waterstof via pijpleiding	70
9.9.2	Type 2: gasvormig waterstof via een tube- of cilindertrailer	70
9.9.3	Type 3: vloeibaar waterstof per tankwagen	70
9.9.4	Gemeenschappelijke onderdelen voor alle uitvoeringstypes	71
9.9.5	Invoerparameters Safeti-NL	71
10	Behandelen, regelen en meten van aardgas (A.1, E.7), mijnbouwwerk (E.11.1)	72
10.1	Inleiding	72
10.2	Algemene uitgangspunten	72
10.2.1	Locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht	72
10.2.2	Mengsels en voorbeeldstoffen	73
10.2.3	Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties	74
10.2.4	Additionele faaloorzaken	74
10.2.5	Boringen	75
10.2.6	Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten	75
10.2.7	Repressieve systemen en systeemreacties	76
10.2.8	Nalevering	76
10.2.9	Rapportageplicht	76
10.2.10	Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties	77
10.3	Gas- en olieputten	77
10.3.1	Definitie	77
10.3.2	Kenmerken	78

10.3.3	Uitstroomscenario's en – frequenties	78
10.4	Leidingen	79
10.4.1	Definitie	79
10.4.2	Kenmerken	80
10.4.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	80
10.5	Separatoren	81
10.5.1	Definitie	81
10.5.2	Kenmerken	81
10.5.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	82
10.6	Pompen en compressoren	85
10.6.1	Definitie	85
10.6.2	Kenmerken	85
10.6.3	Uitstroomscenario's en –frequenties	85
10.7	Warmtewisselaars	86
10.7.1	Definitie	87
10.7.2	Kenmerken	87
10.7.3	Uitstroomscenario's en –frequenties	87
10.8	Effectmodellering	87
10.8.1	Uitstroomrichting	87
10.8.2	Invloed van de krater	88
10.8.3	Afwijkende effectmodellering ten opzichte van module I	88
10.8.4	Blowout en lekkage van de put	91
10.9	Invoer van scenario's in Safeti-NL	91
10.9.1	Lek in leiding en 10 mm lek	91
10.9.2	Vrijkomen van de inhoud van een installatie-onderdeel in tien minuten	92
10.9.3	Leidingbreuk en instantaan falen	92
10.9.4	Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen	92
10.9.5	Ingeblokte installatieonderdelen	102
10.9.6	Blowout van de put tijdens productie of injectie	103
10.9.7	Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden	103
10.9.8	Lekkage vanuit de put	104
11	Spoorwegemplacements (E.13)	105
11.1	Inleiding	105
11.2	Type emplacements	105
11.3	Vervoersgegevens	106
11.3.1	Wijze van vervoer	106
11.3.2	Stofcategorieën en voorbeeldstoffen	106
11.3.3	Overige gevaarlijke stoffen	107
11.3.4	Dag/nachtverdeling	107
11.4	Scenario's en faalfrequenties	108
11.4.1	Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)	108
11.4.2	Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR)	109
11.4.3	Eenzijdig ongeval	109
11.4.4	Locwisselen en/of kopmaken	110
11.4.5	Samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen	110
11.4.6	Omhalen	110
11.4.7	Overstand	111
11.5	Uitstromingen	112
11.6	Ontstekingskansen	113

11.7 Ongevingslocatie 113

12 Referenties 116

1 Inleiding

Deze module bevat rekenvoorschriften voor het uitvoeren van risico- en effectberekeningen voor milieubelastende activiteiten, onderdelen A, B en E (lid 2 t/m 13) uit Bijlage VII van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). In paragraaf 1.1 t/m paragraaf 1.3 is voor iedere activiteit aangegeven welke rekenmethode van toepassing is. Deze rekenvoorschriften zijn een aanvulling op de voorschriften in module I.

De voorschriften leggen de minimale eisen vast voor de berekeningen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico (aandachtsgebieden), die aansluiten bij de reële en (in het omgevingsplan of de vergunning) geborgde situatie. De invoer en de berekeningen zijn waar mogelijk gestandaardiseerd, en dienen naast de motivaties en uitvoer beschikbaar te zijn voor de afweging in het participatieproces.

Voor sommige van de milieubelastende activiteiten in deze module zijn in het Bkl vaste afstanden opgenomen voor het plaatsgebonden risico en/of de aandachtsgebieden. Voor berekeningen met betrekking tot deze milieubelastende activiteiten zijn de rekenvoorschriften in deze module van toepassing. De wens om te rekenen kan bijvoorbeeld voortkomen uit de behoefte aan specifieke informatie over een casus die nodig is voor een bestuurlijke afweging.

Het uitgangspunt is dat een activiteit altijd conform de actuele beste beschikbare technieken wordt verricht. Eventuele afwijkingen hiervan dienen gerapporteerd te worden. In de rapportage moet inzichtelijk worden gemaakt in hoeverre de afwijkingen invloed hebben op de resultaten van de berekeningen.

In alle gevallen adviseert het RIVM om gebruik te maken van de meest actuele inzichten, zoals de meest recente interventiewaarden, probitrelaties en rekenmodellen.

Voor de berekeningen wordt het rekenpakket Safeti-NL gebruikt.

In de toelichting op het rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid is aanvullende informatie te vinden.

1.1 A: Activiteiten met vastgestelde afstanden voor het plaatsgebonden risico zonder vergunningplicht.

Activiteit	Rekenvoorschrift
A.1. Behandelen, regelen en meten van aardgas	Hoofdstuk 10
A.1a. Tanken van LPG	Hoofdstuk 9
A.2. Tanken van CNG	Hoofdstuk 9
A.3. Opslaan van brandstoffen in bunkerstations	Module I
A.4. Kleinschalig tanken van vaartuigen of drijvende werktuigen met brandstoffen	Module I
A.5. Grootschalig tanken van vaartuigen of drijvende werktuigen met brandstoffen	Module I
A.6. Mestvergistinginstallatie	Module I
A.7. Opslaan van propaan of propeen in opslagtanks	Hoofdstuk 4
A.8. Opslaan van oxiderende en verstikkende gassen in opslagtanks	Module I
A.9. Opslaan van brandbare vloeistoffen anders dan diesel in bovengrondse opslagtanks	Module I
A.10. Opslaan van brandbare vloeistoffen anders dan diesel in ondergrondse opslagtanks	Module I
A.11. Opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking, met uitzondering van gevaarlijke stoffen van ADR-klasse 5.2, bedoeld in artikel 4.1004 van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om het opslaan in een opslagplaats waar meer dan:	
a. 2.500 kg gevaarlijke stoffen in verpakking, met uitzondering van gevaarlijke stoffen van ADR-klasse 2 in gasflessen, wordt opgeslagen, als in de opslagplaats brandbare stoffen van ADR-klasse 3, 4.1, 4.2 of 4.3 worden opgeslagen; of	Hoofdstuk 6
b. 1.000 l brandbare gassen van ADR-klasse 2 in gasflessen wordt opgeslagen in een opslagplaats in de buitenlucht.	Hoofdstuk 5
A.12. Opstellen van voertuigen, opleggers of aanhangers met gevaarlijke stoffen	Module I

1.2 B. Activiteiten met vastgestelde afstanden voor het plaatsgebonden risico met vergunningplicht

Activiteit	Rekenvoorschrift
B.1 Koelinstallatie met ammoniak	Hoofdstuk 3
B.2 Opslagtank voor gassen	Hoofdstuk 4
B.3 Opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking	Hoofdstuk 6
B.4 Opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen	Hoofdstuk 2
B.5 Waterstof: opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation	Hoofdstuk 9

1.3 E. Activiteiten met te berekenen afstanden voor het plaatsgebonden risico met vergunningplicht

Activiteit	Rekenvoorschrift
E.2 Koelinstallatie met ammoniak	Hoofdstuk 3
E.3 Opslagtank voor gassen	
3.1. Het opslaan in een opslagtank van giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om: a. meer dan 1.500 kg ammoniak; of b. meer dan 1 m ³ andere giftige of bijtende gassen.	Module I
3.2. Het opslaan in een opslagtank van gassen in de gevarenklasse acute toxiciteit, categorie 1, 2 of 3, bedoeld in bijlage I, deel 3, bij de CLP-verordening, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder b, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om meer dan 1 m ³ .	Module I
3.3. Het opslaan in een opslagtank van meer dan 13 m ³ propaan of propane, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder c, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om het opslaan van: a. ten hoogste 50 m ³ met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m ³ ; of b. meer dan 50 m ³ .	Hoofdstuk 4
3.4. Het opslaan in een opslagtank van brandbare gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder e, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om meer dan 13 m ³ acetyleen.	Module I
E.4 Opslagtank voor vloeistoffen en tankcontainer of verpakking die wordt gebruikt als opslagtank voor vloeistoffen	Module I
E.5 Opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking	
5.1. Het in een opslagplaats opslaan van meer dan 1.500 l giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2 in gasflessen, bedoeld in artikel 3.28, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving.	Hoofdstuk 5
5.2. Het in een opslagplaats opslaan van meer dan 1.500 l tot vloeistof verdichte gassen in de gevarenklasse acute toxiciteit, categorie 1, 2 of 3, bedoeld in bijlage I, deel 3, bij de CLP-verordening, in gasflessen bedoeld in artikel 3.28, aanhef en onder g, van het Besluit activiteiten leefomgeving.	Hoofdstuk 5
5.3. Het in een opslagplaats opslaan van 10.000 kg of meer in totaal van de gevaarlijke stoffen, bedoeld in artikel 3.27, eerste lid, van het Besluit activiteiten leefomgeving, bedoeld in artikel 3.28, aanhef en onder h, van dat besluit, voor zover het opslaan geheel of gedeeltelijk gaat om brandbare gevaarlijke stoffen met	Hoofdstuk 6

Activiteit	Rekenvoorschrift
<p>fluor-, chloor-, broom-, stikstof- of zwavelhoudende verbindingen, of zowel brandbare gevaarlijke stoffen als gevaarlijke stoffen met die verbindingen, met uitzondering van het opslaan van ten hoogste 30.000 kg per opslagplaats, voor korte tijd en in afwachting van aansluitend vervoer naar een vooraf bekende ontvanger, en voor zover het gaat om:</p> <p>a. in een opslagplaats met een oppervlakte van meer dan 100 m² en minder dan 2.500 m² en voor zover het niet gaat om een geval waarvoor afstanden zijn vastgesteld in tabel B.3;</p> <p>b. in een opslagplaats met een oppervlakte van meer dan 2.500 m²; of</p> <p>c. verpakkingseenheden van meer dan 100 kg met een stof van ADR-klasse 6.1, verpakkingsgroep I, die in de open lucht worden gelost of geladen.</p>	
E.6 Seveso-inrichting	Module I
E.7 Behandelen, regelen en meten van aardgas	Hoofdstuk 10
E.8 Metaalproductenindustrie: bad met giftige gevaarlijke stoffen	Hoofdstuk 7
E.9 Opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid	Hoofdstuk 8
E.10 LNG: opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation	Hoofdstuk 9
<p>E.11.1 Het exploiteren van een mijnbouwwerk, bedoeld in de artikelen 3.320 en 3.321, eerste lid, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om het exploiteren van een mijnbouwwerk, anders dan het aanpassen van een boorgat, voor zover het gaat om het winnen, opslaan, bewerken of gereedmaken voor transport van:</p> <p>a. gevaarlijke stoffen in de gevarenklasse:</p> <p>1°. ontvlambare gassen, categorie 1 of 2, bedoeld in bijlage I, deel 2, bij de CLP-verordening;</p> <p>2°. ontvlambare vloeistoffen, categorie 1, 2 of 3, bedoeld in bijlage I, deel 2, bij de CLP-verordening; of</p> <p>3°. acute toxiciteit, categorie 1, 2 of 3, bedoeld in bijlage I, deel 3, bij de CLP-verordening;</p> <p>b. ontplofbare stoffen van ADR-klasse 1; of</p> <p>c. gevaarlijke stoffen van ADR-klasse 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1 of 8.</p>	Hoofdstuk 10
E.11.2 Het aanleggen of aanpassen van een boorgat met een verplaatsbaar mijnbouwwerk, bedoeld in artikel 4.1116, onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving.	Nog niet beschikbaar
E.12 Andere inluitsystemen	Module I
E.13 Spoorwegemplacementsen	Hoofdstuk 11

2 Opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen (B.4)

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de rekenmethode beschreven voor het opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen van meststoffengroep 2. De opslag van meststoffengroep 2 valt onder milieubelastende activiteit B.4, Bijlage VII van het Bkl.

De scenario's en bijbehorende faalfrequenties en brontermen zijn gegeven in paragraaf 2.2. In paragraaf 2.3 worden enkele invoergegevens voor Safeti-NL besproken.

2.2 Scenario's

Voor de bepaling van de risico's en effecten zijn drie mogelijke generieke scenario's van belang: detonatie, deflagratie en brand in de opslag.

2.2.1 Detonatie

Detonatie wordt niet standaard meegenomen in de rekenmethode. Aangenomen is dat de kans op detonatie van meststoffen in meststoffengroep 2, die niet kunnen detoneren volgens de voorgeschreven buisproef (Verordening (EG) nr 2003/2003), verwaarloosbaar is.

2.2.2 Deflagratie

Deflagratie van meststoffen groep 2 kan veroorzaakt worden door externe branden in opslagen van groep 2 meststoffen en door hittebronnen in of nabij de meststof zelf (zelfopwarming, hete oppervlakken van elevators, loopbanden, lampen e.d.) [1]. Deflagratie leidt tot het vrijkomen van toxische ontledingsgassen waarvan stikstofdioxide de giftigste component is.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen gezakte opslag op pallets en los gestorte opslaghoppen. Deflagratie is een verschijnsel dat vooral optreedt in pas geproduceerde los gestorte hopen. In gezakte opslag is het ontstaan van een ongecontroleerde deflagratie door bijvoorbeeld verontreinigingen in de meststoffen niet waarschijnlijk. Een door de pallets gevoede brand kan wel de oorzaak zijn van de ontleding van de meststoffen.

In de rekenmethode is rekening gehouden met een snelle detectie van een beginnende deflagratie. De detectie bestaat o.a. uit:

- NO_x-detectie en alarmering in elke loods;
- Periodieke temperatuurmeting in hopen na productie tot een drempeltemperatuur.

De parameters voor de deflagratiescenario's zijn gegeven in Tabel 2.1. De parameter f_{det} is de kans dat het detectiesysteem snel werkt. De waarde die voor f_{det} in de berekening wordt gebruikt dient onderbouwd te worden.

Tabel 2.1 Deflagratiescenario's voor meststoffengroep 2.

Scenario	Frequentie (per opslagvoorziening per jaar)	Bronterm (kg s ⁻¹ NO ₂)
Deflagratie (1800 s) – snelle detectie	$f_{det} \times 1 \times 10^{-4}$	0,013
Deflagratie (1800 s) – langzame detectie	$(1 - f_{det}) \times 1 \times 10^{-4}$	0,14

2.2.3 Brand

Brand in de opslag kan ontstaan door morsing en ontsteking van een brandbare vloeistof, door ontsteking van brandbaar materiaal of door een palletbrand. Brand in de opslag leidt tot het vrijkomen van toxische ontledingssgassen waarvan stikstofdioxide de giftigste component is.

Brandbaar materiaal wordt niet samen met meststoffen opgeslagen. Deze rekenmethodiek gaat ervan uit dat de opslag en het veiligheidsbeheerssysteem voldoen aan de stand der techniek, zoals neergelegd in PGS 7 [2]. Op grond van testen is geconcludeerd dat escalatie van een palletbrand niet waarschijnlijk is [3]. Derhalve wordt aangenomen dat een brand in een opslag beperkt blijft tot een klein oppervlak (10 m²). In de rekenmethode worden daarom voor brand alleen de volgende gebeurtenis meegenomen:

- Brand met een equivalent oppervlak van 10 m².

De parameters voor het brandscenario zijn gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Brandscenario voor meststoffengroep 2

Scenario	Frequentie (per opslagvoorziening per jaar)	Bronterm (kg s ⁻¹ NO ₂)
Brand (10 m ² , 1800 s)	1,8 × 10 ⁻⁵	0,05

2.3 Overige invoergegevens Safeti-NL

Voor de emissies naar de omgeving van de opslagen wordt aangenomen dat pluimstijging niet optreedt en dat het gebouw intact blijft. Voor de berekening van de verspreiding wordt daarom aangenomen dat de ontledingssgassen eerst in de lijwervel van het opslaggebouw opmengen.

De volgende parameterkeuzes worden gedaan.

1. De bronterm komt direct vrij in de lijwervel, d.w.z. dat opmenging in het gebouw en ventilatie naar de omgeving niet wordt meegenomen.
2. De bronterm NO_x is gemodelleerd als NO₂.

In de verspreidingsberekening wordt ervan uitgegaan dat initieel de concentratie van NO₂ in lucht gelijk is aan 10 massa%; de overige 90 massa% bestaat uit niet toxische gassen.

3 Koelinstallatie met ammoniak (B.1 en E.2)

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor ammoniakkoelinstallaties beschreven (milieubelastende activiteiten B.1 en E.2, Bijlage VII van het Bkl).

De rekenmethodiek gaat ervan uit dat het veiligheidsbeheersysteem voldoet aan de stand der techniek. Voor ammoniakkoelinstallaties geldt de PGS 13 als stand der techniek [4].

Voor de externe veiligheid is de plaatsing van de onderdelen binnen of buiten van grote invloed. Daarom wordt in de rekenmethodiek onderscheid gemaakt in scenario's voor installatiedelen binnen een machinekamer of andere (gebouw)omhulling en installatiedelen in de buitenlucht.

Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd:

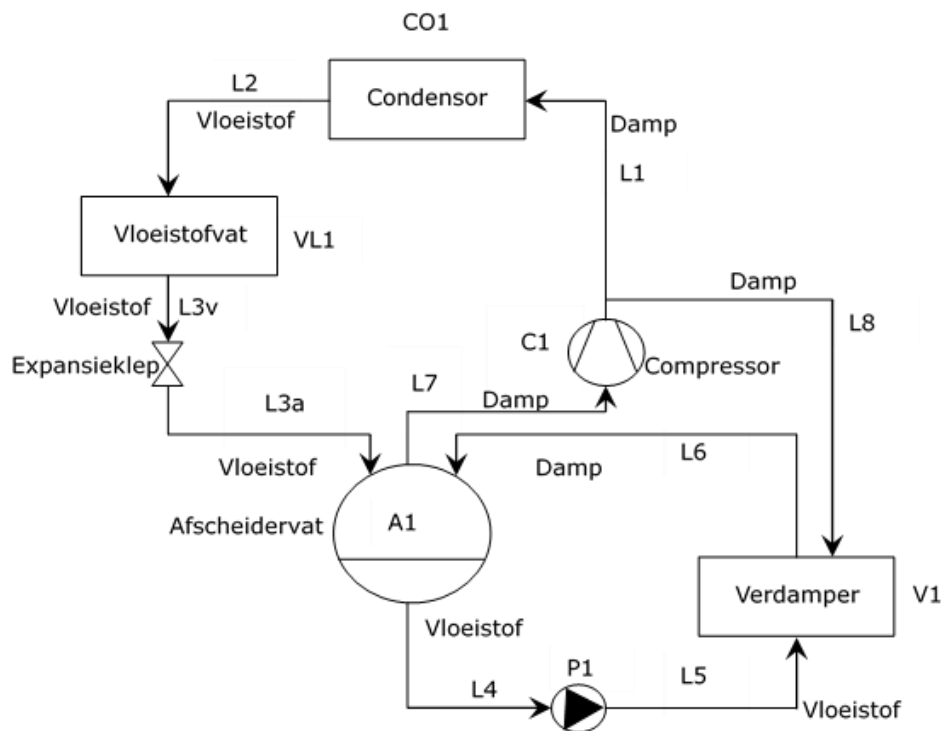
- Paragraaf 3.2 geeft een basisschema van een koelinstallatie.
- Paragraaf 3.3 geeft een overzicht van ongevalsscenario's.
- Paragraaf 3.4 beschrijft hoe de bronterm wordt gemodelleerd.

3.2 Basisschema koelinstallatie

Ten behoeve van de rapportage worden de P&ID's ('piping and instrumentation diagrams') van de installatie gereduceerd tot het basisschema van Figuur 3.1. De onderdelen zijn benoemd in Tabel 3.1. De onderdelen zijn in de regel meervoudig uitgevoerd (meer pompen, compressoren, afscheidervaten op verschillende temperatuurniveaus, economisers, HD-vlotters enz.). Ook kunnen extra leidingen deel uitmaken van de installatie. Het basisschema dient een adequate weergave te zijn van de installatie met in acht neming van de specifieke installatiekenmerken.

Ten behoeve van de leesbaarheid en de begrijpelijkheid van de rapportage dient een dergelijke schematisering van de installatie in de rapportage te worden opgenomen.

Tabel 3.2 bevat de gegevens die ten minste nodig zijn voor een risico- en effectberekening.



Figuur 3.1 Voorbeeld van een basisschema koelinstallatie

Tabel 3.1 Lijst van installatieonderdelen

Onderdeel	Omschrijving
L1	Persgasleiding
L2	Condensaitleiding
L3v	Condensaitleiding voor expansieklep
L3a	Condensaitleiding na expansieklep
L4	Vloeistofvalleiding
L5	Pomppersleiding vloeistof
L6	Natte zuigleiding
L7	Droge zuigleiding
L8	Heet gas ontdooileiding
P1	Vloeistofpomp
C1	Compressor
V1	Verdamper/Koeler/Vriezer
CO1	Condensor
VL1	Vloeistofvat (niet altijd aanwezig)
A1	Afscheidervat

Tabel 3.2 Overzicht benodigde informatie voor de rapportage

Item	Beschikbaar bij	Opmerking
Plattegrond op schaal	Gebruiker	Machinekamer, locatie ventilatie, leidingtracés en verbruikersgroepen (koelcellen, gebouwen) aangegeven Perceelgrens zichtbaar Bij voorkeur op RDM coördinaat in dwg, dgn, dxf of shp formaat
Afmetingen machinekamer	Gebruiker	L × B × H in m
Hoogte machinekamervloer	Gebruiker	In m t.o.v. maaiveld
Hoogte en diameter ventilatie-uitlaat machinekamer	Gebruiker	In m t.o.v. maaiveld
Richting ventilatie	Gebruiker	Check: horizontaal of verticaal (PGS 13 vereist verticaal)
Ventilatie-debiet (nood)ventilatie	Gebruiker	In aantal ruimteverversingen per uur of m ³ per uur
P&ID's	Installateur	
Totale koudemiddelinhoud	Installateur	In kg
Vatvulling vloeistofvaten bij nominaal gebruik	Installateur	In kg
Temperatuur vloeistofvaten nominaal gebruik	Installateur	In °C
Temperatuur condensors nominaal gebruik	Installateur	In °C
Pompdebiet per pomppersleiding nominaal gebruik	Installateur	In kg/s
Persgasdebiet per persgasleiding nominaal gebruik ¹	Installateur	In kg/s
Persgasdruk en -temperatuur	Installateur	In bar(g) resp. °C
Tijdfractie onderdelen in bedrijf (bv. heet gas ontdooi leidingen op druk)	Installateur	Uur/uur
Aantal pompen gelijktijdig in bedrijf nominaal gebruik	Installateur	-
Aantal compressoren gelijktijdig in bedrijf nominaal gebruik	Installateur	-
Leidinglengte en inwendige diameter van <ul style="list-style-type: none"> • Natte zuigleiding • Droge zuigleiding • Vloeistofvalleiding • Pomppersleiding vloeistof • Persgasleiding • Heet gas ontdooileiding • Condensaatleiding 	Installateur	In m Uitgesplitst naar binnen (in gebouw of anderszins omkast ²) en in de buitenlucht

¹ Met nominaal gebruik wordt bedoeld: tijdens de standaard bedrijfsvoering

² Wanneer leidingen omkast zijn, worden ook buiten de machinekamer liggende leidingen als *in-Building release* gemodelleerd (zie paragraaf 3.4.3). De emissie wordt dan toegekend aan de locatie van de ventilatie-uitlaat. De omkast dient aan de volgende eisen te voldoen: de leiding moet aan alle zijden omhuld zijn door wanden die bestand zijn tegen ammoniak, de optredende druk bij leidingbreuk en de temperatuur van een koud kokende plas (-80 °C). Een dergelijke omkast van een leiding dient zodanig te zijn dat deze gekoppeld is aan de centrale noodventilatie-uitlaat, waarbij emissie vanuit de omkast is uitgesloten op andere plaatsen. Alleen in dat geval kan een omkast van een leiding als "binnen" worden geclassificeerd.

Item	Beschikbaar bij	Opmerking
Vloeistoffractie in de natte zuigleidingen bij nominaal gebruik	Installateur	m ³ vloeistof/m ³ damp
Vloeistoffractie in de condensaatleidingen na het expansieorgaan bij nominaal gebruik	Installateur	m ³ vloeistof/m ³ damp
Plaats inblokafsluiters gekoppeld aan hoog NH ₃ alarm	Installateur	

3.3 Ongevalseenario's

3.3.1 Vloeistofvaten

De vloeistofvaten worden opgevat als buffervaten in een procesinstallatie waarin alleen de hoeveelheid stof verandert. In overeenstemming met module I worden deze daarom beschouwd als opslag onder druk. De faalscenario's en -frequenties zijn gegeven in module I.

Opmerkingen:

1. Bij het falen van vaten moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 3.4.2.1.
2. In een machinekamer geplaatste vaten met een werktemperatuur lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden. Bij uitstroming gevolgd door verdamping is de dampbron te klein en te kortdurend om door vrijkomen via de ventilatie-uitlaat relevante effecten voor de omgevingsveiligheid te veroorzaken.

3.3.2 Pompen/compressoren

De scenario's voor de vloeistofpompen en de compressoren zijn beschreven in module I.

Opmerkingen:

1. Voor (semi-)hermetische pompen en (schroef)compressoren zijn de waarden voor "canned" pumps (zonder pakking) uit module I van toepassing.
2. Bij het falen van pompen/compressoren moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 3.4.2.1.
3. Voor in een machinekamer geplaatste pompen en compressoren is het voldoende nauwkeurig alleen het catastrofaal falen te modelleren. In een machinekamer geplaatste pompen en compressoren met een werktemperatuur van de zuigleiding lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden.

3.3.3 Leidingen

De scenario's voor de leidingen die de installatieonderdelen verbinden zijn beschreven in module I.

Opmerkingen:

1. Bij het falen van leidingen moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 3.4.2.1.
2. Voor binnen gelegen leidingdelen is het voldoende nauwkeurig om alleen het breukscenario te modelleren.
3. Binnen gelegen leidingen met een werktemperatuur lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden.
4. Buiten gelegen dampleidingen met een werktemperatuur lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden.
5. De richting van de uitstroming is horizontaal.
6. Leidingen die zich in de buitenlucht bevinden worden gemodelleerd als lijnbron.
7. Voor binnen gelegen leidingen wordt het scenario toegekend aan het emissiepunt, in de regel de ventilatie-uitlaat.

3.3.4 *Condensors en verdamper*

Voor het falen van condensors en verdamper worden geen scenario's meegenomen in de berekening. Alleen een vloeistof gekoelde condensor, waarbij de ammoniak zich in de mantelruimte bevindt, wordt gemodelleerd als beschreven in module I.

3.3.5 *Overige installatieonderdelen*

Er worden geen afzonderlijke scenario's meegenomen voor:

- Korte circuits voor de koeling van een secundair koelmiddel (zoals pekkel, glycol, CO₂) zonder ammoniakvloeistofpomp met een leidinglengte korter dan 10 m.
- Olieafscheiders
- Oliekoelers
- Hogedrukvlotters c.q. expansiekleppen
- Meet- en instrumentleidingen

In de praktijk wordt er uit oogpunt van bedrijfszekerheid vaak een pomp stand-by gehouden. Het onderdeel in stand-by wordt gedurende de stand-by tijd niet meegenomen in de analyse.

3.4 **Modellering van de bronterm**

3.4.1 *Uitgangspunten*

De emissie van ammoniak naar de buitenlucht bij falen van een installatieonderdeel is moeilijk te voorspellen vanwege de volgende factoren:

- Na breuk blijft de drijvende kracht in het kringproces (pomp, compressor) nog enige tijd werken en uitstroming vindt plaats vanaf beide zijden van de breuk. De vrijkomende massa is dus groter dan alleen die in het installatieonderdeel (vat, leiding) zelf. De vrijkomende massa M moet daarom per scenario bepaald worden. Deze factor is vertaald in een voorschrift per scenario voor de mee te rekenen bijdragen uit aanliggende systeemonderdelen (zie Tabel 3.3).

- De resulterende uitstroming kan zowel bestaan uit bijdragen met vloeistof- als met dampuitstroming. De fase van de vrijkomende ammoniak moet daarom per scenario bepaald worden. Deze factor is vertaald in een voorschrift per installatieonderdeel (zie paragraaf 3.4.3).
- Delen van de koelinstallatie kunnen zich binnen een gebouw c.q. een machinekamer bevinden. Het gebouw functioneert gedeeltelijk als een second containment. Het gebouw beïnvloedt de verdamping van ammoniak. De fractie die direct verdampt is kleiner dan in de buitenlucht doordat de lucht moet worden verdrongen; de vorming van vloeistofdruppels is groter door botsen van de straal met muren en obstakels, wat de verdamping weer kan versterken. De plasverdamping wordt mede bepaald door temperatuur en materiaaleigenschappen van de vloer. Ammoniak komt vrij in de buitenlucht vanuit openingen in het gebouw. De uiteindelijke concentratie in de buitenlucht wordt mede bepaald door het ventilatievoud van de ruimte en de hoogte en de snelheid van het ammoniakdamp-lucht mengsel in de uitlaatopening.

Deze verschillende invloeden worden verwerkt in het rekenmodel voor uitstroming binnen een gebouw (Safeti-NL).

Aandachtspunt:

Het maakt voor het gevaar een groot verschil of de ammoniaklekkage binnen of buiten optreedt. Bij lekkage in een machinekamer komt de ammoniak indirect naar buiten via de ventilatie, bij lekkage in een persleiding op het dak van een gebouw is de emissie van ammoniak direct in de buitenlucht. In de rekenmethodiek wordt daarmee rekening gehouden. In Safeti-NL wordt een scenario gedefinieerd als "outdoor" of als "in building release".

Wanneer een binnen optredende lekkage echter zeer groot is, kan de ventilatie van de machinekamer in sommige gevallen niet voorkomen dat drukopbouw in de machinekamer optreedt. In dat geval wordt een binnen optredende lekkage als "outdoor" gemodelleerd. Daarom kan het bij leidingbreuken en instantaan bezwijken van vaten voorkomen dat die scenario's binnen ontstaan en niettemin als "outdoor" worden gemodelleerd.

De beschrijving van de modellering van de bronterm is onderverdeeld in (1) *Vessel*, (2) *Material*, (3) *Bund, building and terrain*, (4) *Scenario* en (5) *Route*. Ten slotte wordt beschreven hoe beveiligingen moeten worden meegenomen.

3.4.2 *Vessel*

Voor het vat wordt een pressure-vessel aangemaakt.

3.4.2.1 *Material*

Dit beschrijft de totale massa die beschikbaar is voor uitstroming en de keuze van de procescondities. Met dit laatste worden de mogelijkheden voor de fase van de uitstroming vastgelegd.

Phase/Specified condition

De procesconditie is *Temperature/bubble point* met als temperatuur de werkteperatuur van het installatieonderdeel. Voor de persgasleiding, de heet gas ontdooi leiding en de droge zuigleidingen is de procesconditie *Pressure/Temperature* bij de respectievelijke drukken en temperaturen.

Mass inventory

Omdat de installatieonderdelen zijn opgenomen in een kringproces vindt bij falen van één onderdeel ook uitstroming plaats uit de verbonden installatiedelen. Uit het direct gefaalde onderdeel treedt uitstroming op als damp, tweefasen mengsel of vloeistof afhankelijk van de plaats van het gat en de fase van het medium. Na korte tijd is de inhoud van het onderdeel uitgestroomd, en stromen andere installatieonderdelen leeg. De uitstroming wordt ook nog enige tijd voortgezet door het niet afschakelen van pompen en/of compressoren. Als het systeem is stilgelegd vindt door verdamping nog een relatief geringe uitstroming van ammoniak plaats. Deze daalt naar vrijwel nul doordat de ammoniak koud kookt en wordt dan bepaald door de warmte-inlek vanuit de omgeving. Deze is gering door de warmte-isolatie van de onderdelen.

Tabel 3.3 geeft de verschillende bijdragen aan de vrijkomende massa: de massa koudemiddel in het falende onderdeel zelf, plus de bijdrage van de upstream zijde plus de bijdrage van de downstream zijde. De onderdeelcodes zijn dezelfde als in Tabel 3.1. Tabel 3.3 gaat uit van automatische ammoniakdetectie met ten minste een inlokafsluiter in de pomppersleiding. Wanneer meerdere inlokafsluiters of inlokafsluiters op andere plaatsen zijn geïnstalleerd dient de analist de verschillende bijdragen aan de uitstroming vast te stellen en de overwegingen te rapporteren zowel voor de reguliere werking van de inlokbeveiliging als voor het falen ervan, zie ook paragraaf 3.4.5.

Tabel 3.3. Modelleren massa voor uitstroming, bestaande uit drie bijdragen (massa falend onderdeel + massa upstream + massa downstream)

Scenario voor onderdeel	Nalevering upstream zijde	Nalevering downstream zijde	Opmerking
A1 Afscheidervat instantaan	+ geen	+ geen	
A1 Afscheidervat, vrijkomen in 10 min en gat 10 mm	+ massa natte zuigleiding L6 + massa condensaatleiding na expansieklep L3a	+ massa droge zuigleiding L7 + massa vloeistofvalleiding L4	
L4 Vloeistofvalleiding breuk en lek	+ massa afscheidervat A1	+ geen	Inlokafsluiter en terugslagklep in pomppersleiding L5
L5 Pomppersleiding vloeistof breuk en lek	+ pompdebiet van de verbonden pompen P1 × 60 s + fractie van massa afscheidervat A1 (zie opmerking)	+ massa verdamper V1 × flashfractie ³ bij verdampingstemperatuur	Fractie van massa afscheidervat telt alleen mee bij niet aanspreken inlokafsluiter in pomppersleiding d.w.z. een leidingbreuk buiten en de ammoniakdetectie-inlok-loop binnen in machinekamer

³ De flashfractie wordt berekend uitgaande van isentropische expansie als $0,00284 \times T - 0,67394$, met T in Kelvin

Scenario voor onderdeel	Nalevering upstream zijde	Nalevering downstream zijde	Opmerking
P1 Vloeistofpomp breuk en lek	+ massa vloeistofvalleiding L4 + massa afscheidervat A1	+ geen	Inblokafsluiter en terugslagklep in persleiding L5
L6 Natte zuigleiding breuk en lek	+ pompdebiet van de verbonden pompen P1 × 60 s + massa verdamper V1 × flashfractie	+ massa afscheidervat A1 × flashfractie	
C1 Compressor breuk en lek	+ massa droge zuigleiding L7 + massa afscheidervat A1 × flashfractie	+ geen	Gelijk aan scenario breuk/lek droge zuigleiding L7
L7 Droge zuigleiding breuk en lek	+ massa afscheidervat A1 × flashfractie	+ geen	Uitstroming als damp
L1 Persgasleiding breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s	+ massa condensor CO1 × flashfractie	Warmte-input (meestal buitenlucht) valt grotendeels weg door afschakelen ventilatoren in condensor
L2 Condensaatleiding breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s + massa condensor CO1	+ massa vloeistofvat VL1 × flashfractie	
VL1 Vloeistofvat instantaan	+ geen	+ geen	
VL1 Vloeistofvat 10 min uitstroming en 10 mm gat	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s + massa condensor CO1 + massa condensaatleiding L2	+ massa condensaatleiding L3v voor expansieklep	De massa in L1 is aanwezig als damp dus levert geen significante bijdrage
L3v Condensaatleiding voor expansieklep breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s + massa vloeistofvat VL1 + massa condensor CO1 × flashfractie	+ geen	
L3a Condensaatleiding na expansieklep breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s	+ massa afscheidervat A1 × flashfractie	
L8 Heet gas ontdooileiding breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s	+ geen	

Opmerkingen:

1. Waar gesproken wordt over "massa" wordt de massa ammoniak in kilogram bedoeld.
2. Het pomp- of compressordebiet wordt niet verhoogd bij het wegvallen van de tegendruk. In dit type installaties worden in de regel schroefcompressoren toegepast. De pompen zijn in de regel waaierpompen, voorzien van een drukverschilbeveiliging en een maximum-flow begrenzer. De default waarde voor de doorpomptijd is 60 s (maximale vertraging van de alarmering door de ammoniak detectie cf. PGS 13). Wanneer leidingen buiten gelegen zijn moet 120 s worden gebruikt (werking pompbeveiliging⁴).
3. Bij het falen van de vloeistof pomppersleiding L5 komt nog een fractie van het afscheidervat A1 vrij. Deze fractie wordt berekend als $\text{fractie} = 0,0117 \times T - 2,8955$ met T in Kelvin. Wanneer de temperatuur van de afscheider lager is dan -25 °C (248 K) vervalt deze bijdrage.
4. De in dit type installaties toegepaste pompen zijn beveiligd op een minimaal drukverschil en maximaal motorvermogen. In de pomppersleiding is bij parallel geschakelde pompen altijd een terugslagklep aangebracht. Er is vanuit gegaan dat door ten minste één van deze beveiligingen de uitstroming stopt wanneer het drukverschil zakt onder 0,5 barg. Het uitstroomdebiet uit het afscheidervat na het afschakelen van de pomp (bij breuk in een buiten gelegen leiding en de pompen in een machinekamer na 120 s) is moeilijk te voorspellen. De (waaier)pomp is een extra stromingsweerstand, maar stopt de uitstroming niet. De extra stromingsrestrictie wordt modelmatig in rekening gebracht door voor het scenario breuk pomppersleiding een extra equivalente pijplengte van 100 m toe te passen in het uitstromingsmodel, zie paragraaf 3.4.3.1. Dit komt globaal overeen met een extra drukval van enkele tienden van een bar.

3.4.2.2 Bund, building and terrain

Dit definieert de uitstroming als binnen (*in building*) dan wel buiten (default). Wanneer een installatiedeel in een machinekamer of andere volledig omhulde ruimte² is gelegen, moet het scenario als een *in-building release* worden gedefinieerd. De geldigheid van het *in-building release* model is begrensd door het volume van de ruimte en het ventilatievoud. Wanneer bijvoorbeeld het vrijkomende dampvolume groter is dan het machinekamervolume of de dampstroom groter dan het ventilatievoud, geeft het programma een foutmelding. In dat geval dient de release als *outdoor* te worden gedefinieerd.

Building type: Ventilation in-Building release

Geforceerde ventilatie vindt plaats in verticale richting. Als *vent location* wordt dan gekozen voor *roof vent* en de diameter van de ventilatie-uitlaat en de *vent flow rate* worden ingevuld.

Building: Building size and orientation

Dit betreft de afmetingen van de geventileerde ruimte (meestal de machinekamer). Het gaat hier om de ruimte zelf, niet om het gebouw waarvan de ruimte deel uitmaakt.

Een *building wake effect* is niet van toepassing, omdat de releases vanuit een gebouw met een hoge uittreesnelheid in verticale richting plaatsvinden.

⁴ Deze tijd is ontleend aan [5] waarin wordt gesteld dat dit de effectieve afslagtijd van de pomp is rekening houdend met een aantal keren herstarten van de pomp.

Een *bund* is alleen van toepassing op scenario's die als outdoor zijn gedefinieerd, als een constructie met het oog op vloeistofopvang aanwezig is en de werking ervan is aangetoond. Het aantonen betreft ten minste de ammoniak- en temperatuurbestendigheid (-80 °C) en een opvangvolume gelijk aan of groter dan het uitstroomvolume van de vloeistof (zie Tabel 3.3).

Wanneer een scenario in de machinekamer of andere omhulde ruimte ontstaat en als *outdoor* moet worden gemodelleerd omdat het *in-Building release* model niet geldig is (zie paragraaf 3.4.3), wordt als afmeting van de bund het vloeroppervlak van de ruimte ingevoerd. Bij instantaan falen is de bund area multiplier for catastrophic rupture is gelijk aan 1. Het *surface type* is *concrete* en *bund failure* is niet mogelijk.

3.4.3

Scenario

Onder het betreffende Pressure vessel wordt een scenario ingevoegd. De te kiezen scenario's voor de verschillende onderdelen zijn aangegeven in Tabel 3.4. De *Mass Inventory* wordt op basis van de bijdragen uit Tabel 3.3 ingevuld. Dit betekent dat in de meeste gevallen voor elk scenario een apart *pressure vessel* gedefinieerd moet worden.

Tabel 3.4. *Bepaling scenario en duur uitstroming*

Type onderdeel	Scenario	Scenario type	Duur uitstroming
Vaten (A1 en VL1)	Instantaan	<i>Catastrophic rupture</i>	Nvt
	Vrijkomen inhoud in 10 min	<i>Fixed duration</i>	600 s
	Lekkage 10 mm gat	<i>Leak</i>	Max 1800 s
Leidingen	Lek	<i>Leak</i>	Max 1800 s
	Breuk	<i>Fixed duration</i>	<i>Inventory mass/ pompdebiet maal 1,5</i>
Pomp/compressor	Lek	<i>Leak</i>	Max 1800 s
	Breuk	<i>Short Pipe (Line rupture)</i>	

Toelichting:

- Onder Tabel 3.3 is aangegeven dat de pompbijdrage aan de nalevering van de upstream zijde wordt berekend door het pompdebiet te vermenigvuldigen met de afslagtijd. De totaal vrijkomende massa volgt uit de sommatie van de bijdragen van de upstream en downstream zijde. Deze massa wordt voor het betreffende scenario ingevuld als '*mass inventory*' in Safeti-nl.
- De uitstroming is sterk tijdsafhankelijk. Automatische berekening van het debiet met de werkelijke pijpdiameter kan leiden tot onrealistisch hoge debieten, zeer veel hoger dan het compressor- of pompdebiet, en dientengevolge zeer korte uitstroomtijden. Daarom is ervoor gekozen om bij leidingbreuk de bron te modelleren als "fixed duration" en de tijdsduur te baseren op 1,5 maal het compressor- of pompdebiet.

3.4.3.1 Scenario (short pipe, leak)

Hole (leak scenario)

Voor een lek scenario wordt de gatdiameter ingevuld (10% van de leidingdiameter, maximaal 50 mm).

Scenario type (short pipe)

Voor leidingbreuk wordt line rupture ingevuld.

Pipe length (short pipe)

De *pipe length* is gelijk aan de helft van de leidinglengte. Voor het scenario "breuk pomppersleiding (L5)" wordt hier nog 100 m bij opgeteld. Dit verdisconteert de stromingsweerstand van de afgeschakelde pomp.

Pipe Internal Diameter (short pipe)

De *internal diameter* is gelijk aan de inwendige leidingdiameter.

Pipe roughness (tabblad Short pipe)

De *pipe roughness* is gelijk aan de default waarde (0,045 mm).

Release Location

Dit betreft alleen de hoogte van de uitstroming. Wanneer zoals onder paragraaf 3.4.1 beschreven de foutmelding van het in building release model noopt tot het modelleren van de emissie buiten is de hoogte gelijk aan de dakhoogte van de ruimte.

Release direction

Bij continue scenario's van buiten gelegen installatiedelen is de uitstromingsrichting horizontaal.

Wanneer een continu scenario in de machinekamer of andere omhulde ruimte ontstaat en als *outdoor* moet worden gemodelleerd omdat het *in-Building release* model niet geldig is, wordt de richting van de uitstroming gelijk aan die van de ventilatie-uitlaat (verticaal) gedefinieerd. Verondersteld wordt derhalve dat ten gevolge van continue scenario's niet een zodanige drukopbouw mogelijk is dat het gebouw bezwijkt.

3.4.3.2 Risk

Dit definieert de frequenties van de scenario's. Zie paragraaf 3.3 voor meer informatie.

3.4.3.3 Material – Phase to be released

Figuur 3.1 geeft de fase van uitstroming. Bij vaten met zowel vloeistof als damp, zoals het afscheidervat, moet de fase vloeistof worden gekozen.

3.4.4 Route

De buiten gelegen leidingen worden als *route segment* gedefinieerd.

3.4.5 Beveiliging

De rekenmethodiek gaat ervan uit dat de installatie voldoet aan de stand der techniek, dat wil zeggen PGS 13. Dat betekent dat automatische ammoniakdetectie en zowel automatische als handbediende inblokafsluiters aanwezig zijn. De aanwezigheid van deze voorzieningen is daarom meegenomen

in de modellering van de scenario's (zie Tabel 3.3). Falen van deze voorzieningen wordt in de rapportage beschouwd zoals beschreven in module I. Het verschil tussen de scenario's beveiliging werkt en beveiliging faalt is de vrijkomende massa en de duur van de uitstroming. De massa is bij falende beveiliging groter (ook de door het falen van de beveiliging niet ingeblokte aangrenzende delen up- en downstream stromen leeg). Deze massa wordt ingevoerd en bij leidingbreuk wordt weer een tijdsduur berekend door die massa te delen door 1,5 maal het pompdebiet. Zie de toelichting onder Tabel 3.4.

Voor buiten gelegen installatiedelen is een ammoniakdetectie-inblok-loop lastig toepasbaar. Een specifieke beveiliging kan voor die scenario's alleen in de rapportage worden verwerkt als de werking ervan is beschreven en aannemelijk gemaakt. De verwerking is beschreven in module I. Een aantal beveiligingen op de pompen en compressoren (o.a. drukverschil, motor, max/min druk) is gebruikelijk.

Dit betekent dat voor het actief leegpompen van het gehele systeem in korte tijd het falen van meerder beveiligingslagen noodzakelijk is. In de regel brengt dit de frequentie van een dergelijk scenario, als het al fysisch mogelijk is, onder 10^{-9} per jaar.

4 Het opslaan in een opslagtank van propaan of propeen (A.7, B.2, E.3.3)

4.1 Inleiding

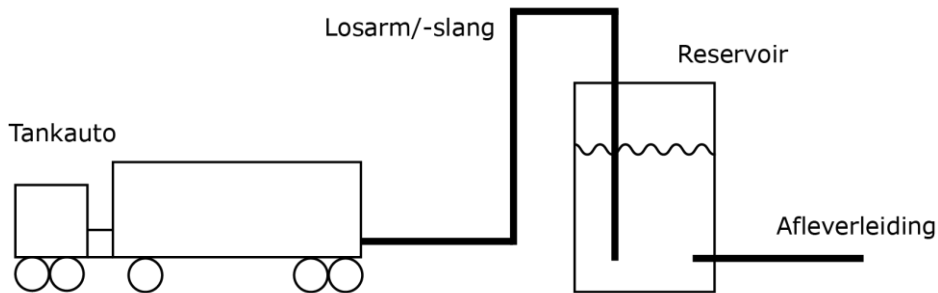
In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor opslag van propaan of propeen beschreven (milieubelastende activiteiten A.7, B.2 en E.3.3, Bijlage VII van het Bkl).

In paragraaf 4.2 zijn de scenario's en faalfrequenties gegeven. De gevaren van milieubelastende activiteiten met propaan worden bepaald door zowel de opslag als de verlading van propaan. De volgende installaties/handelingen zijn beschreven:

- Tankauto (intrinsiek falen) : paragraaf 4.2.1
- Verlading tankauto : paragraaf 4.2.2
- BLEVE-scenario's van de tankauto : paragraaf 4.2.3
- Opslag : paragraaf 4.2.4
- Aflevering : paragraaf 4.2.5

Voor de modellering van nalevering en repressieve systemen wordt verwezen naar module I.

In Figuur 4.1 is een (vereenvoudigd) propaansysteem geschetst zoals dat in dit rekenvoorschrift wordt beschouwd. Indien het systeem hier substantieel van afwijkt, dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd.



Figuur 4.1 Systeem afbakening propaan

4.2 Scenario's en faalfrequenties

4.2.1 Tankauto

De scenario's voor intrinsiek falen van de tankauto zijn gegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 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:

1. De basisfaalfrequenties zijn gegeven per jaar. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor de fractie van de tijd dat de tankauto op de locatie aanwezig is middels de factor f_A .

$$f_A = \frac{t_A}{8766}$$

Met:

t_A : tijd dat de tankauto aanwezig is op de locatie, in uren;
In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren.

2. Wanneer de exacte tankauto dimensies onbekend zijn, moet worden uitgegaan van een tankauto van 60 m³ (26.700 kg).

4.2.2 Verlading tankauto

De scenario's voor de verlading zijn gegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Scenario's voor verlading van de tankauto onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)	
	losslang	losarm
L.1 Breuk losslang/losarm – doorstroombegrenzer sluit	$t_V \times 4,0 \times 10^{-7}$	$t_V \times 3,0 \times 10^{-8}$
L.2 Lekkage losslang/losarm, met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	$t_V \times 4,0 \times 10^{-5}$	$t_V \times 3,0 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequenties voor de losslang / losarm zijn gegeven per uur. Deze basisfaalfrequenties worden daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat er per jaar wordt verladen (t_V);
2. Voor scenario L.1 wordt een leidinglengte tot breuk van 5 meter aangehouden in de modellering;
3. De breukfrequentie voor losslangen is een factor 10 lager dan de standaard faalfrequentie gegeven in module I.
4. Bij verlading van een opslagreservoir naar een transporteenheid en omgekeerd is het falen van de pomp al opgenomen in de faalfrequentie voor de verlading (zie module I voor meer informatie).

4.2.3 BLEVE scenario's

Voor 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 4.3.

Tabel 4.3 Scenario's domino-effecten tankauto tijdens verlading.

BLEVE-scenario	Frequentie (per jaar)
Warme BLEVE door brand tijdens verlading	
B.1 vulgraad 100%	$t_V \times 5,8 \times 10^{-10}$
Warme BLEVE door brand in de omgeving	
B.2 vulgraad 100%	$t_A \times 0,33 \times 0,19 \times 4,0 \times 10^{-8}$
B.3 vulgraad 67%	$t_A \times 0,33 \times 0,46 \times 4,0 \times 10^{-8}$
B.4 vulgraad 33%	$t_A \times 0,33 \times 0,73 \times 4,0 \times 10^{-8}$
Koude BLEVE door externe beschadiging	
B.5 vulgraad 100%	$t_A \times 0,33 \times 4,6 \times 10^{-9}$
B.6 vulgraad 67%	$t_A \times 0,33 \times 4,6 \times 10^{-9}$
B.7 vulgraad 33%	$t_A \times 0,33 \times 4,6 \times 10^{-9}$

Opmerkingen:

- 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;
- De basisfaalfrequentie voor brand tijdens verlading is gegeven per uur. Voor het scenario B.1 wordt de basisfaalfrequentie daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat er per jaar wordt verladen (t_V). Voor de scenario's B.2 t/m B.7 worden de basisfaalfrequenties vermenigvuldigd met het aantal uren dat een tankwagen per jaar aanwezig is op de locatie (t_A).
- 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.);
- De scenario's B.1 t/m B.4 betreffen een warme BLEVE. Voor deze scenario's is de faaldruk gelijk aan 23,5 barg;
- 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 vervolgekansen van 19% (vulgraad 100%), 46% (vulgraad 67%) en 73% (vulgraad 33%). Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer de afstanden vanaf de opstelplaats van de tankauto tot brandbare objecten en gebouwen voldoen aan de afstanden uit de PGS 19 (ongeacht het aantal verladingen);
- Scenario's B.5, B.6 en B.7 betreffen een koude BLEVE waarbij de faaldruk gelijk is aan de verzadigingsdruk bij omgevingstemperatuur. Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer er voorzieningen zijn getroffen om externe beschadiging tegen te gaan en de tankauto staat opgesteld op een geïsoleerde niet voor een ieder toegankelijke losplaats;
- 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.

4.2.4 Opslag

De scenario's voor het reservoir zijn gegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.4 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 er een onderscheid is tussen bovengrondse tanks enerzijds en ondergrondse of ingeterpte reservoirs anderzijds. Dit kan bij het scenario in Safeti-NL worden aangegeven (zie ook module I).
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.

4.2.5 Aflevering

De scenario's voor de afleverleiding met propaan onder druk zijn samengevat in Tabel 4.5. De scenario's zijn voor bovengrondse leidingen (zie module I voor ondergrondse leidingen).

Tabel 4.5 Scenario's voor afleverleiding met propaan

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

5 Opslagplaats voor gasflessen (A.11.b, E.5.1, E.5.2)

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor het opslaan van gasflessen (milieubelastende activiteiten A.11.b, E.5.1 en E.5.2, Bijlage VII van het Bkl).

Onder gasflessen (ook wel gascilinders genoemd) worden naadloze verplaatsbare drukhouders verstaan met een waterinhoud van minder dan 150 liter [6]. Gascontainers met een waterinhoud groter dan 150 liter worden beschouwd als reservoirs onder druk (zie module I). Gaspatronen (UN 2037) en spuitbussen (UN 1950) vallen ook niet onder deze definitie.

5.2 Opslag van gasflessen in een opslagvoorziening buiten

5.2.1 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een gasfles gelden voor opslagvoorzieningen voor gasflessen en gasflessenbatterijen (ook wel cilinderpakketten genoemd), inclusief de aan- en afvoer van de gasflessen en gasflessenbatterijen. De scenario's en faalfrequenties voor een gasfles zijn gegeven in Tabel 5.1, de scenario's en faalfrequenties voor een gasflessenbatterij in Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Scenario's voor een gasfles

	Frequentie (per jaar)
Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van de gasfles	5×10^{-7}
Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 3,3 mm	5×10^{-7}

Tabel 5.2 Scenario's voor een gasflessenbatterij met N gasflessen

	Frequentie (per jaar)
Instantaan vrijkomen van de inhoud van één gasfles	$N \times 5 \times 10^{-7}$
Continue vrijkomen van de inhoud van N-1 gasflessen uit een gat met een effectieve diameter van 5 mm	$N \times 5 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

1. Ook ongevallen als gevolg van het vullen van gasflessen zijn inbegrepen bij de faalfrequentie uit Tabel 5.1 en Tabel 5.2. Vandaar dat de vermelde scenario's en faalfrequenties ook voor vulstations voor gasflessen kunnen worden gehanteerd.
2. Een opslagvoorziening met overkapping maar die verder grotendeels open is, kan worden beschouwd als een buitenopslag.

5.3 Opslag van gasflessen binnen in een gebouw

Indien een gasfles met giftig gas niet in de buitenlucht is opgeslagen maar binnen in een gebouw, moet rekening worden gehouden op welke wijze het giftig gas vrijkomt en naar buiten wordt afgevoerd. De volgende parameters zijn daarbij van belang:

- de afmetingen van de ruimte (of kast) waarin de gasflessen zijn opgeslagen;
- het 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 5.1 en Tabel 5.2).

6 Het in een opslagplaats opslaan van gevaarlijke stoffen (A.11.a, B.3, E.5.3)

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor een opslagplaats met gevaarlijke stoffen (PGS 15-opslag) beschreven (milieubelastende activiteiten A.11.a, B.3 en E.5.3, Bijlage VII van het Bkl). Aanname bij deze rekenmethode is dat de opslagplaats voldoet aan het gestelde in PGS 15 [6].

6.1.1 *Overzicht scenario's*

Het te berekenen gevaar van de milieubelastende activiteit komt voort uit het bij een incident vrijkomen van giftige stoffen. Normaliter vindt de opslag en de overslag van gevaarlijke stoffen binnen plaats. Het vrijkomen van giftige stoffen is dan verbonden met het falen van een opslagvoorziening door brand. Naast dit brandscenario moet eventuele overslag van (zeer) giftige producten (ADR klasse 6.1 VG I) in de 'open' lucht expliciet in de risico- en effectberekening worden meegenomen. Ook tijdelijke opslag- en expeditieruimten moeten meegenomen worden als de effect- en risicobijdrage hiervan relevant is.

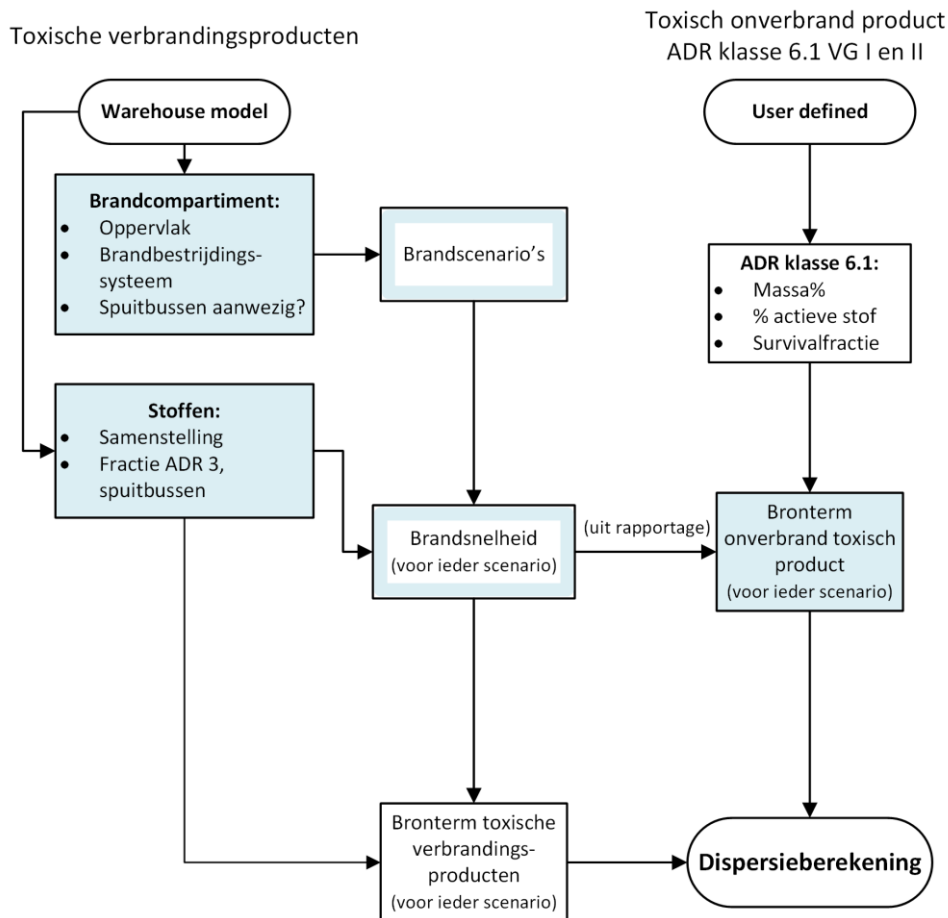
Het gevaar van een brand in een PGS 15-opslag wordt bepaald door de volgende parameters:

1. Er moet een brand mogelijk zijn. In het brandcompartiment moet dus brandbaar materiaal aanwezig zijn. Zie de definitie van brandcompartiment in PGS 15 [6].
2. Er moet een giftige stof vrij kunnen komen bij brand. Dat kan op de volgende twee manieren.
 - a. Een opgeslagen giftig product (ADR klasse 6.1 VG I of VG II) wordt deels onverbrand met de rookgassen meegevoerd.
 - b. Een opgeslagen product vormt bij brand giftige verbrandingsproducten.
3. De rookgassen moeten zich in de omgeving verspreiden.

Paragraaf 6.2 beschrijft de ontwikkeling van brand. In paragraaf 6.3 is beschreven hoe de gemiddelde samenstelling van de opslagen stoffen wordt bepaald. Op basis hiervan berekent Safeti-NL automatisch de bronterm van toxische verbrandingsproducten. De modellering van onverbrande toxische stoffen wordt beschreven in paragraaf 6.4. Het stroomdiagram in Figuur 6.1 geeft een overzicht van de verschillende stappen in de risico- en effectberekening voor brand in een PGS 15-opslag.

In paragraaf 6.5 is beschreven hoe de bronterm bij overslag van zeer toxische stoffen wordt bepaald.

Tenslotte wordt in paragraaf 6.6 de invoer in Safeti-NL beschreven.



Figuur 6.1 Stroomdiagram risico- en effectberekening voor het scenario brand in een PGS 15-opslag. Geheel blauwe vakken zijn invoerparameters. Gedeeltelijk blauwe vakken zijn parameters die Safeti-NL automatisch berekent maar die de gebruiker in specifieke gevallen kan wijzigen.

6.2 Ontwikkeling brand: brandfrequentie, brandscenario's en brandsnelheid

6.2.1 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.

6.2.2 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.

6.2.3 Overzicht brandbestrijdingssystemen

Bij de brandbestrijdingssystemen wordt voor opslaghoeveelheden groter dan 10 ton met betrekking tot brandpreventie en bluswateropvang nader onderscheid gemaakt in beschermingsniveaus 1 t/m 3, waarbij beschermingsniveau 1 het zwaarste beschermingsniveau is. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar PGS 14 [7] en PGS 15 [6].

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de brandbestrijdingssystemen die in Safeti-NL zijn opgenomen. Voor brandbestrijdingssysteem 1.4, (semi-)automatische monitorinstallatie, zijn in Safeti-NL geen scenario's opgenomen.

Tabel 6.1 Overzicht van brandbestrijdingssystemen

Beschermingsniveau 1
1.1a Automatische sprinklerinstallatie
1.1b idem sprinklers in rekken
1.2 Automatische deluge installatie
1.3 Automatische blusgasinstallatie
1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie
1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie
1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge ⁵
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 6 min
2.1a ADR klasse 3 in kunststof
2.1b ADR klasse 3 niet in kunststof, of geen ADR klasse 3
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min
2.2a ADR klasse 3 in kunststof
2.2b ADR klasse 3 niet in kunststof, of geen ADR klasse 3
Beschermingsniveau 3

6.2.4 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

De scenario's voor brand in een opslagvoorziening en de bijbehorende frequenties zijn gegeven in Tabel 6.2.

⁵ De handbediende deluge-installatie 1.7 verschilt van 1.9 doordat er in geval van brand slechts een brandkraan moet worden opgedraaid. Bij deluge-installatie 1.9 (en 1.10) moet de watervoorziening met behulp van brandslangen nog gereed worden gemaakt.

Tabel 6.2 Brand in een opslagvoorziening

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)	
	1 en 2	3
Beschermingsniveau	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:

1. 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.
2. De brandfrequentie geldt per brandcompartiment. Zie de definitie van brandcompartiment in PGS 15 [6].
3. 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.

6.2.5 Brandscenario's

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:

1. Brandduur: de brandduur wordt enerzijds bepaald door de omstandigheden tijdens de brand en anderzijds door de toegepaste brandbestrijding. Er wordt gerekend met een maximale brandduur van 30 minuten.
2. 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.
3. 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 ververs). Met name de verbrandingssnelheid van de opgeslagen stoffen is hiervan afhankelijk.

Opmerking:

1. Het maximale brandoppervlak is het oppervlak van het brandcompartiment. 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.

In Safeti-NL zijn standaard brandscenario's opgenomen. Wanneer de gebruiker het aanwezige brandbestrijdingssysteem invoert, worden automatisch de bijbehorende brandscenario's ingevoerd. Ook de brandfrequentie (Tabel 6.2) wordt automatisch ingevuld. De invoerwijze is beschreven in paragraaf 6.6.

In bepaalde situaties kan de gebruiker afwijken van deze standaardscenario's. Het betreft de volgende situaties:

1. In Safeti-NL worden, afhankelijk van het brandbestrijdingssysteem, ventilatievouden van 4 en/of ∞ gehanteerd (waarbij ventilatievoud 4 correspondeert met scenario's waarbij de deuren dicht zijn, en ventilatievoud ∞ voor scenario's waarbij de deuren open zijn). Indien aannemelijk kan worden gemaakt dat de ventilatieomstandigheden door bijvoorbeeld speciale voorzieningen hiervan afwijken, 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 van 4 en ∞ worden gerekend (in plaats van alleen ∞). De vervolgcansen van de scenario's 'deuren open' en 'deuren dicht' zijn afhankelijk van de kans dat de deuren niet sluiten (0,10 voor handbediende deuren, 0,02 voor automatische, bij brand zelfsluitende deuren [8]).
2. 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 (zoals gegenereerd door Safeti-NL) en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. Dit brandoppervlak kan groter zijn dan 900 m² (het maximum brandoppervlak in de standaard brandscenario's), zonder dat pluimstijging wordt aangenomen. De vervolgcans bij het laatstgenoemde brandscenario is 1 – (vervolg)kans op het kleinste brandoppervlak.
3. Voor opslag van ADR klasse 3 stoffen gelden volgens PGS 15 onder bepaalde omstandigheden afwijkende maximaal toegestane opslagoppervlakken (ten opzichte van de standaardscenario's in Safeti-NL).
4. Voor beschermingsniveau 2a wordt geen direct ingrijpen van de brandweer voorzien. Het uitgangspunt is een brand binnen een brandcompartiment te houden, zonder dat een blussing van het desbetreffende brandcompartiment wordt ingezet. Omdat dezelfde stoffen als onder beschermingsniveau 2 opgeslagen mogen worden, is de brandfrequentie voor beschermingsniveau 2a gelijk aan die voor beschermingsniveau 2 ($8,8 \times 10^{-4}$ per jaar). Omdat er geen blussing van het brandcompartiment wordt ingezet, wordt altijd uit gegaan van het totale oppervlak van het brandcompartiment met een maximum van 900 m² (de vervolgcans voor dit brandscenario is dus 1).

De invoerwijze van de afwijkende brandscenario's in Safeti-NL is beschreven in paragraaf 6.6.

6.2.6 *Brandsnelheid*

De brandsnelheid is de hoeveelheid uitgangproduct die per tijdseenheid verbrandt. De brandsnelheid wordt bepaald per brandscenario. In Safeti-NL wordt automatisch het effect van de oppervlakte van de brand en een mogelijke begrenzing door de zuurstoftoevoer op de brandsnelheid meegenomen.

Voor een oppervlaktebeperkte brand (waar zuurstof geen beperkende factor is) bedraagt de brandsnelheid voor de meeste gevaarlijke vloeistoffen en vaste stoffen gemiddeld 0,025 kg/m².s. Deze snelheid wordt ook voor de aanwezige, niet-gevaarlijke (aanverwante) stoffen aangehouden. Voor ADR klasse 3 stoffen⁶ en spuitbussen wordt een vier keer hogere brandsnelheid gehanteerd, namelijk 0,100 kg/m².s. De resulterende brandsnelheid in het brandcompartiment is afhankelijk van de fractie ADR klasse 3 stoffen en/of spuitbussen.

Op basis van beschikbare specifieke gegevens mag een afwijkende brandsnelheid worden gehanteerd. De invoerwijze van de brandsnelheid in Safeti-NL is beschreven in paragraaf 6.6.

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

6.3.1 *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.

6.3.2 *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.

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

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

⁶ in voorkomende gevallen moet ook het aandeel ADR klasse 2 stoffen meegenomen worden

$$N = \sum \langle v \rangle \times \%_{\text{actief}(i)} \times \frac{Q_i}{M_w(i)}$$

waarin

N	=	aantal molen stikstof in het brandcompartiment [mol];
$\langle v \rangle$	=	aantal stikstofatomen in de werkzame stof i [-];
Q_i	=	opgeslagen hoeveelheid stof i [kg];
$\%_{\text{actief}(i)}$	=	gewichtsfractie werkzame stof in stof i [-]
$M_w(i)$	=	molgewicht stof i [kg/kmol].

De waarde $\langle e \rangle$ in de gemiddelde samenstelling $C_aH_bO_cCl_dN_eS_rX$ 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 ($(Q_{\text{totaal}} \times \%_{\text{actief}}) / \overline{M_w}$):

$$\langle e \rangle = \frac{N \times \overline{M_w}}{Q_{\text{totaal}} \times \%_{\text{actief}}}$$

waarin

$\overline{M_w}$	=	gewichtsgemiddelde ⁷ molgewicht van de opgeslagen stoffen [kg/mol];
Q_{totaal}	=	$\sum Q_i$, de totale hoeveelheid, in het brandcompartiment opgeslagen stoffen [kg]
$\%_{\text{actief}}$	=	gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof in de opgeslagen stoffen [-].

Indien voor alle overige componenten zoals koolstof, waterstof, zuurstof, chloor, zwavel, fosfor etc. dezelfde werkwijze wordt gevolgd, wordt de gemiddelde samenstelling $C_aH_bO_cCl_dN_eS_rZ$ van de opgeslagen stoffen verkregen.

Opmerkingen:

1. Bij (sterk) wisselende samenstelling, zoals bij seizoensgebonden producten, volstaat uiteraard niet een momentopname, 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.
2. 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 zwavelzuuroplossingen, 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.

⁷ Het gewichtsgemiddelde molgewicht is het molgewicht gewogen over de aanwezige massa stof.

3. 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).
4. Voor verpakkingsmaterialen en andere hulpstoffen wordt aangenomen dat de molecuulformule gelijk is aan die van de verpakte (gevaarlijke) stoffen.

6.4 Onverbrand toxisch product

6.4.1 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 bronterm [kg/s] berekend. Dit wordt per brandscenario gedaan.

6.4.2 Kenmerken

Het gaat om stoffen uit de ADR klasse 6.1, verpakkingsgroep I en II. 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.

6.4.3 Bronterm en survivalfractie onverbrand toxisch product

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

$$\Phi_{tox} = B_{brand} \times massa\% \times \overline{\%}_{actief,tox} \times sf$$

waarin

Φ_{tox}	=	bronterm van onverbrande ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen [kg/s];
B_{brand}	=	brandsnelheid voor het scenario (volgt uit de rapportage in Safeti-NL, onder 'Equipment' en 'Warehouse results' is voor ieder scenario de 'mass burning rate' te vinden) [kg/s];
$massa\%$	=	massa aandeel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II in een opslagvoorziening [-];
$\overline{\%}_{actief,tox}$	=	gewichtsgemiddelde fractie werkzame stof in de ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen [-];
sf	=	survivalfractie (zie Tabel 6.3) [-].

De invoerwijze van de bronterm onverbrand toxisch product in Safeti-NL is beschreven in paragraaf 6.6.

Tabel 6.3 Rekenwaarde voor de survivalfractie

Rekenwaarde voor de survivalfractie	Opslaghoogte toxische stoffen	
	≤ 1,80 m	> 1,80 m
Toxische vloeistoffen en poeders		
Beschermingsniveau 1		
- Alle brandbestrijdingssystemen m.u.v. 1.5 en 1.8 ⁸		
o opslagen ≤ 300 m ²	10%	30%
o opslagen > 300 m ²	1%	10%
- Brandbestrijdingssysteem 1.5 en 1.8	1%	10%
Beschermingsniveau 2 of 3	1%	10%
Overige toxische vaste stoffen (granulaat)		
Beschermingsniveau 1, 2 of 3	1%	1%

Opmerkingen:

1. Bij de berekeningen wordt per brandcompartiment uitgegaan van één survivalfractie (uit Tabel 6.3) 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.
2. 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% ($\frac{2}{3} \times 1\% + \frac{1}{3} \times 10\%$).
3. 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.

6.5 Toxische emissies bij overslag in open lucht

6.5.1 Definitie

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

6.5.2 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 De nummers corresponderen met de brandbestrijdingssystemen in Tabel 6.1.

6.5.3 *Kans op falen verpakking bij verlading in open lucht*

De scenario's voor de verlading van zeer toxische stoffen (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) in de open lucht en de bijbehorende frequenties zijn samengevat in Tabel 6.4.

Tabel 6.4 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:

1. Verlading van ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen in een 'dock shelter' of hal wordt niet als verlading in de open lucht beschouwd.
2. 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.

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

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

$$\Phi_{V.1} = 0,1 \times p \times \overline{\%}_{actief} \times f_{<10\mu m}$$

waarin

$\Phi_{V.1}$	=	bronterm ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I [kg]
$f_{<10\mu m}$	=	fractie van de deeltjes met een diameter $\leq 10 \mu m$; deze fractie kan na inhalatie door mensen schade veroorzaken [-]
p	=	verpakkingsgrootte [kg]. Deze primaire verpakking kan een kleinere hoeveelheid zijn dan de in Tabel 6.4 genoemde verpakkingseenheid;
0,1	:	aanname dat 10% van de verpakkingsinhoud zal vrijkomen [-]

Bij het modelleren van de verspreiding van het inhaleerbare poeder mag rekening gehouden worden met gebouwinvloed (lijwervel) op de dispersie.

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

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

- Bij de berekening van de bronterm 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 (zie Tabel 6.4). Het

- scenario gelijktijdig falen van twee vaten zou kunnen optreden indien de lepels van een vorkheftruck de vaten doorboren.
- Voor het vrijkomen van de toxische stof moet gebruik worden gemaakt van de dosis-effect relatie van de vrijgekomen stof.

6.6 Invoerparameters in Safeti-NL

De brandscenario's voor de toxische verbrandingsproducten moeten worden ingevoerd met het 'warehouse'-model in Safeti-NL (zie paragraaf 6.6.1 t/m 6.6.3). Onverbrande toxische producten (paragraaf 6.6.4) en toxische emissies bij overslag worden met aparte scenario's ingevoerd.

6.6.1 Invoer opgeslagen producten

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. 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 worden geselecteerd, waarbij zowel de opgeslagen hoeveelheid ('stored mass') als de fractie werkzame stof ('active mass') moet worden aangegeven.

6.6.2 Invoer gebouw

In Safeti-NL kan bij het tabblad <Map> (onderdeel 'buildings') een gebouw worden ingevoerd. Hiervoor gelden de volgende voorschriften:

- Als het grondoppervlak van het omhullende gebouw kleiner of gelijk is aan 2500 m², dan wordt het gebouw zo realistisch mogelijk ingetekend: het getekende gebouw moet zoveel mogelijk overlap vertonen met de werkelijke ligging van het gebouw.
- Als het grondoppervlak van het omhullende gebouw groter is dan 2500 m², dan wordt een gebouw van 50 m x 50 m ingevoerd. Hiervoor gelden de volgende regels:
 - Het ingevoerde gebouw vertoont zoveel mogelijk overlap met de opslagvoorziening. Idealiter valt het brandcompartiment geheel binnen het gebouw van 50 x 50 m.
 - Het ingevoerde gebouw vertoont zoveel mogelijk overlap met het werkelijke gebouw. Het middelpunt van het getekende gebouw bevindt zich tussen het middelpunt van het brandcompartiment en het middelpunt van het omhullende gebouw.
 - Indien het gebouw meerdere PGS 15-opslagvoorzieningen bevat moet per opslagvoorziening een gebouw van 50 m x 50 m gedefinieerd worden.

In het warehouse model (tabblad 'building') moet vervolgens het gebouw geselecteerd worden van waaruit de verspreiding van rookgassen plaatsvindt. Het gaat daarbij om het omhullende gebouw; dit kan groter zijn dan de opslagvoorziening. 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 geselecteerd.

6.6.3 Invoer brandscenario's

6.6.3.1 Standaard brandscenario's

In het tabblad <fire scenarios> van het warehouse model wordt 'PGS-15 scenarios' geselecteerd. Selecteer het van toepassing zijnde brandbestrijdingssysteem ('fire-fighting system'). De nummers komen overeen met die in Tabel 6.1. 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 'ADR class 3' 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'. 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 alle brandscenario's gegenereerd.

6.6.3.2 Brandsnelheid

Voor de brandsnelheid moet bij in het tabblad <fire scenarios> bij 'reaction rate calculation' via de optie 'from ADR class 3 mass fraction' het aandeel ADR klasse 3 stoffen en/of spuitbussen worden aangegeven ('mass fraction').

Ook kan bij 'reaction rate calculation' de optie 'user defined' worden geselecteerd en vervolgens een berekende brandsnelheid worden opgegeven bij 'specified reaction rate'. Deze optie kan gebruikt worden wanneer op basis van beschikbare specifieke gegevens een afwijkende brandsnelheid mag worden gehanteerd.

6.6.3.3 Invoer afwijkende brandscenario's

Indien afwijkende brandscenario's worden gehanteerd, bijvoorbeeld bij de opslag van spuitbussen of bij afwijkend ventilatievoud, is de invoerwijze als volgt:

1. Genereer de standaard brandscenario's voor een opslagvoorziening met het aanwezige brandbestrijdingssysteem (zie paragraaf 6.6.3.1).
2. Kies vervolgens bij in het tabblad <fire scenarios> bij 'Scenario type' de optie 'user defined scenarios'. Het is nu mogelijk om voor ieder brandscenario het brandoppervlak ('fire surface area'), het ventilatievoud ('ventilation rate option': 'specified' of 'infinite'), de brandduur ('fire duration') en de vervolgcans ('probability') aan te passen. In het tabblad <risk> kan de brandfrequentie worden aangepast.

6.6.4 Modelleren van onverbrande (zeer) toxische producten

Het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische producten kan gemodelleerd worden met de stoffen '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>-scenario. Dit kan nabij de opslagvoorziening leiden tot een overschatting van het gevaar.

De invoerwijze is als volgt:

Maak een 'pressure vessel' aan. In het tabblad 'Bund, building and terrain' wordt het gebouw ('Release building') ingevoerd. De optie 'in-building release' wordt niet gebruikt. Vervolgens wordt voor ieder brandscenario een <user-defined source>-scenario aangemaakt. De volgende invoerparameters zijn hierbij nodig:

- 'Event frequency': de frequentie van het brandscenario, gelijk aan de frequentie van brand in de opslagvoorziening (paragraaf 6.2.4)

vermenigvuldigd met de vervolgekans (*probability*) van het brandscenario.

- *Release time*: de brandduur van het brandscenario.
- *Mass flow*: de bronterm zoals beschreven in paragraaf 6.4.3.
- *Final temperature*: hier wordt 50°C ingevuld.

7 Metaalproductenindustrie: bad met giftige gevaarlijke stoffen (E.8)

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor milieubelastende activiteiten waar een cyanidehoudend bad met een inhoud van meer dan 100 liter wordt gebruikt voor het aanbrengen van metaallagen. Dit betreft activiteit E.8.1, Bijlage VII van het Bkl. Voor activiteit E.8.2 kan bij dit hoofdstuk worden aangesloten indien er relevante giftige effecten optreden.

Voor activiteit E.8.1 zijn de volgende basisscenario's van belang:

1. Scenario's betreffende de aanwezigheid en het gebruik van cyanidehoudende baden:
 - Brand in een productieruimte met één of meer cyanidehoudende baden.
2. Scenario's betreffende de opslag en overslag van verpakte gevaarlijke stoffen. Voor deze opslag is doorgaans de PGS 15-richtlijn van toepassing.

In dit hoofdstuk worden alleen de uitgangspunten voor het scenario *Brand in een productieruimte met één of meer cyanidehoudende baden* (punt 1) toegelicht. De uitgangspunten voor de scenario's voor de opslag en overslag van verpakte gevaarlijke stoffen conform PGS 15 (punt 2) zijn beschreven in Hoofdstuk 6.

7.2 Scenariobeschrijving

In deze paragraaf worden de uitgangspunten van het scenario voor brand in een productieruimte met cyanidehoudende baden beschreven. Het scenario betreffende het vrijkomen van waterstofcyanide door een brand in een productieruimte met een of meer cyanidehoudende baden omvat:

- de kans op een brand in de productieruimte;
- de hoeveelheid waterstofcyanide die zich naar de vrije omgeving van de productieruimte kan verspreiden, oftewel de bronterm B_{HCN} (in kg/s).

De rekenmethode gaat uit van de volgende uitgangspunten:

- Alleen de periode van de brand tot het moment waarop pluimstijging optreedt, wordt beschouwd. Tot het moment dat het dak van de productieruimte bezwijkt door de brand kan waterstofcyanide zich direct in de omgeving op grondniveau verspreiden. Na het bezwijken van het dak treedt pluimstijging op en is een dodelijke vergiftiging door waterstofcyanide niet meer te verwachten.
- De tijdsduur van de brand in de productieruimte zonder pluimstijging bedraagt 30 minuten.
- De cyanidehoudende baden in een galvaniseerlijn die zijn geconstrueerd met een massief metalen bak dragen niet bij aan de bronterm. De functie van de massief metalen bak is om tegen te gaan dat deze kan falen door brand of blootstelling aan warmtestraling, in ieder geval tot het moment dat pluimstijging optreedt. Dit betekent dat ook de integriteit van de ondersteuning van dergelijke baden bij brand voldoende moet zijn d.w.z. uitstroming door kantelen van de bak door bezwijken van de ondersteuning is in genoemd tijdsbestek niet mogelijk.
- De kans op brand van de productieruimte heeft betrekking op een volledige ontwikkelde brand, waarbij verondersteld wordt dat alle baden, behoudens de baden met een massief metalen bak, zijn bezweken.

7.2.1 *Kans op een brand in de productieruimte*

Een brand in de productieruimte kan diverse oorzaken hebben. Bekend uit de casuïstiek is dat het droog verdampen van een verwarmd bad oorzaak van de brand kan zijn. Het verwarmingselement produceert zoveel warmte dat de kunststofbekleding van het bad in die situatie kan gaan branden. Ook kan werk aan de galvanisch te behandelen producten plaatsvinden in aangelegen ruimten die brand kunnen veroorzaken, zoals slijpen en lassen. Uiteraard zijn andere, niet specifiek met het productieproces verbonden en dus generieke oorzaken van brand mogelijk. De kans op brand van de productieruimte waarvan wordt uitgegaan is niet verder uit deelvans opgebouwd, en is weergegeven in Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Kans op het ontstaan van een brand

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)
Brand van de productieruimte	$f_b \times 5,1 \times 10^{-3}$

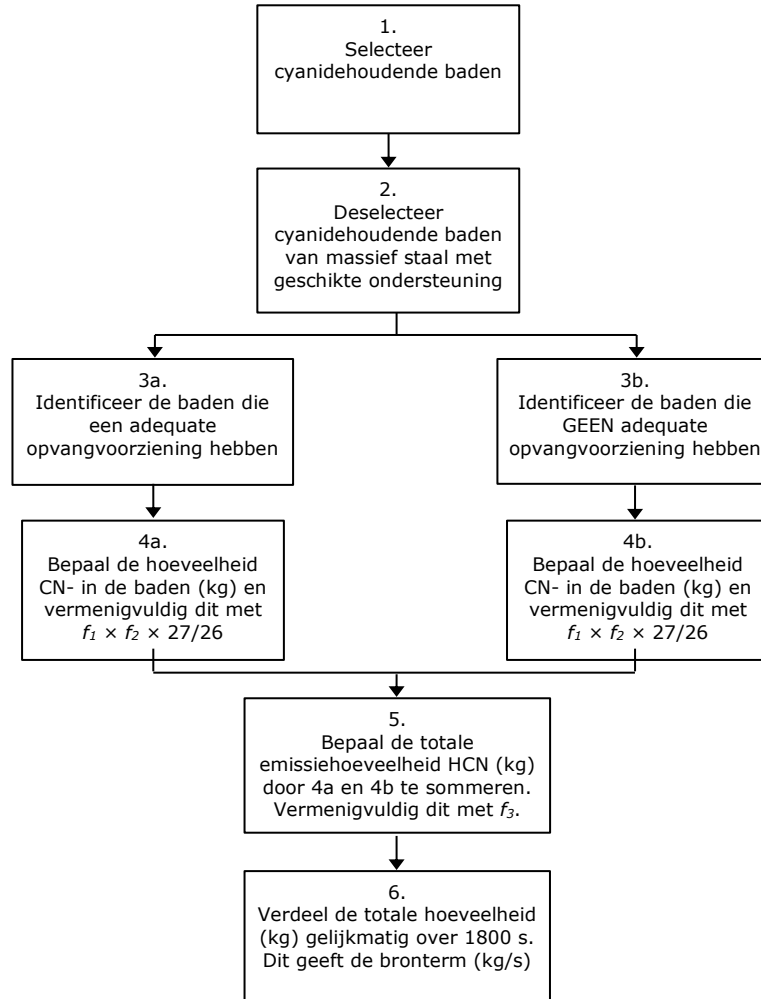
Voor de waarde van f_b geldt:

- f_b is standaard gelijk aan 1.⁹
- f_b is gelijk aan 0,33 als de verwarmde baden zijn voorzien van een onafhankelijke technische voorziening die brand van het kunststofbad door het verwarmingselement voorkomt. Het gaat dus om een voorziening die 100% redundantie inhoudt in het voorkomen dat door het droog verdampen van het bad het verwarmingselement warmte blijft produceren en zo oorzaak is van het in brand raken van de kunststof wand van het bad.

7.2.2 *Berekening bronterm waterstofcyanide*

De bronterm wordt bepaald door een aantal stappen te doorlopen en is weergegeven in Figuur 7.1. De stappen zijn hieronder toegelicht.

⁹ Deze waarde geldt ook als er in de vergunning voorwaarden zijn opgenomen over het uitvoeren van brandgevaarlijke activiteiten: de kans op brand is mede gebaseerd op de aanwezigheid van dergelijke vergunningvoorschriften. Ook als de voorschriften niet genoemd zouden zijn, blijft de brandkans hetzelfde.



Figuur 7.1 Schema berekening bronterm B_{HCN} voor cyanidehoudende baden

1. Eerst wordt vastgesteld in welke baden cyanide aanwezig is.
2. Vervolgens wordt vastgesteld welke van die baden een massief metalen bak hebben waarvan de ondersteuning voldoende bestand is tegen brand.
3. Van de baden die geen metalen bak hebben, of onvoldoende ondersteund worden, wordt vastgesteld of het bad een gescheiden opvang heeft (stap 3a) of niet (stap 3b). De gescheiden opvangvoorziening moet zodanig zijn uitgevoerd dat de opgevangen cyanide niet kan mengen met de inhoud van een zuurbad. In dat geval zal minder HCN worden gevormd. De opvangvoorziening moet bovendien bestand zijn tegen warmtestraling van een brand. Een kunststof opvangvat biedt dus geen bescherming tegen het voorkomen van contact met zuren ten tijde van brand.
4. De hoeveelheid HCN die vrijkomt (Q_{HCN}), wordt afzonderlijk berekend voor de baden met een gescheiden opvang en de baden zonder gescheiden opvang, en is gelijk aan:

$$Q_{HCN} = Q_{HCN,max} \times f_1 \times f_2$$

De betekenis van $Q_{\text{HCN, max}}$, f_1 en f_2 is als volgt:

- $Q_{\text{HCN, max}}$ is de hoeveelheid HCN (in kg) die vrijkomt als alle in de baden aanwezige vrije cyanide reageert tot HCN. $Q_{\text{HCN, max}}$ is de som van de hoeveelheid cyanide (CN^- in kg) dat aanwezig is in de verschillende baden, vermenigvuldigd met de massaverhouding van HCN en CN^- (27/26). Vaak is niet de concentratie CN^- bekend maar de hoeveelheid van het cyanidezout. Voor de meest voorkomende cyanidezouten zijn de relevante stofgegevens weergegeven in Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Relevante stofgegevens voor veelvoorkomende cyanidezouten

Product	Molmassa (g/mol)	Massafractie CN^- (kg/kg)	Massafactor voor HCN (kg/kg)
CuCN	89,6	0,29	0,30
KAg(CN) ₂	199,0	0,26	0,27
KCN	65,1	0,40	0,42
NaCN	49,01	0,53	0,55
Zn(CN) ₂	118,0	0,44	0,46

- f_1 is een vervolfactor voor het cyanide dat wordt opgevangen in een gescheiden opvangvoorziening waarbij geen contact met zuren mogelijk is. Als sprake is van een volledig gescheiden opvang die bovendien bestand is tegen warmtebelasting bij brand, dan wordt voor de betreffende baden een reductiefactor $f_1 = 0,5$ toegepast (stap 4a). In alle andere gevallen geldt $f_1 = 1$ (stap 4b).

Tabel 7.3 Samenvatting te hanteren waarde voor f_1

	f_1
Gescheiden opvangvoorziening, geen contact met zuren mogelijk	0,5
Geen gescheiden opvangvoorziening, wel contact met zuren mogelijk	1

- f_2 is een vervolfactor voor de fractie CN^- dat reageert tot HCN. Cyanide (CN^-) reageert alleen tot HCN in een neutrale of zure omgeving. Omdat de meeste baden in een galvaniseerlijjn basisch zijn is het niet realistisch aan te nemen dat alle uitgestroomde cyanide zal reageren tot HCN. Evenmin is het realistisch aan te nemen dat er geen HCN zal worden gevormd vanwege het basisch milieu dat zich kan vormen. De volgorde en tempo van het leegstromen van de baden bij een brand wordt door toeval bepaald. Om in rekening te brengen dat een deel van de cyanide niet zal worden omgezet naar HCN vanwege het per saldo basische milieu van de vloeistoffen in de galvaniseerlijjn wordt een reductiefactor $f_2 = 0,5$ gehanteerd.

Tabel 7.4 Te hanteren waarde voor f_2

Fractie CN^- dat reageert tot HCN	f_2
Standaardwaarde	0,5

5. De totale emissiehoeveelheid HCN is de som van de hoeveelheden die vrijkomen uit de baden met een gescheiden opvang en de baden zonder gescheiden opvang.

6. De bronterm (B_{HCN}) hangt af van de fractie HCN die zich verspreidt naar de buitenlucht (f_3), en de tijdsduur waarbinnen het vrijkomt. Voor de bronterm geldt.

$$B_{HCN} = \frac{Q_{HCN} \times f_3}{1800}$$

Met de vervolgfactor f_3 wordt in rekening gebracht dat een deel van de HCN oxideert in de brand, waarbij stikstof, koolmonoxide en water wordt gevormd ($4HCN + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 4CO + 2H_2O$). Aangenomen wordt dat de helft van het HCN oxideert ($f_3 = 0,5$).

Tabel 7.5 Te hanteren waarde voor f_3

Fractie HCN dat oxideert in de brand	f_3
Standaardwaarde	0,5

Omdat de volgorde van bezwijken van de baden in de galvaniseerlijn in hoge mate een toevalsproces is en ook het tempo waarin de diverse baden zullen bezwijken, zal de bronterm een functie van de tijd zijn voordat pluimstijging optreedt (1800 s). Dit proces wordt benaderd door uit te gaan van een gelijkmatige verdeling over de tijd van de verspreiding van de HCN naar de omgeving. Daarom wordt de factor $Q_{HCN} \times f_3$ (kg) gedeeld door 1800 seconden.

7.3 Invoerparameters Safeti-NL

Het scenario brand in een productieruimte met cyanidehoudende baden, zoals beschreven in paragraaf 7.2, wordt op de onderstaande manier ingevoerd in Safeti-NL:

1. Voer in het tabblad Map het gebouw in waarin de galvaniseerruimte zich bevindt.
2. Voer in het tabblad Models een atmosferisch opslagvat in. Gebruik daarvoor de invoerwaarden van Tabel 7.6. De overige waarden blijven default.
3. Voer onder het atmosferische opslagvat een 'user defined source' in. Gebruik daarvoor de invoerwaarden van Tabel 7.7 en Tabel 7.8. De overige waarden blijven default.

Tabel 7.6 Invoergegevens voor het 'atmospheric storage vessel'

Tabblad	Parameters	Waarde
Material	Material Type of risk effects to model Mass	Hydrogen cyanide Toxic only Totale massa HCN die vrijkomt, $Q_{HCN} \times f_3$
Bund, building and terrain	Release building In-building release?	Het ingevoerde gebouw Ja

Tabel 7.7 Invoergegevens voor het 'user defined source' scenario

Tabblad	Parameters	Waarde
Scenario	Release scenario Number of release observers Observer data	Leak 2 Zie Tabel 7.8
Risk	Event frequency	$f_b \times 5,1 \times 10^{-3}$

Tabel 7.8 Invoergegevens voor de twee release observers

Parameter	Observer 1	Observer 2
Release time	1 s	1800 s
Release phase	vapour	vapour
Mass flow	B_{HCN} (kg/s)	B_{HCN} (kg/s)
Final velocity	0,01 m/s	0,01 m/s
Final temperature	50°C	50°C
Pre-dilution air rates	0 kg/s	0 kg/s

8 Opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid (E.9)

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de rekenmethode beschreven voor de tijdelijke opslag van gevaarlijke stoffen buiten een Seveso-inrichting en de overslag van deze stoffen (milieubelastende activiteit E.9). De overslag van gevaarlijke stoffen vindt hoofdzakelijk plaats in (tank)containers en is een deel van de transportketen van het ene naar het andere transportmiddel (uitwisseling tussen zeevaart, binnenvaart, weg en spoor). Tijdens de overslag kan een (tank)container gedurende een beperkte tijdsperiode op het bedrijfsterrein worden neergelegd.

De rekenmethode betreft ongevalsscenario's voor de overslag van gevaarlijke stoffen in (tank)containers en tijdens het verblijf op de locatie. Er zijn geen scenario's gedefinieerd voor de op- en overslag van explosieven.

De opslag van verpakte gevaarlijke stoffen in een opslagvoorziening, niet in een container, moet worden gemodelleerd als beschreven voor PGS 15-opslagplaatsen (Hoofdstuk 6).

Containers met gegaste lading zijn niet relevant voor de externe veiligheid [9].

8.2 Ongevalsscenario's

In deze paragraaf zijn de relevante ongevalsscenario's beschreven. De ongevalsscenario's betreffen scenario's bij:

- de overslag van tankcontainers (kleine en grote continue uitstroming (paragraaf 8.2.1)).
- de overslag van boxcontainers (continue uitstroming (paragraaf 8.2.2)).
- het verblijf van tankcontainers in de stack (intrinsiek falen (paragraaf 8.2.4) en BLEVE door brand in omgeving (paragraaf 8.2.5)).

Op ongevalsscenario's met betrekking tot horizontaal transport, overslag van los stukgoed en ro-ro terminals wordt ingegaan in paragraaf 8.2.6.

8.2.1 *Overslag tankcontainers*

Tabel 8.1 toont de ongevalsscenario's voor de overslag van tankcontainers. De frequentie is per behandelde container (omvat zowel de inslag als de uitslag, dus de totale afhandeling). Er wordt onderscheid gemaakt naar type tankcontainer (gas of vloeistof) en naar grootte van de uitstroming (klein of groot). In paragraaf 8.2.3 wordt toegelicht hoe de frequentie wordt toebedeeld aan verschillende deelhandelingen tijdens de totale afhandeling van een container.

Tabel 8.1 Ongevalsscenario's overslag tankcontainers

Eenheid	Grootte	Faalfrequentie [/overslag]	Omschrijving
Tankcontainer gas	Klein lek	$1,0 \times 10^{-6}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 10 mm in een continue en constante stroom.
	Groot lek	$1,0 \times 10^{-7}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 50 mm in een continue en constante stroom.
Tankcontainer vloeistof	Klein lek	$1,0 \times 10^{-6}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 20 mm in een continue en constante stroom. Maximaal plasoppervlak 180 m ² .
	Groot lek	$1,0 \times 10^{-7}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 50 mm in een continue en constante stroom. Maximaal plasoppervlak 900 m ² .

Opmerkingen tankcontainer gas:

1. De inhoud van een gas tankcontainer is 20 m³.
2. De duur van de uitstroming is maximaal 1800 s.
3. De vloeistofdruk wordt in rekening gebracht door aan te nemen dat de uitstroming geheel aan de onderzijde plaatsvindt. Dit leidt tot een extra druk veroorzaakt door de hoogte van het vloeistofniveau van 2 m.

Opmerkingen tankcontainer vloeistof:

1. De inhoud van een vloeistof tankcontainer is 28 m³.
2. De duur van de uitstroming is maximaal 1800 s.
3. De bronterm wordt berekend met een hoogte van het vloeistofniveau van 2 m.
4. Het plasoppervlak voor uitstroming uit een vloeistof tankcontainer is begrensd tot 180 en 900 m² voor continue uitstroming uit een gat met een diameter van 20 en 50 mm. Voor de ondergrond wordt uitgegaan van beton.

8.2.2 Overslag boxcontainers

Ongevalsscenario's voor de overslag van stukgoed in boxcontainers resulteren in een geringe uitstroming vergeleken met tankcontainers, omdat de verpakkingseenheden in boxcontainers veel kleiner zijn. Voor de meeste stofcategorieën betekent dit dat ze geen relevante bijdrage leveren aan het gevaar voor de externe veiligheid, omdat letale effecten buiten de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht niet waarschijnlijk zijn. Als er ook tankcontainers met stoffen uit dezelfde stofcategorie worden overgeslagen, zal de overslag van tankcontainers bepalend zijn voor het gevaar veroorzaakt door deze stofcategorie.

Een mogelijke uitzondering hierop vormt de overslag van toxisch gas of toxische vloeistof uit de grootste gevaarscategorie (bijvoorbeeld stofcategorie GT3 t/m GT5, LT3 en LT4). Het is voorstelbaar dat van deze stofcategorieën alleen overslag plaatsvindt van stukgoed in een boxcontainer. Tabel 8.2 toont de

ongevalscenario's voor de overslag van stukgoed in boxcontainers. De kans is per behandelde container. In paragraaf 8.2.3 wordt toegelicht hoe de frequentie wordt toebedeeld aan verschillende deelhandelingen tijdens de afhandeling van een container.

Tabel 8.2 Ongevalsscenario's overslag van stukgoed in boxcontainers

Eenheid	Faalfrequentie [/overslag]	Omschrijving
Boxcontainer toxisch gas	$1,0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen in de boxcontainer van 1000 kg uit een gat met een diameter van 15 mm.
Boxcontainer toxische vloeistof	$1,0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van totaal 1 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal plasoppervlak 200 m^2 .

Opmerking:

1. Het scenario voor boxcontainers met toxische vloeistoffen is gebaseerd op uitstroom vanuit een intermediate bulk container (IBC) met een inhoud 1 m^3 . Indien voor zeer toxische stoffen kan worden onderbouwd dat de maximale verpakkingsgrootte kleiner is, dan mag deze kleinere uitstroomhoeveelheid gehanteerd worden.

De verspreiding van toxisch gas wordt gemodelleerd als een uitstroming die binnen de container plaatsvindt met een ventilatievoud bepaald door de hoeveelheid uitstromend gas.

De verspreiding van toxische vloeistof wordt gemodelleerd als een uitstroming die buiten de container plaatsvindt. Voor de ondergrond wordt uitgegaan van beton.

8.2.3 *Toedeling aan deelhandelingen en posities op het terrein*

Tijdens een overslag worden er op verschillende posities op het terrein handelingen met een container verricht (bijvoorbeeld in en uit een schip, in en uit de stack, van en naar een transportmiddel voor de weg of het spoor). De handelingen waar de container kan falen zijn bij het oppakken en neerzetten van een container. Deze verticale handelingen vinden plaats op de kade, bij het uitwisselpunt met een transportmiddel voor de weg of het spoor en bij het in en uit de stack plaatsen. De kans op falen tijdens intern horizontaal transport tussen deze punten wordt verwaarloosd, omdat wordt aangenomen dat wanneer de container goed is opgepakt deze niet zal vallen tijdens het horizontale transport.

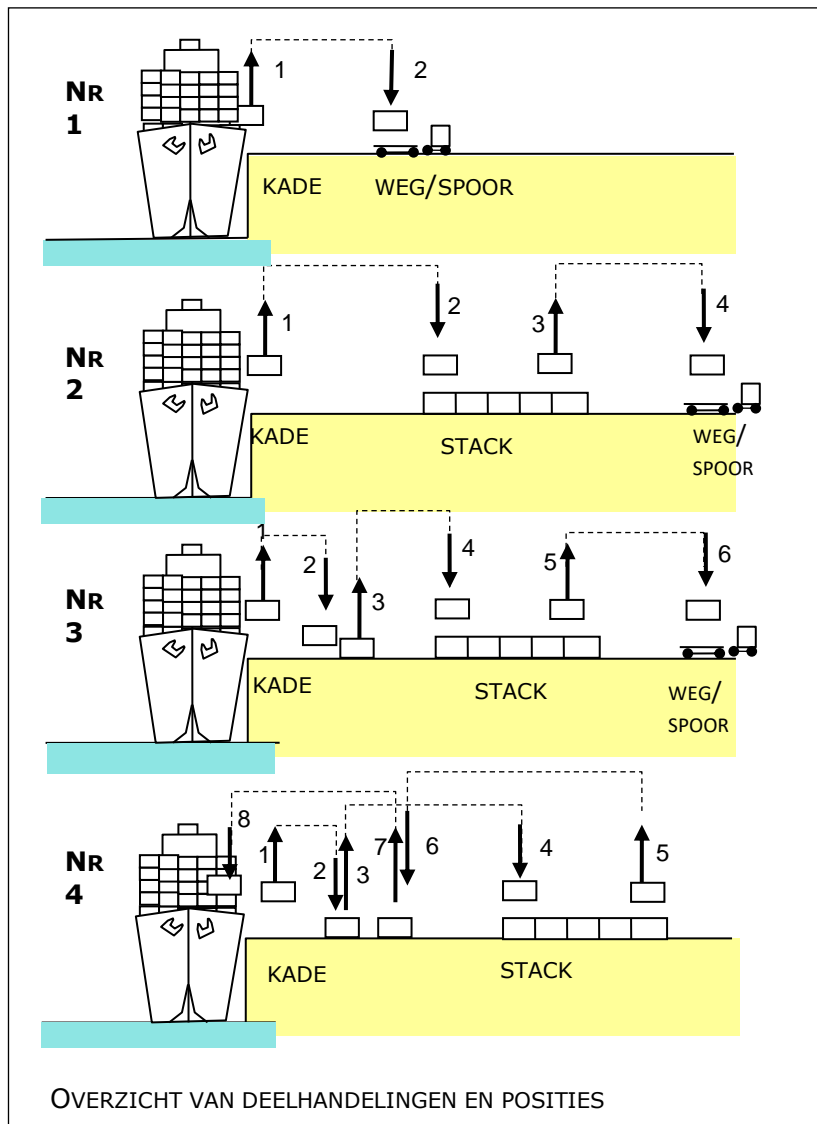
Om de faalfrequentie tijdens overslag per behandelde container te kunnen differentiëren naar werkwijze en positie is het volgende aangenomen:

- De faalfrequenties voor overslag van een container (paragraaf 8.2.1 en 8.2.2) gelden voor een werkwijze die bestaat uit zes verticale handelingen.
- De faalfrequentie voor een werkwijze wordt bepaald door het aantal verticale handelingen. Elke verticale handeling heeft dezelfde faalfrequentie, namelijk $1/6$ van de faalfrequentie in paragraaf 8.2.1 en 8.2.2. Tabel 8.3 toont het aantal verticale handelingen met een (tank)container onderscheiden naar werkwijze (zie ook Figuur 8.1).
- De positie van de ongevalsscenario's wordt verdeeld over de locaties (kade, stack, weg/spoor). De positie van de handeling per werkwijze is gegeven in Tabel 8.3.

De ongevalposities dienen in Safeti-NL zodanig te worden gemodelleerd dat een goede weergave van de complexiteit van de activiteit wordt bereikt. De kade en de stack zullen meestal met meer dan één ongevalpositie dienen te worden gemodelleerd. Het is ook mogelijk te kiezen voor één of meerdere lijnbronnen.

Tabel 8.3 Aantal verticale handelingen onderscheiden naar werkwijze en positie

Nr	Omschrijving	Aantal verticale handelingen			
		Totaal	Kade	Stack	Weg/ spoor
1	Een container wordt vanuit een schip rechtstreeks op een weg of spoor transportmiddel geplaatst.	2	1	0	1
2	Een container wordt vanuit een schip rechtstreeks in de stack geplaatst. Later wordt de container vanuit de stack op een weg of spoor transportmiddel geplaatst.	4	1	2	1
3	Een container wordt vanuit een schip eerst neergezet op de kade en pas daarna in de stack geplaatst. Later wordt de container vanuit de stack op een weg of spoor transportmiddel geplaatst.	6	3	2	1
4	Een container wordt vanuit een schip eerst neergezet op de kade en pas daarna in de stack geplaatst. Later wordt de container vanuit de stack weer eerst op de kade neergezet en pas daarna op een schip geplaatst.	8	6	2	0



Figuur 8.1 Schematische weergave van verticale deelhandelingen bij overslag van containers met gevaarlijke stoffen

8.2.4 Verblif op terrein: intrinsiek falen

Tabel 8.4 toont de ongevalscenario's voor het intrinsiek falen van een tankcontainer tijdens verblijf in de stack. De frequentie in deze tabel is voor een verblijfsduur van een jaar.

Tabel 8.4 Ongevalsscenario's intrinsiek falen tankcontainers

Eenheid	Frequentie [/jaar]	Omschrijving
Tankcontainer gas	$5,0 \times 10^{-7}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.
Tankcontainer vloeistof	$5,0 \times 10^{-7}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud. Maximaal oppervlak 1400 m ² .

Opmerkingen:

1. De inhoud is 20 m³ voor een gas tankcontainer en 28 m³ voor een vloeistof tankcontainer.

2. De totale frequentie voor de locatie wordt afgeleid per stofcategorie uit het product van het aantal behandelde tankcontainers, de gemiddelde verblijftijd en de frequentie opgenomen in Tabel 8.4.
3. De positie van de ongevalsscenario's wordt gemodelleerd conform de positie waar de IMDG-containers op het terrein worden opgeslagen. De frequentie voor de locatie wordt over deze posities verdeeld. De ongevalsposities dienen in Safeti-NL zodanig te worden gemodelleerd dat een goede weergave wordt bereikt van de complexiteit van de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht.
4. Het plasoppervlak voor uitstroming uit een vloeistof tankcontainer is begrensd tot 1400 m². De standaard keuze voor de ondergrond is beton, waarvoor de minimale laagdikte gelijk is aan 5 mm. Mits onderbouwd mag overigens worden afgeweken van deze standaard modellering.

Het intrinsiek falen van een verpakking van los stukgoed of stukgoed in een boxcontainer wordt niet gemodelleerd. Deze werkwijze is conform de methodiek voor PGS 15-opslagplaatsen zoals beschreven in Hoofdstuk 6 (voor falen tijdens overslag zie paragraaf 8.2.6).

8.2.5 *Verblijf op terrein: BLEVE door externe brand*

Een bijzondere vorm van falen van een gas tankcontainer is een BLEVE tijdens het verblijf in de stack veroorzaakt door een externe brand. De externe brand in de stack kan ontstaan na lekkage van een tankcontainer met brandbare vloeistof, veroorzaakt door een handeling, of door intrinsiek falen tijdens verblijf.

De frequentie van de BLEVE door een externe brand wordt met een eenvoudige benadering geschat. In deze benadering wordt alleen het scenario brand in de stack na een grote uitstroming tijdens het in en uit de stack plaatsen van een LF2 container beschouwd. De frequentie van de BLEVE is:

$$F_{BLEVE} = F_{brand} \times P \times N_g \times \frac{t_g}{365}$$

waarin:

F_{BLEVE}	=	Frequentie van de BLEVE [/jaar]
F_{brand}	=	Frequentie van brand [/jaar]
P	=	Trefkans [-]
N_g	=	Aantal gas tankcontainers jaarlijks in de stack geplaatst
t_g	=	Verblijftijd in de stack van een gas tankcontainer [dag]
365	:	dagen per jaar

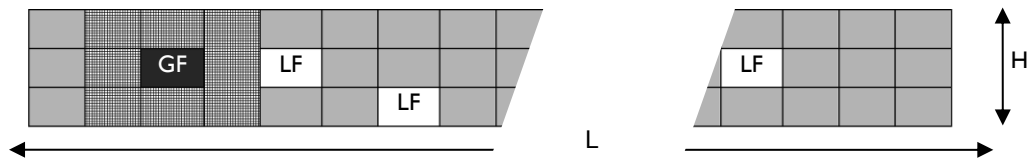
De frequentie van brand na uitstroming uit een LF2 container is:

$$F_{brand} = f(\text{overslag}) \times N_v \times P_{ontsteking} \times R$$

waarin:

F_{brand}	=	Frequentie van de brand [/jaar]
$f(\text{overslag})$	=	Kans op grote uitstroming in de stack [/container]
N_v	=	Aantal LF2 tankcontainers jaarlijks in de stack geplaatst [/jaar]
$P_{ontsteking}$	=	Kans op ontsteking [-]. De waarde is 0,13.
R	=	Kans op falen van repressief optreden door de brandweer [-]. De waarde is 0,1.

De trefkans P kan worden bepaald door voor het plasoppervlak van de brand van 900 m^2 (zie Tabel 8.1, diameter 34 m) vast te stellen op hoeveel plaatsen in de stack deze brand kan leiden tot vlamcontact met de gas tankcontainer. Vlamcontact wordt als criterium gehanteerd of een BLEVE van de gas tankcontainer mogelijk is. Dit aantal plaatsen is afhankelijk van de grootte van de brand en de opbouw van de stack (gangpaden, stackhoogte). Containers met gevaarlijke stoffen worden altijd aan de buitenzijde van de stack geplaatst. Vereenvoudigd kan deze stack voor gevaarlijke stoffen worden gezien als een lange rij van gestapelde containers. De stack voor gevaarlijke stoffen kan nu gekenmerkt worden door een lengte en het aantal boven elkaar gestapelde containers. Figuur 8.2 toont een schematische weergave.



Figuur 8.2 Schematische weergave stack met gevaarlijke stoffen

Het totaal aantal plaatsen in de stack voor gevaarlijke stoffen is:

$$P_s = L \times \frac{H}{l}$$

waarin:

P_s	=	Aantal plaatsen in de stack voor gevaarlijke stoffen [-]
L	=	Lengte van de stack voor gevaarlijke stoffen [m]
H	=	Aantal boven elkaar gestapelde containers [-]
l	=	Lengte van een container [m]. Voor een container van 20 TEU ¹⁰ is de lengte 6 m.

Voor elk scenario wordt het aantal plaatsen in de stack afgeleid die bij uitstroming en ontsteking leiden tot direct vlamcontact. Dit aantal kan vereenvoudigd worden afgeleid met:

$$p_v = H - 1 + \text{trunc}(d \times \frac{H}{l})$$

Hierin is:

p_v	=	Aantal plaatsen in de stack die leiden tot direct vlamcontact [-]
H	=	Aantal boven elkaar gestapelde containers [-]
d	=	Diameter van de brand [m]
trunc	:	Afronding naar beneden tot een geheel getal
l	=	Lengte van een container [m]

De trefkans P voor elk scenario is dan gelijk aan p_v/P_s .

8.2.6

Overig

Horizontaal transport

Horizontaal transport tijdens de aan- en afvoer met transportmiddelen wordt in de analyse niet beschouwd. Alleen als er een emplacementgedeelte voor

¹⁰ TEU = Twenty feet Equivalent Unit

spoorwagens aanwezig is, waar rangeren met treindelen plaatsvindt, dient de methodiek voor spoorwegemplacements te worden toegepast (zie hoofdstuk 11).

Overslag los stukgoed

De overslag van los stukgoed komt nagenoeg niet meer voor, omdat deze wijze van overslag niet meer gebruikelijk is. Daarnaast is de hoeveelheid die vrij kan komen beperkt tot een verpakkingseenheid, zodat de bijdrage aan het gevaar beperkt is. Om deze redenen kan de overslag van los stukgoed worden verwaarloosd. Een uitzondering dient te worden gemaakt als stoffen vallend in de meest gevaarlijkste toxische stofcategorieën op deze wijze worden overgeslagen. Modelleren dient in overleg met het bevoegd gezag plaats te vinden.

Ro-ro terminal

Bij een ro-ro terminal zonder verticale handelingen waarbij de (tank)containers niet van het transportmiddel worden gehaald wordt alleen het intrinsiek falen tijdens het verblijf op de locatie gemodelleerd.

Wanneer er wel verticale handelingen plaatsvinden, moeten de ongevalsscenario's voor overslag meegenomen worden. Dit is bijvoorbeeld het geval als de containers worden overgezet op een intern vervoermiddel.

Railterminal

Bij een railterminal wordt de overslag en verblijf van (tank)containers gemodelleerd zoals beschreven in paragraaf 8.2.1 t/m 8.2.5. De ongevalsfrequentie tijdens overslag wordt gebaseerd op het aantal verticale handelingen afgeleid uit de bedrijfsvoering. Voor de specifieke ongevalsscenario's verbonden aan het emplacementsgedeelte dient de rekenmethode spoorwegemplacements te worden toegepast (zie hoofdstuk 11).

8.3 Parameters

8.3.1 *Kans op ontsteking overslag*

Voor de kans op directe ontsteking en de vervolggebeurtenissen wordt dezelfde modellering gehanteerd als beschreven voor continue uitstroming uit een tankauto in module I.

8.3.2 *Kans op ontsteking intrinsiek falen*

Voor de kans op directe ontsteking en de vervolggebeurtenissen wordt dezelfde modellering gehanteerd als beschreven voor een tankauto in module I.

Voor het als gevolg van intrinsiek falen instantaan vrijkomen van de inhoud uit een tankcontainer met tot vloeistof verdicht brandbaar gas met directe ontsteking (gemodelleerd als een BLEVE), wordt een faaldruk gehanteerd van 23.5 barg. Dit is de druk die maximaal voor het falen van een tankauto wordt gebruikt.

8.3.3 *Begrenzing vloeistofplas*

De effect- en schademodelering van de uitstroming van vloeistoffen wordt sterk beïnvloed door de veronderstelling welke omvang van de plas maximaal bereikt kan worden. De locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht is veelal zodanig ingericht dat er een begrenzing van de vloeistofplas optreedt. Voor elk scenario is daarom een maximaal te bereiken oppervlak vastgesteld, hetgeen in de tabellen en tekst van de voorgaande paragrafen is opgenomen. In

Safeti-NL wordt dit oppervlak gemodelleerd als het oppervlak van een denkbeeldige tankput.

8.3.4 *Overig*

Ongevallen langs de kade worden gemodelleerd met als ondergrond land (beton). Er vindt geen uitstroming op water plaats.

8.4 **Doorzet**

Bij het uitvoeren van de milieubelastende activiteit kan een breed scala aan gevaarlijke stoffen worden gebruikt. De risico- en effectanalyse wordt uitgevoerd voor een in overleg met het bevoegd gezag vastgestelde representatieve doorzet van gevaarlijke stoffen. Niet elke stof hoeft in de analyse apart te worden gemodelleerd. Stoffen worden zo veel mogelijk samengevoegd in stofcategorieën en gemodelleerd met voorbeeldstoffen.

Een representatieve doorzet kan worden afgeleid uit een jaaroverzicht van de doorzet van IMDG-containers. Er dient onderscheiden te worden naar stukgoed (drums, IBC's) in boxcontainers en tankcontainers. Informatie benodigd betreft het jaarlijks aantal doorgezette containers per type stof. Het type stof wordt gekarakteriseerd door het UN-nummer en de GEVI-code en een stofnaam. Met deze gegevens wordt een overzicht gemaakt naar stofcategorie.

De berekende risico's en effecten kunnen sterk afhankelijk zijn van veronderstellingen over het aantal doorgezette tankcontainers met zeer toxische gassen of vloeistoffen. Het is mogelijk dat er geen overslag van deze stoffen voorkomt in de gegevens gehanteerd voor de doorzet. In overleg met het bevoegd gezag wordt vastgesteld of hier desondanks rekening mee moet worden gehouden.

Als geen historische informatie beschikbaar is over de te verwachten doorzet van IMDG-containers, dan wordt de analyse uitgevoerd met een veronderstelling voor deze doorzet. Deze veronderstelling wordt in overleg met het bevoegd gezag vastgesteld.

9 Opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation. Voor LPG (A.1.a), CNG (A.2), waterstof (B.5) en LNG (E.10)

9.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor LNG-tankstations (milieubelastende activiteit E.10 uit Bijlage VII van het Bkl). Aanname bij deze rekenmethode is dat het LNG-tankstation voldoet aan het gestelde in de PGS 33-1 [10].

De rekenmethode in dit hoofdstuk kan ook worden gebruikt voor LPG-tankstations (milieubelastende activiteit A.1.a), CNG-tankstations (milieubelastende activiteit A.2) en waterstoftankstation's (milieubelastende activiteit B.5). De rekenmethode voor deze installaties wijkt op bepaalde punten af van de LNG-rekenmethode. De uitzonderingen zijn in dit hoofdstuk benoemd. Aanname is dat de installaties voldoen aan het gestelde in de geldende PGS (CNG: PGS 25 [11], LPG: PGS 16 [12], waterstof: PGS 35 [13]).

Op een LNG-tankstation kunnen ook installatieonderdelen aanwezig zijn voor levering voor CNG.

9.1.1 Overzicht scenario's

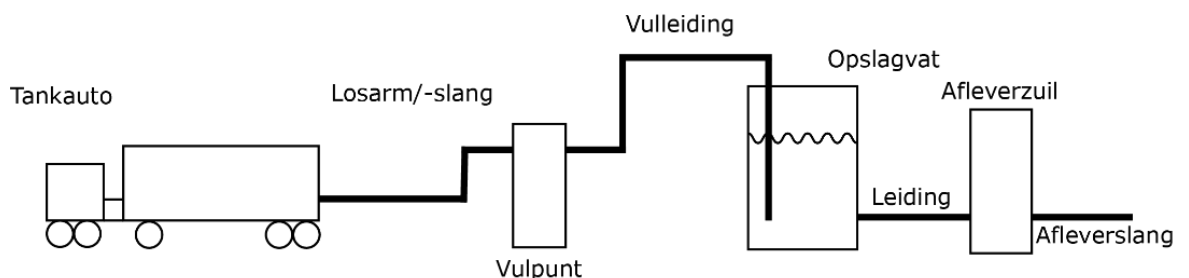
Voor het LNG-tankstation moeten ten minste scenario's meegenomen worden voor de volgende handelingen/onderdelen:

- Tankauto (intrinsiek falen) : paragraaf 9.2
- Verlading tankauto : paragraaf 9.3
- BLEVE-scenario's van de tankauto : paragraaf 9.4
- opslag en buffering (= conditionering) van LNG : paragraaf 9.5
- Aflevering LNG aan voertuigen : paragraaf 9.6

Voor de modellering van nalevering en repressieve systemen wordt verwezen naar module I. Afwijkende modellering voor andere brandstoffen wordt besproken in:

- CNG : paragraaf 9.7
- LPG : paragraaf 9.8
- Waterstof : paragraaf 9.9

In Figuur 9.1 is een (vereenvoudigd) LNG-systeem geschetst zoals dat in dit rekenvoorschrift wordt beschouwd. De gebruiker dient te onderzoeken of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd.



Figuur 9.1 Systeem afbakening LNG

9.1.2 Stofparameters

LNG wordt doorgerekend als methaan. Dit is licht conservatief t.o.v. aardgas.

9.2 Tankauto

De scenario's voor het intrinsiek falen van de tankauto zijn samengevat in Tabel 9.1.

Tabel 9.1 Scenario's voor de LNG tankauto

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)
T1: tankauto - instantaan falen	$f_A \times 5 \times 10^{-7}$
T2: tankauto - grootste aansluiting	$f_A \times 5 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

- De basisfaalfrequenties zijn gegeven per jaar en worden daarom gecorrigeerd voor de fractie van de tijd dat de tankauto op de locatie aanwezig is middels de factor f_A .

$$f_A = \frac{t_A}{8766}$$

Met:

t_A : tijd dat de tankauto aanwezig is op de locatie, in uren;

In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren.

- Voor de inhoud van de tankauto wordt uitgegaan van een maximale vulgraad van 95% bij een insteldruk van de veerveiligheid van 10 bara.
- Voor het vervolgsenario BLEVE bij het instantaan falen wordt bij een dubbelwandige tankauto geen verhoogde faaldruk gedefinieerd, bij een enkelwandige tankauto moet de faaldruk op 1,21 maal de insteldruk van de veerveiligheid gezet worden.

9.3 Verlading tankauto

De scenario's voor de losslang en losarm zijn gegeven in Tabel 9.2. De losslang is van metaal of van een composiet materiaal. Voor de vulleiding wordt aangesloten bij de scenario's voor leidingen (paragraaf 9.5.3).

Tabel 9.2 Scenario's voor het falen van een losslang of losarm.

Scenario	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)		
	slang metaal	Slang comp.	arm
L.1 Breuk	$t_v \times 4 \times 10^{-6}$	$t_v \times 4 \times 10^{-7}$	$t_v \times 3 \times 10^{-8}$
L.2: Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	$t_v \times 4 \times 10^{-5}$	$t_v \times 4 \times 10^{-5}$	$t_v \times 3 \times 10^{-7}$

Opmerkingen:

- De basisfaalfrequenties voor de losslang en -arm zijn gegeven per uur. Deze basisfaalfrequenties worden daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat er per jaar wordt verladen (t_v).

2. Voor de faalkans van de composietslang is dezelfde reductie in faalkans aangenomen als in hoofdstuk 4.
3. Het scenario L.1 wordt gemodelleerd als *line rupture* met een uitstroming gelijk aan het losdebiet.
4. Overdruk in de tankauto kan worden gecreëerd met een pomp, door het creëren van een voordruk (verdampen van LNG en toevoegen aan de gasfase in de tankauto), of door een combinatie van de twee. In het laatste geval kan falen van de pomp leiden tot veel grotere uitstroming. Deze combinatie dient met maatwerk berekend te worden.

9.4 BLEVE scenario's

Een BLEVE van een aanwezige tankauto kan ontstaan ten gevolge van brand tijdens de verlading, brand in de omgeving en externe beschadiging.

9.4.1 BLEVE door brand tijdens verlading

Tijdens verlading kan een langdurige lekkage van LNG ontstaan; bij ontsteking kan dit uiteindelijk tot een BLEVE van de tankauto kan leiden. Het scenario en de frequentie zijn gegeven in Tabel 9.3.

Tabel 9.3 BLEVE-scenario van de LNG-tankauto ten gevolge van een brand tijdens verlading.

Scenario	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
B1: BLEVE tankauto	$t_V \times f_{\text{red}} \times 5.8 \times 10^{-10}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequentie voor brand tijdens verlading is gegeven per uur. Deze basisfaalfrequentie wordt daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat er per jaar wordt verladen (t_V).
2. Een tankstation kan bevoorrad worden door enkelwandige en/of dubbelwandige tankauto's. Alleen als in de vergunning geborgd is dat het tankstation bevoorrad wordt met dubbelwandige tankauto's, kan gerekend worden met de reductiefactor voor dubbelwandige tankauto's. Als dit niet geborgd is, moet gerekend worden met de reductiefactor voor enkelwandige tankauto's:
 - a. Reductiefactor $f_{\text{red}} = 1$, voor een enkelwandige LNG tankauto (of ongecoate LPG tankauto).
 - b. Reductiefactor $f_{\text{red}} = 0,05$, voor een dubbelwandige LNG tankauto (of gecoate LPG tankauto).
3. De BLEVE wordt gemodelleerd als een warme BLEVE met faaldruk 11,1 barg (1,21 maal de insteldruk van het veiligheidsventiel).

9.4.2 BLEVE door brand in de omgeving

De frequentie van een brand in de omgeving van een tankauto is afhankelijk van een aantal toetsingsafstanden (Tabel 9.4) en wordt afgeleid uit Tabel 9.5.

Tabel 9.4 Toetsingsafstanden vanaf het vulpunt ten opzichte van een aantal objecten.

Nr	Object	Toetsingsafstand (m)
1	LNG-afleverzuil	17,5
2	Benzine-afleverzuil	5
3	Opstelplaats benzine tankauto	25
4	Gebouw zonder brandbescherming	
	- hoogte < 5 m - 5 m < hoogte < 10 m - hoogte > 10 m	10 15 20
	Gebouw met brandbescherming (en maximaal 50% gevelopeningen)	
	- hoogte < 5 m - 5 m < hoogte < 10 m	5 10
	- hoogte > 10 m	15

Tabel 9.5 Frequentie van een brand nabij een LNG-tankauto (per uur aanwezigheid van de tankauto)

Ligt het vulpunt binnen de toetsingsafstand uit Tabel 9.4?				Brandfrequentie (per uur aanwezigheid van de tankauto)
LNG afleverzuil	Benzine afleverzuil	Opstelplaats tankauto	Gebouw	
Ja	Ja	Ja	Ja	4×10^{-8}
Nee	Ja	Ja	Ja	
Ja	Nee	Ja	Ja	
Ja	Ja	Nee	Ja	
Ja	Nee	Nee	Ja	
Nee	Ja	Nee	Ja	
Nee	Nee	Ja	Ja	
Nee	Nee	Nee	Ja	
Ja	Ja	Ja	Nee	2×10^{-8}
Ja	Nee	Ja	Nee	
Nee	Nee	Nee	Ja	
Ja	Ja	Nee	Nee	$1,6 \times 10^{-8}$
Nee	Ja	Ja	Nee	
Ja	Nee	Nee	Nee	$1,2 \times 10^{-8}$
Nee	Nee	Ja	Nee	
Nee	Ja	Nee	Nee	8×10^{-9}
Nee	Nee	Nee	Nee	4×10^{-9}

De BLEVE frequentie van de LNG-tankauto die wordt aangestraald door een brand in de omgeving, is gegeven door:

$$f_{BLEVE} = f_{brand} \times t_A \times f_{red} \times 0,19$$

waarin:

- f_{BLEVE} = de frequentie van een BLEVE [jaar⁻¹]
 f_{brand} = de kans op een brand in de omgeving op basis van de toetsingsafstanden uit Tabel 9.5 [uur⁻¹]
 t_A = het aantal uren dat de tankauto per jaar aanwezig is op de locatie [uur⁻¹]
 f_{red} = een reductiefactor, voor een dubbelwandige tankauto geldt $f_{red} = 0,05$, anders $f_{red} = 1$ [-]

0,19 : factor die voortkomt uit het feit dat in 90% van de gevallen de aangestraalde wand gekoeld wordt door de vloeistof in de tank [-]

Opmerkingen:

1. Voor LNG-tankauto's wordt de BLEVE gemodelleerd als een warme BLEVE met faaldruk 11,1 barg (saturated liquid bij een temperatuur van -120 °C).

9.4.3 BLEVE door externe beschadiging

Een BLEVE van de tankauto kan ook plaatsvinden ten gevolge van externe impact. De BLEVE kans is afhankelijk van de opstelplaats en is gegeven in Tabel 9.6.

Tabel 9.6 Frequentie van een BLEVE van een LNG-tankauto ten gevolge van externe beschadiging.

Opstelplaats tankauto	BLEVE frequentie (jaar ⁻¹)
Geïsoleerde opstelplaats waarbij een aanrijding van opzij tegen de leidingkast niet aannemelijk wordt geacht (ook niet met lage snelheid)	$t_A \times 5 \times 10^{-11}$
Opstelplaats op een (wegrij)strook met een toegestane snelheid van maximaal 70 km/uur	$t_A \times 9,6 \times 10^{-10}$
Overige situaties	$t_A \times 4,6 \times 10^{-9}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequentie voor externe beschadiging is gegeven per uur. Deze basisfaalfrequenties worden daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat de tankauto per jaar aanwezig is op de locatie (t_A).
2. De BLEVE wordt gemodelleerd als een koude BLEVE (*saturated liquid* bij een temperatuur van -150°C).

9.5 Opslag en buffering van LNG

9.5.1 Opslagvat en buffervat

De scenario's voor het falen van het opslagvat en buffervat zijn gegeven in Tabel 9.7.

Tabel 9.7 Scenario's voor het opslagvat en buffervat.

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)
O.1: opslagvat/buffervat - instantaan falen	5×10^{-7}
O.2: opslagvat/buffervat - 10 minuten uitstroming	5×10^{-7}
O.3: opslagvat/buffervat - 10 mm gat	1×10^{-5}

Opmerkingen:

1. Het scenario *afblazen veerveiligheid* (*pressure relief scenario*) is niet meegenomen omdat er geen effecten op grondniveau zijn.

9.5.2 Pompen en warmtewisselaars

Afhankelijk van de uitvoering van het tankstation wordt een aantal pompen en warmtewisselaars gebruikt, zoals:

- Een pomp bij het opslagvat die het LNG verpompt naar de buffervaten of de warmtewisselaar;

- Een pomp na elk buffervat om het LNG naar de afleverzuil te verpompen;
- Een hogedruk pomp / compressor voor de warmtewisselaar om LNG te verdampen voor levering van CNG.

De scenario's voor het falen van de pompen en warmtewisselaars zijn gegeven in Tabel 9.8 en Tabel 9.9.

Tabel 9.8 Scenario's voor pompen

Scenario	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)	
	Canned pomp	Pomp pakking
P3.1 Breuk pomp	$f_G \times 1 \times 10^{-5}$	$f_G \times 1,0 \times 10^{-4}$
P3.2 Lek pomp (10% diameter)	$f_G \times 5 \times 10^{-5}$	$f_G \times 4,4 \times 10^{-3}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequenties voor de pomp zijn gegeven per jaar en worden daarom gecorrigeerd voor de fractie van de tijd dat de pomp in gebruik is middels de tijdsfractie gebruik f_G :

$$f_G = \frac{t_G}{8766}$$

Met:

t_G = de tijdsduur dat de pomp in gebruik is, in uren per jaar. Hierbij moet rekening worden gehouden met het gebruik voor eventuele levering aan de CNG installatie.

In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren;

2. De breukscenario's worden gemodelleerd als een *Line rupture* in een leiding op 5 meter van het vat.
3. Wanneer in een opslagvat of buffervat een *submerged* pomp wordt toegepast, vervallen de faalscenario's van Tabel 9.8 omdat het falen van de pomp niet leidt tot het vrijkomen van LNG.

Tabel 9.9 Scenario's voor de warmtewisselaar

Scenario	Faalfrequentie (jaar ⁻¹)
W.1: Breuk	$f_G \times 1 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequenties voor de warmtewisselaar zijn gegeven per jaar en worden daarom gecorrigeerd voor de fractie van de tijd dat de warmtewisselaar in gebruik is middels de tijdsfractie gebruik f_G :

$$f_G = \frac{t_G}{8766}$$

Met:

t_G = de tijdsduur dat de warmtewisselaar in gebruik is, in uren per jaar.

In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren;

2. De warmtewisselaar bestaat uit een stuk verwarmde leiding en is gemodelleerd als een leidingsegment van 10 meter.

9.5.3

Leidingen

De scenario's voor het falen van de leidingen zijn gegeven in Tabel 9.10 (zie ook module I).

Tabel 9.10 Scenario's voor de LNG-leidingen.

Scenario	Faalfrequentie (m ⁻¹ jaar ⁻¹)	
	Ondergronds	Bovengronds (nominale diameter <75 mm)
Breuk	$f_G \times 5 \times 10^{-7}$	$f_G \times 1 \times 10^{-6}$
Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	$f_G \times 1,5 \times 10^{-6}$	$f_G \times 5 \times 10^{-6}$

Opmerkingen:

1. Om de faalfrequentie te bepalen voor breuk en lekkage van een leiding dient de basisfaalfrequentie nog vermenigvuldigd te worden met de lengte van de leiding en de tijdsfractie gebruik f_G van de leiding:

$$f_G = \frac{t_G}{8766}$$

Met:

t_G = de tijdsduur dat de leiding in gebruik is, in uren per jaar.
In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren;

2. In afwijking van module I wordt hier voor ondergrondse leidingen een gatgrootte van 10% van de diameter gehanteerd voor het lekscenario, omdat het over het algemeen smalle leidingen betreft. De gebruiker kan aansluiten bij module I indien dit een realistische beschrijving van het lekscenario geeft.

9.6 Aflevering LNG aan voertuigen

De scenario's voor het falen van de afleverslang zijn gegeven in Tabel 9.11.

Tabel 9.11 Scenario's voor het falen van de afleverslang.

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)	
	slang standaard	slang composiet
L.1: Breuk	$t_G \times 4 \times 10^{-6}$	$t_G \times 4 \times 10^{-7}$
L.2: Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	$t_G \times 4 \times 10^{-5}$	$t_G \times 4 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

1. De basisfaalfrequentie voor de afleverslang zijn gegeven per uur. De scenario's in Tabel 9.11 worden daarom vermenigvuldigd met het aantal uren dat deze per jaar in gebruik is (t_G).
2. De hoogte van het uitstroomdebiet bij breuk is 1,5 maal het afleverdebiet.

9.7 CNG

Een CNG-tankstation kan onderdeel zijn van een LNG-tankstation. CNG-voerende installatieonderdelen zijn bijvoorbeeld pompen, opslag-/buffervaten en leidingwerk, met scenario's zoals beschreven in paragraaf 9.5.

Voor een losstaand CNG-tankstation wordt aardgas geleverd via het aardgasleidingnet. Een compressor perst het gas in een buffer bestaande uit gasflessenbatterijen (cilinderpakketten). Relevante onderdelen zijn:

- Buffer (gemodelleerd als een gasflessenbatterij, zie hoofdstuk 5, voor de lek grootte wordt 10 mm genomen)
- Afleverslang voor levering aan voertuigen (zie paragraaf 9.6 voor scenario's)
- Leidingwerk (zie leidingscenario's LNG in paragraaf 9.5.3, of module I).

9.8 LPG

Voor LPG-tankstations wordt dezelfde rekenmethode gebruikt als voor LNG-tankstations. Indien het systeem substantieel van de beschrijving van het LNG-systeem afwijkt dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd.

Daarnaast zijn er enkele uitzonderingen en aanvullingen, hieronder beschreven.

9.8.1 Stofparameters

LPG wordt doorgerekend als propaan.

9.8.2 BLEVE door brand in de omgeving

Voor LPG-tankauto's 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.). De BLEVE frequentie van een LPG-tankauto die wordt aangestraald door een brand in de omgeving is gegeven in Tabel 9.12.

Tabel 9.12: BLEVE frequenties voor LPG-tankauto's.

Vulgraad	BLEVE frequentie [jaar ⁻¹]
100%	$f_{brand} \times t_A \times f_{red} \times 0,33 \times 0,19$
67%	$f_{brand} \times t_A \times f_{red} \times 0,33 \times 0,46$
33%	$f_{brand} \times t_A \times f_{red} \times 0,33 \times 0,73$

Opmerking:

1. De parameters f_{brand} , t_A en f_{red} hebben dezelfde betekenis als in paragraaf 9.4.2.
2. Voor LPG-tankauto's wordt de BLEVE gemodelleerd als een warme BLEVE met de faaldruk gelijk aan 24,5 bara (23,5 barg).

9.8.3 BLEVE door externe beschadiging

De kans op een BLEVE door externe beschadiging is gegeven in Tabel 9.6. Voor LPG-tankauto's gelden de volgende opmerkingen:

1. De BLEVE wordt gemodelleerd als een koude BLEVE (faaldruk bij omgevingstemperatuur).

2. De faalfrequentie wordt verdeeld over 3 scenario's met verschillende vulgraden, 100%, 67% en 33%, ieder met 0,33 van de faalfrequentie uit Tabel 9.6.

9.9 Waterstof

In PGS 35 worden drie types van aanlevering van waterstof aan een waterstofafleverinstallatie beschreven, namelijk

1. Aanlevering van gasvormig waterstof via pijpleiding of via lokale productie.
2. Aanlevering van gasvormig waterstof via een tube- of cilindertrailer.
3. Aanlevering van vloeibaar waterstof per tankwagen.

Voor ieder type worden kort de scenario's besproken. Indien het systeem substantieel van de hier volgende beschrijving afwijkt dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd.

9.9.1 *Type 1: gasvormig waterstof via pijpleiding*

Relevante onderdelen zijn:

- Aanvoerleiding en overig leidingwerk (zie leidingsscenario's LNG in paragraaf 9.5.3, of module I).
- Purifier (gemodelleerd als een procesvat, zie module I)
- Compressor (gemodelleerd als een zuigercompressor of centrifugaalcompressor met pakking, zie module I)

9.9.2 *Type 2: gasvormig waterstof via een tube- of cilindertrailer*

Relevante onderdelen zijn:

- Tubetrailer (gemodelleerd als tankauto onder druk, zie paragraaf 9.2 of module I)
- Losslang (zie paragraaf 9.3, de faalfrequentie van de composiet losslang kan worden gebruikt)
- Leidingwerk (zie leidingsscenario's LNG in paragraaf 9.5.3, of module I).
- Opslagtank onder druk (zie paragraaf 9.5.1, of module I)
- Purifier (gemodelleerd als een procesvat, zie module I)
- Compressor (gemodelleerd als een zuigercompressor of centrifugaalcompressor met pakking, zie module I)

Daarnaast moeten voor de tubetrailer BLEVE-scenario's worden meegenomen.

Er wordt standaard gerekend met een reductiefactor $f_{red} = 1$ (d.w.z. een enkelwandige tankauto).

- BLEVE tijdens verlading (zie paragraaf 9.4.1).
- BLEVE door brand in de omgeving (zie paragraaf 9.4.2, standaard wordt gerekend met een kans op brand van $f_{brand} = 4 \times 10^{-8}$, en de factor 0,19 wordt wel in rekening gebracht).
- BLEVE door externe beschadiging (zie paragraaf 9.4.3).

9.9.3 *Type 3: vloeibaar waterstof per tankwagen*

Relevante onderdelen zijn:

- Tankauto (zie paragraaf 9.2)
- Losslang (zie paragraaf 9.3, de faalfrequentie van de composiet losslang kan worden gebruikt)
- Opslagtank onder druk (zie paragraaf 9.5.1, of module I)
- Leidingwerk (zie leidingsscenario's LNG in paragraaf 9.5.3, of module I).
- Purifier (gemodelleerd als een procesvat, zie module I)
- Compressor (gemodelleerd als een zuigercompressor of centrifugaalcompressor met pakking, zie module I)

Daarnaast moeten voor de tankauto BLEVE-scenario's worden meegenomen. Voor een dubbelwandige tankauto kan worden gerekend met een reductiefactor $f_{red} = 0,05$.

- BLEVE tijdens verlading (zie paragraaf 9.4.1).
- BLEVE door brand in de omgeving (zie paragraaf 9.4.2, standaard wordt gerekend met een kans op brand van $f_{brand} = 4 \times 10^{-8}$, en de factor 0,19 wordt niet in rekening gebracht).

Er is aangenomen dat er bij externe beschadiging geen BLEVE optreedt, maar dat de tankauto instantaan faalt (voor de faalfrequentie van externe beschadiging, zie paragraaf 9.4.3).

9.9.4 *Gemeenschappelijke onderdelen voor alle uitvoeringstypes*

Hoewel de manier van aanlevering verschilt, bevat elk uitvoeringstype dezelfde technische installatie en afleverzuil. Relevante onderdelen zijn:

- Tussenopslag (gemodelleerd als opslagtank onder druk, zie paragraaf 9.5.1 of module I).
- Leidingwerk (zie leidingscenario's LNG in paragraaf 9.5.3, of module I).
- Slang afleverzuil (gemodelleerd als composiet slang, zie paragraaf 9.6)

9.9.5 *Invoerparameters Safeti-NL*

De kans op directe ontsteking is:

- Voor gasvormig waterstof: 1,0
- Voor vloeibaar waterstof: 0,9

10 Behandelen, regelen en meten van aardgas (A.1, E.7), mijnbouwwerk (E.11.1)

10.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor het behandelen, regelen en meten van aardgas en het exploiteren van mijnbouwwerken (milieubelastende activiteiten A.1, E.7 en E.11.1). De methode is niet van toepassing op activiteit E.11.2, het aanleggen of aanpassen van een boorgat met een verplaatsbaar mijnbouwwerk.

De volgende handelingen 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.
- Handelingen 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 risico- en effectberekeningen. Hierbij moet waar mogelijk aangesloten worden bij de uitgangspunten van dit hoofdstuk.

In paragraaf 10.2 worden de algemene uitgangspunten van de methode besproken. Scenario's zijn gegeven in:

- paragraaf 10.3: gas- en olieputten
- paragraaf 10.4: leidingen
- paragraaf 10.5: separatoren
- paragraaf 10.6: pompen en compressoren
- paragraaf 10.7: warmtewisselaars

Effectmodellering wordt besproken in paragraaf 10.8. Paragraaf 10.9 beschrijft de invoer van scenario's in Safeti-NL.

10.2 Algemene uitgangspunten

10.2.1 *Locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht*

De risico- en effectberekening wordt uitgevoerd voor de bovengrondse en ondergrondse installatie-onderdelen op de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht. Voor doorgaande transportleidingen, veelal ondergronds gelegen, geldt het volgende:

- Transportleidingen die vertakken naar de locatie, horen bij de activiteit vanaf het overgangspunt. Het bevoegd gezag geeft aan waar het overgangspunt ligt.
- Doorgaande transportleidingen die de locatie kruisen zonder te vertakken naar de activiteit, horen niet bij de activiteit.

10.2.2 Mengsels en voorbeeldstoffen

Voor mijnbouwwerken en gastransportinstallaties 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 waterstofsulfide.

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 de aandachtsgebieden. De opsteller van de rapportage dient een onderbouwing te geven van de gekozen modellering.

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 10.1 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 rapportage zelf met een onderbouwd voorstel voor de berekening komen.

Tabel 10.1 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 ¹¹ kleiner of gelijk aan 35°C.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 2	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ¹¹ 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

¹¹ Voor mengsels gaat om het beginkookpunt. Dit is de temperatuur waarbij de dampspanning van het mengsel gelijk is aan omgevingsdruk (101,325 kPa).

10.2.3 *Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties*

Uitgangspunt voor de toepassing van de standaard uitstroomfrequenties in risico- en effectberekeningen 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 voorzieningen zijn getroffen tegen alle voorziene faalmechanismen (zie ook module I). In paragraaf 10.2.4 is beschreven welke additionele faaloorzaken beschouwd moeten worden. Voor het eventueel afwijken van de standaard uitstroomfrequenties is module I van toepassing.

10.2.4 *Additionele faaloorzaken*

In de uitstroomfrequenties is de eventuele bijdrage van runaway reacties, van externe beschadiging en van natuurrampen niet verdisconteerd. Hiervoor moet worden aangesloten bij module I.

Voor hogedruk gastransportleidingen is ook de eventuele bijdrage van een intern domino-effect niet in de uitstroomfrequentie opgenomen. Interne domino-effecten worden in de volgende paragraaf beschreven.

10.2.4.1 *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 locatie waar een werkend brand- en gasdetectiesysteem aanwezig is;
 - b. voor delen van de locatie waar ontwerpvoorzieningen getroffen 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/m². Deze effectafstanden kunnen worden afgelezen uit Tabel 10.2. 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 uitstroomfrequentie 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 10.2 Effectafstanden voor domino-effecten (35 kW/m² 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

10.2.5 Boringen

De gevaren van boringen en van 'completion' van de put zijn hier niet beschreven; dit moet apart beschouwd worden.

10.2.6 Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten

Insluitsystemen met de volgende typen stoffen hoeven niet te worden meegenomen:

- Ontvlambare vloeistoffen met een vlampunt boven 60°, op voorwaarde dat de operationele temperatuur lager is dan het vlampunt.
- Mengsels van olie en water met meer dan 55 massa% water.

Ook de volgende insluitsystemen hoeven niet te worden meegenomen in de rapportage, onder voorwaarde dat de installaties in de buitenlucht zijn opgesteld en dat het is aangetoond dat het falen van deze systemen niet zal leiden tot een domino-effect:

- Glycolopslag en regeneratiesysteem voor zover de procestemperatuur lager is dan het vlampunt en de operationele druk lager is dan 10 bar (overdruk);
- Brandstofdistributiesystemen (fuel gas systems) met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
- Offgas-systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
- Afdekgas (blanket gas) systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
- Afgas- en fakkelsystemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
- Systemen voor het schoonmaken van leidingen (ragerinstallaties).

- Open en gesloten drainagesystemen;
- Systemen voor chemicaliën- en methanolinjectie.

10.2.7 *Repressieve systemen en systeemreacties*

Er kunnen systemen aanwezig zijn die de kans op het optreden van een Loss of Containment (LoC) verkleinen of de effecten van een LoC verminderen. Het betreft onder meer de aanwezigheid van veiligheidskleppen en inbloksystemen. In module I wordt beschreven hoe dergelijke systemen doorwerken in de QRA. In aanvulling hierop gelden voor mijnbouwwerken nog de volgende opmerkingen:

1. 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 systeem¹². 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 10.8.3. 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 module I van kracht. Dat betekent dat de feitelijke situatie maatgevend is.
2. 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 extra verdisconteerd worden in de berekening.

10.2.8 *Nalevering*

In overeenstemming met module I moet er rekening gehouden worden met nalevering als de nageleverde hoeveelheid significant is. In het algemeen geldt het volgende:

1. Nalevering hoeft niet te worden meegenomen voor het "tien minuten scenario".
2. 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.

10.2.9 *Rapportageplicht*

Met betrekking tot de rapportage gelden dezelfde eisen als voor andere milieubelastende activiteiten. In aanvulling daarop moeten voor putten de volgende reservoirkarakteristieken worden opgenomen in de rapportage:

- de lengte en diameter van de tubing en de casing;

¹² Er is wel een generieke invloed van inbloksystemen die reageren voordat de LoC optreedt, namelijk via de uitstroomfrequenties die zijn vastgesteld.

- de flowing bottom hole pressure (FBHP);
- het productiedebiet;
- 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 de rapportage op een herleidbare manier beschreven worden.

10.2.10 *Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties*

In Tabel 10.3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende onderdelen waarvoor specifieke uitstroomscenario's en/of uitstroomfrequenties zijn opgesteld. Voor de overige onderdelen worden de scenario's en frequenties van module I gebruikt.

Tabel 10.3 Installatieonderdelen waarvoor specifieke 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. Vloeistofvangens b. Slokkenvangers c. Gaswassers (incl. adsorbers) d. Filter- en centrifugaalseparatoren	Paragraaf 10.5
Pompen en compressoren a. Verdringerpomp b. Centrifugaalpomp c. Verdringercompressor d. Centrifugaalcompressor e. Hogedruk centrifugaalcompressor	Paragraaf 10.6
Warmtewisselaars a. koelerbanken	Paragraaf 10.7

10.3 **Gas- en olieputten**

10.3.1 *Definitie*

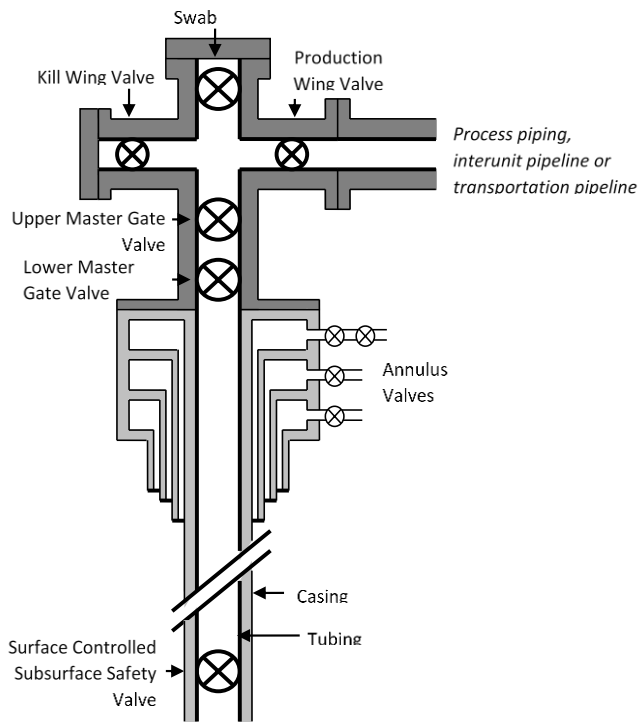
Een gas- of olieput bestaat uit een bovengronds afsluiterblok ('christmas tree') die met een ondergronds olie- of gasreservoir verbonden is via een systeem van een of meerdere leidingen. De olie- en gasputten worden begrensd door de

'wing valve' (zie Figuur 10.1). 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 10.1).
- Afsluiters voor het drukvrij maken van verschillende behuizingen.
- 'Flow meters' en druk- en temperatuursensoren op het afsluiterblok.



Figuur 10.1 Weergave van de put (inclusief 'christmas tree')

10.3.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

In Tabel 10.4 en Tabel 10.5 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties voor gasputten vermeld en in Tabel 10.6 en Tabel 10.7 de gegevens voor olieputten. Voor gasputten is de 'gas oil ratio'¹³ groter dan 1000, de overige putten zijn olieputten.

Opmerkingen:

1. De uitstroomfrequenties voor productie gelden per productiejaar en die voor injectie per injectiejaar. Voor onderhoudswerkzaamheden zijn de frequenties per uitgevoerde werkzaamheid. Op basis van een inschatting voor de frequentie van onderhoud per jaar kan een uitstroomfrequentie per jaar verkregen worden.

¹³ Gas oil ratio: Verhouding van de hoeveelheid gas (Nm³) en de hoeveelheid olie (Nm³).

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 locatie, geopend. Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put onder druk en is de 'wing valve' gesloten.

10.3.3.1 Gasputten

Tabel 10.4 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 10.5 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 10.6 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	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$

Tabel 10.7 Uitstroomscenario'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 uitstroomscenario's gedefinieerd voor de toebehoren van een leiding, zoals flenzen, stempen, 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 uitstroomscenario 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 uitstroomscenario's gedefinieerd. De werking van kleppen wordt wel verdisconteerd in de berekening van de uitstroming.

10.4.2 Kenmerken

Met betrekking tot de uitstroomscenario's en -frequenties wordt onderscheid gemaakt naar de volgende typen leidingen:

- flexibele leidingen;
- procesleidingen;
- hogedruk gastransportleidingen.

10.4.3 Uitstroomscenario'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 beschreven in module I.

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 17J¹⁴ of API 17K¹⁵ of vergelijkbare normen.

Voor flexibele leidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties van Tabel 10.8. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van 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 10.8 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 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.

¹⁴ Specification for unbonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

¹⁵ Specification for bonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

- 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 voorzieningen getroffen. In het bijzonder worden de leidingen beschermd tegen aanrijdingen en hijs- en graafwerkzaamheden.

Voor hogedruk gastransportleidingen gelden de scenario's en frequenties van Tabel 10.9. 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 uitstroombrequenties geen onderscheid gemaakt naar bovengrondse- en ondergrondse leidingen.

Tabel 10.9 Uitstroombesluitscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de leiding	$5,6 \times 10^{-9}$ per meter
Lek in de leiding (10% van de leidingdiameter, max. 50 mm)	$2,0 \times 10^{-8}$ per meter
Flenslek (10% van de leidingdiameter, maximaal 50 mm) ¹⁶	$9,3 \times 10^{-7}$ per flens

Voor overige transportleidingen op de locatie waarop de activiteit wordt verricht gelden de scenario's en frequenties uit module I.

10.5 Separatoren

10.5.1 Definitie

Separatoren zijn installatieonderdelen waarin verschillende componenten van productstromen gescheiden worden. Het gaat bijvoorbeeld om scheiding van gas en condensaat, scheiding van condensaat en water en filtering van kleine vaste deeltjes uit aardgas. Er wordt onderscheid gemaakt naar vloeistofvangsters, slokkenvangsters, gaswassers (inclusief adsorbers), filterseparatoren en centrifugaalseparatoren.

10.5.2 Kenmerken

Separatoren kunnen de volgende elementen bevatten:

- toevoer- en afvoerleidingen;
- 'internals' voor productscheiding;
- een reservoir voor de opvang van vloeistoffen of vaste deeltjes;
- een of meer drainageleidingen, al dan niet met afsluiters;
- instrumentatie voor niveau-, druk- en of temperatuurmonitoring.

De scenario's en uitstroombesluitfrequenties gelden voor de separator inclusief de gelaste stempelen, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoer- en afvoerleidingen vanaf de eerste flens moeten afzonderlijk worden beschouwd. Hetzelfde geldt voor de eventueel aanwezige drukveiligheid.

¹⁶ Lek van de leiding en lek van de flens mogen met één (gezamenlijk) scenario worden ingevoerd in de berekening. Dit wordt dan ingevoerd als een route. De contributie van de flenzen wordt in dat geval gelijkmatig verdeeld over de leiding.

10.5.3 Uitstroombenarior's en -frequenties

10.5.3.1 Vloeistofvangers

In een vloeistofvanger worden vloeibare componenten in een productstroom (water en/of condensaat) 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 (zie 10.5.3.2) is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers (zie 10.5.3.3) wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost. In tegenstelling tot centrifugaalseparatoren (10.5.3.5) kan de productstroom nog aanzienlijke hoeveelheden verontreinigingen bevatten.

De uitstroombenarior's en -frequenties voor vloeistofvangers zonder complexe internals zijn weergegeven in Tabel 10.10. Het betreft onder meer buffer- en zuigvaten, refluxvaten en knockout-vaten. Voor vloeistofvangers met complexe 'internals' zijn de benarior's en frequenties van Tabel 10.11 van toepassing. Het betreft onder meer schoepentoeters, 'vane packs' en 'swirl decks'. Een vloeistofvanger met complexe 'internals' verschilt van een filterseparator door de intensiteit: de inkomende productstroom is minder schoon.

Tabel 10.10 Uitstroombenarior'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 10.11 Uitstroombenarior'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 10.12. De uitstroomfrequenties gelden per buis. De scenario's voor een slokkenvanger met een vat zijn gegeven in Tabel 10.13.

Tabel 10.12 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 10.13 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 gespreid, 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 10.14 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties vermeld die voor gaswassers moeten worden gebruikt.

Tabel 10.14 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 10.15. In specifieke omstandigheden kan een filterseparator na afstemming met het bevoegd gezag gemodelleerd worden als leiding (zie daarvoor Tabel 10.16). 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 voorzieningen getroffen en geborgd om een LoC bij ingebruikname van de filterseparator (ook na onderhoud) te voorkomen.

Tabel 10.15 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 uitstroombesonderheden en -frequenties zijn weergegeven in Tabel 10.16. 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 uitstroombesonderheden voor breuk en lek hangen af van de lengte (c.q. hoogte) van de separator.

Tabel 10.16 Uitstroombesonderheden en -frequenties voor centrifugaalseparatoren

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Breuk van de separator	$5,6 \times 10^{-9}$ per meter
2. Lek in de separator (10% van de diameter, max. 50 mm)	$2,0 \times 10^{-8}$ per meter
3. Flenslek (10% van de diameter, maximaal 50 mm)	$9,3 \times 10^{-7}$ per flens

Opmerkingen:

1. Voor de lekscenario's wordt verondersteld dat de lekkage resulteert in een uitstroming van gas. Het uitstroombesonderheid is constant en gelijk aan het initiële uitstroombesonderheid.

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;
- pulsatiedempers.

10.6.3 Uitstroombesonderheden en -frequenties

De uitstroombesonderheden en -frequenties voor pompsystemen zijn vermeld in Tabel 10.17 (verdringerpompen) en Tabel 10.18 (centrifugaalpompen). Voor deze typen pompen wordt alleen een breuk gemodelleerd. De scenario's voor compressorsystemen zijn gegeven in Tabel 10.19 (verdringercompressoren) en Tabel 10.20 (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 10.17 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 10.18 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 10.19 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 10.20 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 module I 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 10.21. Deze scenario's en frequenties gelden voor de koelerbank inclusief de gelaste stomp, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoerleidingen en afvoerleidingen maken geen deel uit van de koelerbank.

Tabel 10.21 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 module I. In paragraaf 10.8.3 worden voor de voorschriften beschreven die afwijken van module I. In paragraaf 10.8.4 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 installatieonderdelen is de uitstroomrichting verticaal als er minimaal 40 cm gronddekking is (gemeten vanaf de bovenkant van de leiding).
- Voor leidingen in een leidinggoot en voor (deels) ingeterpte installatieonderdelen 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 *Invloed van de krater*

Voor ondergrondse installatieonderdelen wordt de invloed van de krater meegenomen als er minimaal 40 cm gronddekking is (gemeten vanaf de bovenkant van het installatieonderdeel). Voor ingeterpte installatieonderdelen wordt de kraterinvloed dient de opsteller te onderbouwen of het ontstaan van een krater wel of niet aannemelijk is.

10.8.3 *Afwijkende effectmodellering ten opzichte van module I*

Voor mijnbouwwerken en gastransportinstallaties zijn afwijkende voorschriften opgesteld die recht doen aan de aard van de activiteiten en de bijbehorende gevaren. 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 H₂S, 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 I 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.

10.8.3.1 *Maatwerk voor snelsluitende kleppen*

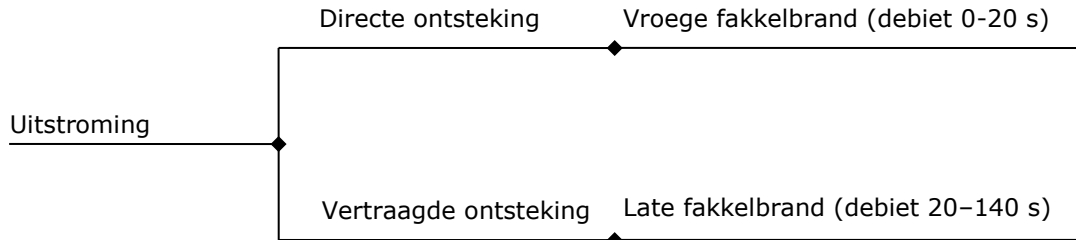
Er wordt onderscheid gemaakt naar scenario's met snelsluitende kleppen¹⁷ en scenario's zonder snelsluitende kleppen. Voor scenario's met snelsluitende kleppen moet maatwerk verricht worden. Het initiatief daarvoor ligt bij de opsteller van de rapportage.

De effectmodellering voor situaties zonder snelsluitende kleppen wordt besproken in de volgende deelparagrafen.

10.8.3.2 *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 10.2).

¹⁷ Snelsluitende kleppen sluiten in vijf seconden of minder na aanvang van de uitstroming.



Figuur 10.2 Gebeurtenissenboom voor hogedruk gassystemen met een uitstroomduur groter of gelijk aan 20 s

Opmerkingen:

1. 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.
2. 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)
3. 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).

10.8.3.3 Kans op ontsteking

De kans op directe ontsteking (P_{dir}) is weergegeven in Tabel 10.22. Voor de kans op vertraagde ontsteking moet worden nagegaan of de LFL contour van het tweede segment (20-140 s) deels buiten de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht ligt¹⁸. 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 locatie komt, dan wordt er geen vertraagde ontsteking gemodelleerd.

Tabel 10.22 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

¹⁸ Dit wordt getoetst op de gemodelleerde uitstroomhoogte.

Opmerkingen:

1. Voor verticale releases blijft de LFL contour op 1 m hoogte doorgaans op de locatie¹⁹. Voor deze releases hoeft het tweede segment, dat alleen relevant is voor vertraagde ontsteking, niet te worden beschouwd. Uitzondering zijn leidingdelen buiten de locatie (waaronder meetlussen) en leidingen die evenwijdig aan de begrenzing van de milieubelastende activiteit liggen op een afstand van 10 m of minder.

10.8.3.4 Aantal jets

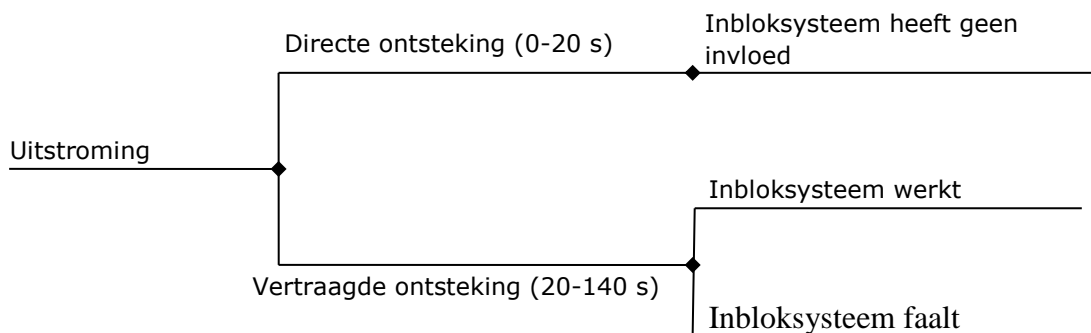
Voor breuk van een bovengrondse leiding en instantaan falen van een bovengronds vat met aangesloten leidingen wordt verondersteld dat de jets vanuit de stroomopwaartse richting en vanuit de stroomafwaartse richting geen interactie hebben. Deze twee jets worden daarom afzonderlijk ingevoerd. Voor beide jets is de invoerwaarde voor de frequentie gelijk aan het product van de uitstroombrequentie 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 doorgerekend.

10.8.3.5 Invloed van inbloksystemen

Inbloksystemen kunnen gebruik maken van snelsluitende kleppen en van reguliere kleppen²⁰. Voor inbloksystemen met snelsluitende kleppen moet conform paragraaf 10.8.3.1 maatwerk worden verricht. Voor situaties zonder snelsluitende kleppen worden conform paragraaf 10.8.3.2 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 (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 10.3).



Figuur 10.3 Deelscenario's voor een inbloksysteem met reguliere kleppen

¹⁹ 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 locatie. Voor leidingen met ontvlambare gassen onder hoge druk is dit een artefact van het model waar geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

²⁰ Kleppen die niet binnen 5 s gesloten zijn.

10.8.4 *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 locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht.

- De gatgrootte voor de blowout is, afhankelijk van het scenario, gelijk aan de diameter van de tubing of de casing, zie paragraaf 10.3.3.
- 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 locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht 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 blowoutscenario's worden de vervolgeffecten (vroeg en late fakkelbrand) van paragraaf 10.8.3.2 gebruikt en de ontstekingskansen van paragraaf 10.8.3.3.
- Eventueel aanwezige putbeveiligingen worden niet verdisconteerd in de berekeningen (zie paragraaf 10.2.7).

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 10.8.3.2 gebruikt (fakkelbrand) en voor de ontstekingskansen paragraaf 10.8.3.3.

10.9 **Invoer van scenario's in Safeti-NL**

Standaard is module I van toepassing. In deze paragraaf wordt de invoer beschreven voor installatie-onderdelen waarvoor op basis van paragraaf 10.8.3 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 H₂S, is 4,3 vol% of kleiner.

In de deelparagrafen 10.9.6 t/m 10.9.8 wordt beschreven hoe blowout en lekkage van de put moet worden gemodelleerd.

10.9.1 *Lek in leiding en 10 mm lek*

Voor lekkages is het uitstroomdebiet nauwelijks tijdsafhankelijk. Daarom is het niet zinvol om de vroeg en late fakkelbrand apart in te voeren. De invoerwijze in Safeti-NL is als volgt:

1. Voer een Pressure Vessel in en voer de juiste waarden in voor de stof, massa-inhoud, temperatuur en druk. Kies ook de juiste locatie (geometry).
2. Voer daarna een 'Leak' scenario in en selecteer de juiste gatgrootte, uitstroomhoogte, uitstroomfrequentie, uitstroomrichting en kans op directe ontsteking ('probability of immediate ignition').

3. De kans op directe ontsteking wordt standaard 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 10.22) verdisconteerd in de 'event frequency' (of, 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:

1. Selecteer het Pressure Vessel dat reeds voor het lekscenario is ingevoerd (paragraaf 10.9.1).
2. Voor vervolgens het scenario 'Fixed duration release' in met uitstroomduur 600 s.
3. 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 10.22) verdisconteerd in de 'event frequency' (of, 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 locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht. Een gedetailleerde berekening is tijdsintensief. Daarom is de volgende werkwijze voorgesteld.

- In paragraaf 10.9.4 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 rapportage mag ervoor kiezen om een meer realistische berekening te doen op basis van maatwerk. Als maatwerk wordt toegepast, dan moet de aanpak door de opsteller van de rapportage worden toegelicht en verantwoord²¹.

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 gevaren. Voor die situaties moet de opsteller van de rapportage maatwerk toepassen, toelichten en verantwoorden.

10.9.4 *Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen*

Op hoofdlijnen is de aanpak van de vereenvoudigde invoermethode als volgt:

- De locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht en de omgeving worden beschouwd als één systeem.
- Het scenario wordt ingevoerd als een 'Pipeline point'.
- De karakteristieken van de Long Pipeline hangen af van de eigenschappen van de toevoer- en afvoerleidingen naar de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht. Afgezien van de

²¹ Het doel van maatwerk is het realistisch berekenen van effecten. De opsteller van de rapportage geeft een zo goed mogelijk beeld van de te verwachten effecten van een uitstroomscenario. De invoerwijze moet zoveel mogelijk aansluiten bij deze effecten.

- aanwezigheid van eventuele inbloksystemen op de locatie, is de verdere layout een 'black box', d.w.z. niet relevant voor de invoer in Safeti-NL.
- In de vereenvoudigde aanpak hangt de uitstroming alleen af van de nalevering vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse richting. Voor bovengrondse installaties worden deze twee bijdragen met afzonderlijke en onafhankelijke scenario's gemodelleerd. Voor ondergrondse installaties worden de twee bijdragen samen genomen.
 - Als er op de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht geen (relevante) inbloksystemen zijn, dan wordt de nalevering vanuit stroomopwaartse respectievelijk stroomafwaartse zijde voor de hele locatie op identieke wijze gemodelleerd. Er zijn voor een locatie met bovengrondse en ondergrondse installaties dan maar drie typen 'Pipeline point' modellen nodig: één voor bovengrondse installaties met uitstroming vanuit stroomopwaartse zijde, één voor bovengrondse installaties met uitstroming vanuit stroomafwaartse zijde, en één voor ondergrondse installatieonderdelen met gecombineerde nalevering. Alleen de gatgrootte en de uitstroomfrequentie zijn vervolgens nog scenariospecifiek.
 - Standaard worden er aparte scenario's ingevoerd voor directe ontsteking (0 - 20 s) en voor vertraagde ontsteking (20 - 140 s). Deze scenario's worden ingevoerd met een directe ontstekingskans gelijk aan één: de ontstekingskans wordt in rekening gebracht bij de faalfrequentie van het scenario.
 - Als er binnen of buiten de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht inbloksystemen zijn, dan mag de invloed daarvan worden meegenomen voor het tweede segment van de uitstroming (20 -140 s). De afstand tot de kleppen is scenario-specifiek. Alle kleppen die de uitstroming in het tweede tijdsegment op relevante wijze kunnen beïnvloeden mogen meegenomen worden. De betreffende kleppen worden ingevoerd in het tabblad 'Long pipe' van de betreffende Long Pipeline.

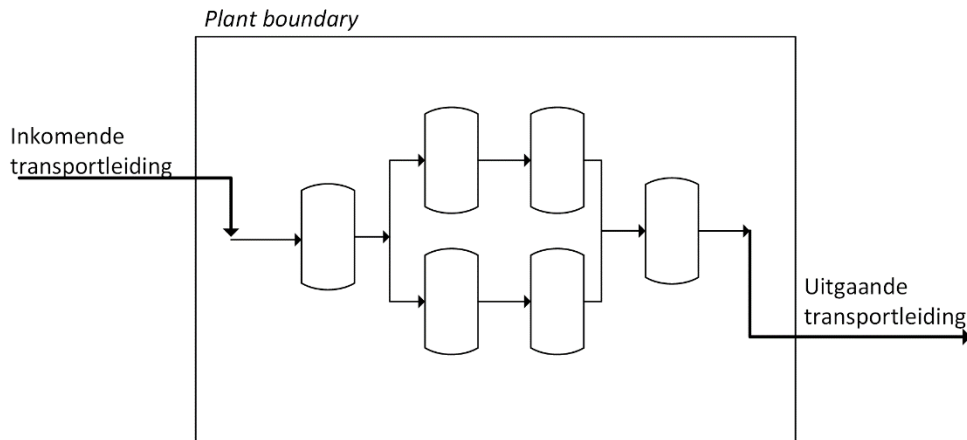
Voor de locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht en de omgeving wordt onderscheid gemaakt naar de volgende situaties. De locatie waarop de milieubelastende activiteit wordt verricht:

- is verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding.
- is verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen.
- is verbonden met doorgaande transportleidingen.
- is via aftakleidingen verbonden met doorgaande transportleidingen.
- is een puttenlocatie.

Deze situaties worden per stuk besproken.

10.9.4.1 Eén inkomende leiding en één uitgaande leiding

Figuur 10.4 geeft een voorbeeld van een installatie die verbonden is met één ingaande en één uitgaande leiding. In Tabel 10.23 zijn de invoerwaarden voor het **stroomopwaartse deelscenario** weergegeven. Het betreft de invoer van het pipeline point model met de 'long pipeline' (LP) en het onderliggende 'Location specific breach' (LSB) scenario. Alleen de waarden die kunnen afwijken van de defaults zijn opgenomen in de tabel.



Figuur 10.4 Voorbeeld van een installatie verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Tabel 10.23 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één inkomende transportleiding: uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de installatie

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur van de inkomende transportleiding.
LP/Material	Pressure	De maximale werkdruk van de inkomende transportleiding.
LP/Scenario	Entire pipeline length	De lengte van de inkomende transportleiding, default 32 km
LP/Scenario	Internal diameter	De inwendige diameter van de inkomende transportleiding.
LP/Scenario	Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 2)
LP/Scenario	Breach sizing method	Relative size.
LP/Long pipe	Pipe roughness	De ruwheid van de leiding.
LP/Long pipe	Number of valves	Voor het tweede tijdsegment mag de invloed van inbloksystemen worden meegenomen. In dat geval worden de relevante kleppen en bijbehorende gegevens ingevoerd. Voor de 'valve closing time' wordt de tijdsduur gebruikt waarin 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 ²² niet kleiner is dan het daadwerkelijk ingeblokke volume stroomopwaarts van de uitstroomlocatie.
LP/Geometry	Coordinates	De locatie van de uitstroming.
LSB/Scenario	Relative branche aperture (area)	Default: d^2/D^2 (zie opmerking 3).

²² 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.

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LSB/Scenario	Distance to break	Totale lengte van de ingevoerde long pipeline
LSB/Scenario	Elevation	Default: 1 m (zie opmerking 4).
	Release direction	Horizontaal
LSB/Scenario	Isolation	Wordt automatisch bepaald op basis van de data die in het long pipeline model zijn ingevoerd.
LSB/Risk	Event frequency	Frequentie van het scenario, vermenigvuldigd met de ontstekingskans van het scenario, namelijk P_{dir} voor het scenario met directe ontsteking, 0 – 20s, en $(1-P_{dir})$ voor het scenario met vertraagde ontsteking. 20 -140 s.
LSB/Risk	Immediate ignition probability	Specify directly, immediate ignition probability = 1
LSB/Time varying	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).

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. 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.
3. De 'relative aperture' is het kwadraat de verhouding van de gatgrootte, d , en de interne diameter van de leiding, D . 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. 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.
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 hoog gemiddeld debiet. Dit euvel kan alleen verholpen worden door het gemiddelde debiet tussen 20 s en

140 s handmatig te berekenen op basis van de gerapporteerde 'expelled mass'.

De invoerwaarden voor het **stroomafwaartse deelscenario** zijn grotendeels analoog aan de invoerwaarden voor het stroomopwaartse deelscenario (Tabel 10.23). Ter vergroting van de leesbaarheid zijn in Tabel 10.24 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 10.24 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één uitgaande transportleiding: uitstroming vanuit het stroomafwaartse deel van de installatie

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
LP/Material	Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>uitgaande</i> leiding.
LP/Scenario	Entire pipeline length	De lengte van de uitgaande transportleiding, default 32 km.
LP/Scenario	Internal diameter	De inwendige diameter van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
LP/Long pipe	Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 1).
LP/Long pipe	Number of valves	(...) De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie niet kleiner is dan het ingeblokte volume <i>downstream</i> van de uitstroomlocatie.

Opmerkingen:

1. Kies 0,1 kg/s als de foutmelding "Start time for time averaging exceeds time-varying discharge duration ... s" optreedt.

Voor **ondergrondse leidingen** wordt nalevering vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen gecombineerd. Dit wordt gedaan door voor de 'entire pipeline length' de som van in- en uitgaande leiding te nemen (default 64 km), en voor distance to break de lengte van de ingaande leiding (default 32 km).

De invoerwaarden voor ondergrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 10.25. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10.23.

Tabel 10.25 Invoerwaarden voor ondergrondse installaties verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Material	Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Scenario	Entire pipeline length	De lengte van de in- en uitgaande transportleiding, default 64 km.
LP/Scenario	Internal diameter	De inwendige diameter van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Long pipe	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 ingeblokke volume stroomopwaarts dan wel stroomafwaarts van de uitstroomlocatie.
LP/Long pipe	Crater modelling	Aanvinken dat het een ondergronds installatieonderdeel betreft en invullen wat de gronddekking en grondsoort is.
LSB/Scenario	Distance to break	De lengte van de ingaande leiding, default: 32 km (zie opmerking 2).
LSB/Scenario	Elevation	0,01 m.
LSB/Scenario	Release direction	Verticaal.
LSB/Scenario	Crater modelling	Bij ondergrondse installatieonderdelen: full bore rupture.

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.

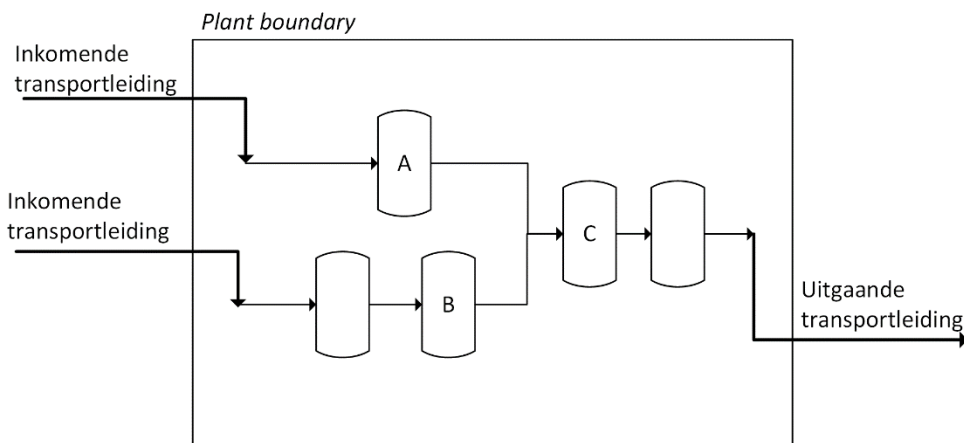
10.9.4.2 Meerdere inkomende en uitgaande leidingen

Figuur 10.5 geeft een voorbeeld van een installatie die verbonden is met meerdere ingaande en uitgaande leidingen. Ook voor deze situatie wordt een Pipeline point 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 installatie verschillend voor de installatieonderdelen A, B en C in Figuur 10.5. 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 installatie zelf is een 'black box'. De enige uitzondering²³ hierop is wanneer er sprake is van 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 installatie 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 10.5 Voorbeeld van een installatie verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen

Voorbeeld: meerdere inkomende transportleidingen: uitstroming met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de installatie

Eerst wordt voor elk van de inkomende leidingen afzonderlijk het uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s bepaald op basis van de uitgangspunten van Tabel 10.23. 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 van de Long Pipeline te vergroten (de inkomende transportleiding wordt als het ware verbreed).

De invoerwaarden voor bovengrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 10.26. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10.23.

²³ Het is natuurlijk ook toegestaan om maatwerk te leveren.

Tabel 10.26 Invoerwaarden voor toevoer vanuit meerdere inkomende transportleidingen

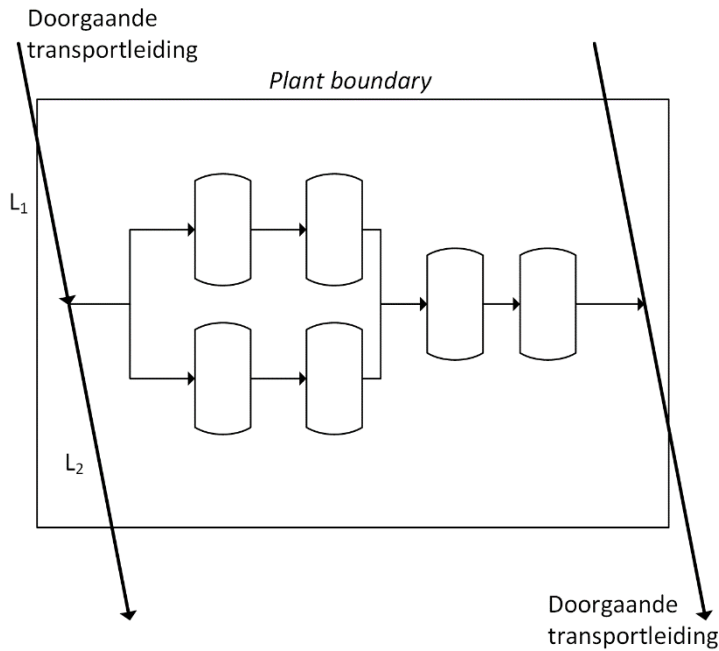
Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Material	Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Scenario	Internal diameter	De equivalente diameter voor alle inkomende leidingen (zie opmerking 1)
LP/Scenario	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 Doorgaande leidingen

Figuur 10.6 geeft een voorbeeld van een installatie die verbonden is met doorgaande transportleidingen. De berekeningswijze lijkt sterk op die voor instellingen 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 installatie en L_2 is de lengte van de doorgaande leiding voorbij de aftakking naar de installatie.



Figuur 10.6 Voorbeeld van een installatie verbonden met doorgaande transportleidingen

De (eenzijdige) uitstroming uit een bovengronds installatie-onderdeel met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de installatie wordt wederom als voorbeeld genomen. De invoerwaarden zijn weergegeven in Tabel 10.27. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10.23.

Tabel 10.27 Invoerwaarden voor toevoer vanuit doorgaande transportleidingen

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
LP/Material	Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
LP/Scenario	Entire Pipe length	Default: 32 km. Anders de <i>totale</i> lengte van de <i>doorgaande</i> transportleiding, L_1+L_2 (zie Figuur 10.6).
LP/Scenario	Distance to break	Gelijk aan de 'pipe length' (zie opmerking 1).

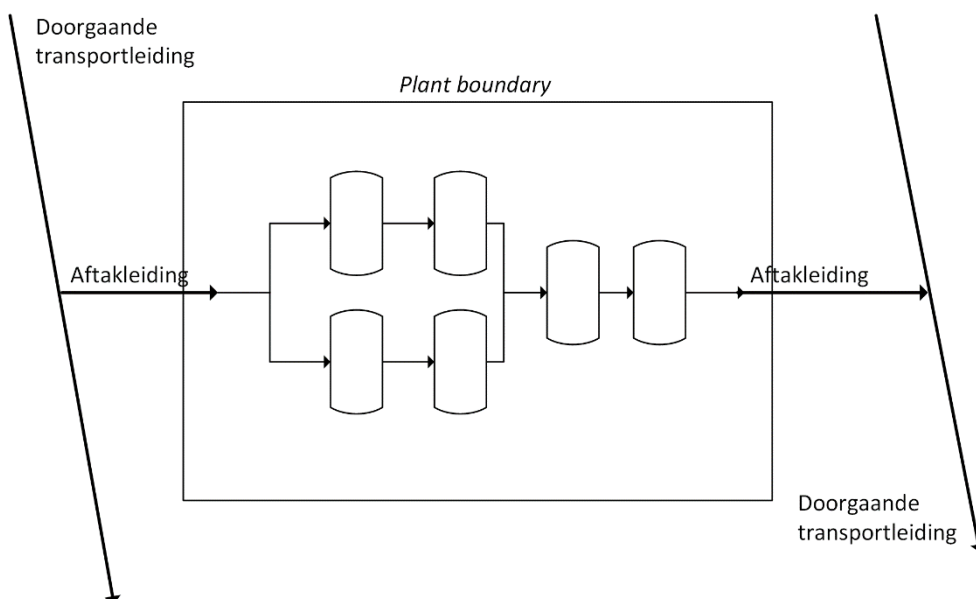
Opmerkingen:

1. De breuklocatie wordt dus aan het *eind* van de leiding geplaatst.

10.9.4.4 Aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen

Figuur 10.7 geeft een voorbeeld van een installatie die via aftakleidingen verbonden is met doorgaande transportleidingen. Voor deze installatie geldt:

- Als de lengte van de aftakleiding kleiner is dan 10 km, dan wordt de doorgaande transportleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Pipeline point 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 Pipeline point te bepalen. Hiervoor zijn de regels van paragraaf 10.9.4.1 van toepassing.

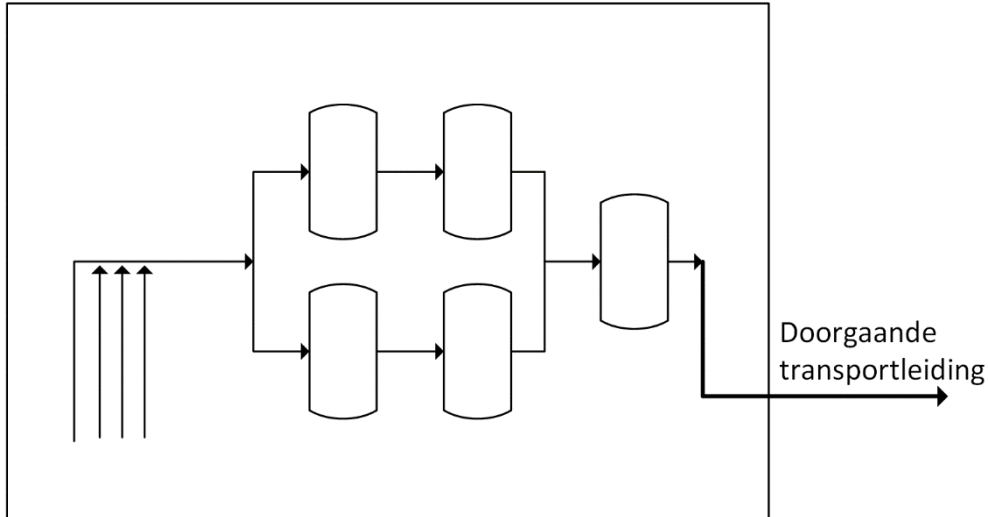


Figuur 10.7 Voorbeeld van een installatie die via aftakleidingen is verbonden met doorgaande transportleidingen

10.9.4.5 Puttenlocatie

Figuur 10.8 geeft een voorbeeld van een productielocatie. De belangrijkste invoerwaarden voor de toevoer vanaf de productieput zijn weergegeven in Tabel 10.28. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10.23.

Plant boundary



Figuur 10.8 Voorbeeld van een productielocatie

Tabel 10.28 Invoerwaarden voor toevoer vanuit de productieputten

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het reservoir.
LP/Material	Pressure	Productie: flowing bottom hole pressure. Injectie: compressordruk.
LSB/Scenario	Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter.
LSB/Scenario	Distance to break	Aan het eind van de leiding, dus gelijk aan de pipe length (zie hierboven).
LP/Scenario	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 gebruiker mag deze aanpak gebruiken. De aanpak is dan als volgt:

- Bepaal het volume van het ingeblokke 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 installatie en het scenario met nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de installatie – 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 Short Pipe met optie '*Line Rupture*' (tabblad '*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 10.8.4, 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 berekening gebeurt met een '*Pipeline point*'.
- 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 installatie (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 10.8.4). Voor de modellering in Safeti-NL gelden de volgende voorwaarden.

- De berekening gebeurt met een '*Pipeline point*'.
- 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 Tabel 10.5 en Tabel 10.7).

- 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.

11 Spoorwegemplacementen (E.13)

11.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor spoorwegemplacementen (milieubelastende activiteit E.13 uit Bijlage VII van het Bkl).

Dit hoofdstuk is als volgt ingedeeld:

- Paragraaf 11.2: beschrijving van verschillende typen emplacementen.
- Paragraaf 11.3: beschrijving van de vervoersgegevens.
- Paragraaf 11.4: scenario's en faalfrequenties gegeven.
- Paragraaf 11.5: beschrijving van uitstromingen.
- Paragraaf 11.6: overzicht van ontstekingskansen.
- Paragraaf 11.7: beschrijving van de ongevalslocatie.

11.2 Type emplacementen

Emplacementen kunnen op basis van de bedrijfsactiviteiten onderverdeeld worden in drie typen [14, 15]. Hieronder volgt een korte beschrijving van de drie typen.

Type 1 - Bediening van verladere

Type 1 emplacementen zijn emplacementen die in de directe nabijheid van de verladere liggen. Het rangeerproces op deze locaties is nauw verweven met het transport van rangeerdelen (een loc met 1 of meerdere wagons) van en naar de locatie van deze verlader. De procesvoering op deze locaties kenmerkt zich door relatief lange overstandstijden en relatief veel handelingen per trein.

Type 2 - Kopmaken/locwisselen

Type 2 emplacementen zijn emplacementen waar uitsluitend sprake is van kopmaken en waar geen andere rangeerhandelingen plaatsvinden. De wachttijden zijn daardoor relatief kort (gemiddeld 1 uur). De handeling gebeurt slechts 1 keer per trein.

Type 3 - Rangeren langs de route

Type 3 emplacementen zijn emplacementen waar de procesvoering identiek is aan type 1, echter er is geen directe verbinding met nabij gelegen bedrijven. Treinen uit verschillende richtingen komen aan op deze locatie, en worden bijvoorbeeld gecombineerd of gewijzigd van samenstelling op basis van de bestemming van de trein of treindelen. Omdat het niet gaat om bedienen van verladere maar rangeren langs de route is de overstandstijd korter en het aantal handelingen per trein beduidend lager dan bij de type 1 emplacementen.

Emplacementen met incidentele handelingen

Behalve de in typen 1, 2 of 3 ingedeelde locaties is er een grote groep emplacementen – ca 50 – waar sprake kan zijn van eens per jaar/jaren incidentele handelingen. Vanwege dit zeer incidentele karakter is het opstellen van een QRA niet zinvol: de risico's zullen als niet relevant of verwaarloosbaar uit de berekening komen. Deze groep emplacementen is dan ook niet ingedeeld als type 1, 2 of 3.²⁴

²⁴ Aanvankelijk werd deze groep emplacementen aangeduid als 'type 4 emplacementen': emplacementen waar slechts incidenteel – eens per jaar/jaren- sprake is van rangeerhandelingen.

11.3 Vervoersgegevens

11.3.1 *Wijze van vervoer*

Gevaarlijke stoffen worden op verschillende wijzen vervoerd. Voor de berekeningen worden onderscheiden:

- gasketelwagens voor het vervoer van vloeibaar gemaakte gassen;
- vloeistofketelwagens voor het vervoer van vloeistoffen of gesmolten stoffen;
- containerdraagwagens voor het vervoer van o.a. tankcontainers en transporttanks.

In de rapportage moet uitgegaan worden van het transport met spoorketelwagens. Tankcontainers en transporttanks worden in de analyse meegenomen als spoorketelwagens, omdat voor tankcontainers en transporttanks geen specifieke ongevalgegevens (faalfrequenties en scenario's) bekend zijn. Vervoerscijfers worden uitgedrukt in ketelwagenequivalenten (kwe).

Eén gas- en/of vloeistofketelwagen is gelijk aan één kwe en twee tankcontainers/transporttanks brandbare stof of drie tankcontainers/transporttanks giftige stof zijn gelijk gesteld aan één ketelwagenequivalent [16]. In Tabel 11.1 is dit nog eens samengevat.

Tabel 11.1 Aantal ketelwagenequivalenten (kwe) per transportmiddel

Type	Aantal ketelwagen-equivalenten (kwe)
Gasketelwagen	1
Vloeistofketelwagen	1
Tankcontainer of transporttank met brandbare stof(fen)	$1/2$
Tankcontainer of transporttank met giftige stof(fen)	$1/3$

11.3.2 *Stofcategorieën en voorbeeldstoffen*

De verscheidenheid aan vervoerde stoffen over het spoor is zo groot dat een berekening per stof zeer arbeidsintensief zal zijn. Uit praktische overwegingen zijn de stoffen in een beperkt aantal stofcategorieën samengenomen en wordt in de berekeningen een voorbeeldstof per stofcategorie gehanteerd.

De indeling van de gevaarlijke stoffen in stofcategorieën bij spoor is gebaseerd op het gevaarsidentificatienummer (GEVI) van de stof. Deze GEVI-indeling is terug te vinden in kolom 20 in de hoofdtabel van het Reglement betreffende het internationaal spoorwegvervoer van gevaarlijke goederen (RID) [17]. De te hanteren indeling in stofcategorieën en voorbeeldstoffen zijn opgenomen in Tabel 11.2 [18].

Tabel 11.2 Voorbeeldstoffen per stofcategorie spoorwegemplacementsen

Stofcategorie Methodiek I Spoor		Toepasbaar bij GEVI- code	Voorbeeldstof
A	Brandbaar gas	23, 239, 263	Propaan (butadieen ^(a))
B2	Giftig gas	26, 265 (excl. UN 1017), 268	Ammoniak
B3	Zeer giftig gas	265 (UN 1017)	Chloor
C3	Zeer brandbare vloeistof	X323, 33, 33 ^{*(b)} , X33*, 336 (excl. UN 1093),	Hexaan
D3 ^(c)	Giftige vloeistof	UN 1093	Acrylnitril
D4 ^(c)	Zeer giftige vloeistof	66, 663, 668, 886, (X88, X886) ^(d)	Acroleïne (fluorwaterstof ^(e))

- (a) Voor stofcategorie A is propaan de voorbeeldstof, behalve wanneer hoogkokende stoffen (bijv. UN-nr. 1011, 1012, 1055 en 1969, kookpunt tussen 0 en -12°C) vervoerd worden. Voor hoogkokende vloeistoffen is butadieen de voorbeeldstof [18].
- (b) Duidt op een eventueel derde cijfer in de GEVI-code van de stof. Hiermee wordt aangegeven dat dit derde cijfer (indien aanwezig) er niet toe doet, omdat dit het minst bepalende gevaarsaspect betreft.
- (c) Giftige en zeer giftige stoffen uit de stofcategorieën D3 en D4 met tevens brandbare eigenschappen worden alleen als giftig gemodelleerd [18]. (Let op: bij het bepalen van de kans op een warme BLEVE worden deze wagens wel (gedeeltelijk) meegerekend als brandbare vloeistof)
- (d) Er zijn stoffen die volgens de GEVI-codes onder D4 vallen, maar waarvan het werkelijke risico niet representatief wordt voorgesteld met de voorbeeldstof acroleïne. Dat kan het geval zijn wanneer het een vaste stof betreft, of wanneer het alleen acuut giftig is via ingestie of huidcontact. Dergelijke stoffen hoeven dan ook niet te worden beschouwd. De rekenmethode gaat (impliciet) alleen over schadelijke effecten na inhalatie van giftige luchtconcentraties [19].
- (e) Voor stofcategorie D4 is acroleïne de voorbeeldstof, behalve wanneer fluorwaterstof zelf wordt vervoerd [18].

11.3.3 Overige gevaarlijke stoffen

De rekenmethode is beschreven voor de transporten in bulk van gassen, vloeibaar gemaakte gassen en vloeistoffen. Emplacementshandelingen met stoffen uit de overige gevarenklassen, waaronder ADR²⁵ [20] gevarenklasse 1 (ontploffbare stoffen), zijn hier niet beschreven. In de regel vinden deze handelingen met ontploffbare stoffen slechts incidenteel plaats en zijn de risico's verwaarloosbaar. Als de risico's van handelingen met ontploffbare stoffen bij een emplacement echter niet verwaarloosbaar zijn, moet de opsteller van de rapportage de risico's bepalen met een specifieke benadering.

11.3.4 Dag/nachtverdeling

Voor de dag/nachtverdeling wordt voor het spoorproces uitgegaan van de periodes 7:00-19:00, 19:00-7:00 uur.

Indien er niets bekend is over de verdeling van de aantallen handelingen over dagen en nachtperiode en over de weekdays en het weekend, dan gelden de volgende standaard verhoudingen:

²⁵ ADR staat voor 'Accord européen relatif au transports international des marchandises Dangereus par Route' ofwel 'Europees verdrag betreffende het Internationaal vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg'.

dag : nacht = $\frac{1}{2} : \frac{1}{2}$
 week : weekend = $\frac{5}{7} : \frac{2}{7}$

Per specifieke situatie moet worden nagegaan of deze verhouding geldt. Voor de stofcategorie brandbaar gas is de uitsplitsing dag/nacht van groot belang, met name voor die situatie waarbij sprake is van bedrijvigheid in de directe omgeving van het spooreplacement waar gedurende de nacht veel minder of geen personen verblijven.

Of andersom: veel woongebouwen, waar vooral 's nachts personen aanwezig zijn. Als deze verhouding duidelijk afwijkt van de standaard verhoudingen dan mag gemotiveerd van deze standaard verhoudingen worden afgeweken.

11.4 Scenario's en faalfrequenties

Bij spoorwegemplacementen kunnen, als gevolg van een aantal handelingen, ongevallen optreden. Hierdoor kunnen de volgende scenario's optreden:

1. Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)
2. Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR)
3. Eenzijdig ongeval
4. Locwisselen of kopmaken
5. Samenstellen van een trein d.m.v. samenstellen/splitsen en plaatsen
6. Omhalen
7. Overstand

In de volgende paragrafen zijn deze ongevalsscenario's gedefinieerd.

11.4.1 *Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)*

Deze interactie treedt op wanneer een aankomende of een vertrekkende trein botst met een andere trein. Daarbij wordt aankomst en vertrek als een aparte handeling gezien. Doorgaand treinverkeer op een emplacement, waarbij er geen handelingen aan de trein worden verricht, wordt niet tot een proces op een spoorwegemplacement gerekend.

Tabel 11.3 Scenario's voor interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)		
		NCBG	ATB-EG	ATB-vv en ERTMS
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$1,0 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$3,3 \times 10^{-11}$
	Overige	$1,0 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-11}$	$3,3 \times 10^{-12}$
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$1,5 \times 10^{-9}$	$1,7 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-11}$
	Overige	$1,5 \times 10^{-10}$	$1,7 \times 10^{-11}$	$5,0 \times 10^{-12}$

In de frequenties wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende veiligheidsmaatregelen die de kans op een ongeval kunnen reduceren, namelijk:

- ATB-EG (Automatische TreinBeïnvloeding Eerste Generatie).
- ATB-vv (Automatische TreinBeïnvloeding verbeterde versie).
- ERTMS (European Rail Traffic Management System). De effectiviteit van ERTMS voor emplacementshandelingen is nog niet onderzocht. Voor ERTMS worden dezelfde frequenties aangehouden als voor ATB-vv.

- NCBG (niet centraal bediend gebied). Een aantal emplacements is (deels) niet aangesloten op ATB-EG, ATB-vv of ERTMS. Dit is het niet centraal bediend gebied.

11.4.2 *Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR)*

Deze interactie treedt op wanneer een aankomende of vertrekkende trein op het spoorwegemplacement botst met een rangerende locomotief (met of zonder wagens). Een rangeerdeel is een trein of een gedeelte van een trein dat geen deel uit maakt van de dienstregeling.

Tabel 11.4 Scenario's voor interactie tussen aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)	
		Geen ATB-vv	ATB-vv
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$4,2 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-9}$
	Overige	$4,2 \times 10^{-10}$	$1,9 \times 10^{-10}$
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$6,4 \times 10^{-9}$	$2,8 \times 10^{-9}$
	Overige	$6,4 \times 10^{-10}$	$2,8 \times 10^{-10}$

Het scenario interactie tussen aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel vindt plaats bij lage snelheid. Het onderscheid tussen ATB-EG en NCBG is daardoor niet relevant. In de frequenties wordt onderscheid gemaakt tussen emplacements met en zonder ATB-vv.

11.4.3 *Eenzijdig ongeval*

Het betreft hier de kans dat een trein of rangeerdeel ontspoord tijdens rangeerhandelingen of bij aankomst/vertrek op het spoorwegemplacement. Ook een botsing met een stootjuk hoort thuis bij deze omschrijving. Hierbij is geen sprake van een interactie (botsingsincident) met een andere trein of rangeerdeel. Dit scenario wordt alleen relevant geacht voor zeer brandbare vloeistoffen. Brandbare en giftige gassen als ook giftige vloeistoffen worden vervoerd in sterke wagens. Uitgangspunt is dat sterke wagens, vanwege de lage snelheid op emplacements en de afwezigheid van scherpe voorwerpen die kunnen zorgen voor penetratie, bij kantelen niet lek raken.

Tabel 11.5 Scenario's voor eenzijdig ongeval

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$5,5 \times 10^{-9}$
	Overige	-
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$8,3 \times 10^{-9}$
	Overige	-

11.4.4 *Locwisselen en/of kopmaken*

Bij dit rangeerproces gaat het om het af- en aankoppelen van een locomotief bij een trein. De locomotief kan hierbij worden afgekoppeld aan de ene kant van de trein en, rijdend via spoorwegemplacementsporen, aan de andere zijde van de trein weer worden aangekoppeld. Af- en aankoppelen kan ook aan dezelfde kant plaatsvinden.

Tabel 11.6 Scenario's voor locwissel of kopmaken

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$1,0 \times 10^{-10} \times N_{Lk}$
	Overige	$1,0 \times 10^{-11} \times N_{Lk}$
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$1,5 \times 10^{-10} \times N_{Lk}$
	Overige	$1,5 \times 10^{-11} \times N_{Lk}$

Opmerking:

- N_{Lk} is het aantal keer locwissel per trein tijdens locwissel/kopmaken.

11.4.5 *Samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen*

Bij dit rangeerproces gaat het om het samenstellen van een trein uit wagens van meerdere treinen. Hierbij worden zowel wagens als locomotieven aan- en afgekoppeld door deze bij lage snelheid en gecontroleerd tegen elkaar aan te plaatsen.

Tabel 11.7 Scenario's voor samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$1,0 \times 10^{-10} \times N_{Ls}$
	Overige	$1,0 \times 10^{-11} \times N_{Ls}$
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$1,5 \times 10^{-10} \times N_{Ls}$
	Overige	$1,5 \times 10^{-11} \times N_{Ls}$

Opmerking:

- N_{Ls} is het aantal keer locwissel per trein tijdens samenstellen/plaatsen.

11.4.6 *Omhalen*

Bij dit scenario wordt een gehele trein of een groot deel van de trein met loc en meerdere wagens losgekoppeld en verplaatst naar een ander spoor. Dit komt voor als een trein na samenstellen naar een vertrekspoor moet worden gerangerd of incidenteel, als een defecte wagen uit een trein moet worden gehaald. Hierbij kan tijdens de rangeerbeweging sprake zijn van een ongeval (botsing of ontsporing) ter hoogte van een wissel.

Tabel 11.8 Scenario's voor omhalen

Scenario	Stof-categorie	Frequentie (per wagen)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$4,24 \times 10^{-9}$
	Overige	$4,24 \times 10^{-10}$
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3	$6,36 \times 10^{-9}$
	Overige	$6,36 \times 10^{-10}$

11.4.7 Overstand

Bij overstand zijn er twee faalorzaken mogelijk: intrinsiek falen en falen als gevolg van blootstelling aan warmtestraling. Er is sprake van 'intrinsiek falen' tijdens overstand wanneer op het spoorwegemplacement een stilstaande wagen met gevaarlijke stoffen 'spontaan' faalt en daarbij inhoud verliest. Dit scenario wordt niet in deze rekenmethode meegenomen voor een trein die alleen het spoorwegemplacement aandoet, een tijdje stil staat zonder emplacementshandelingen en weer door rijdt. Deze trein wordt tot het doorgaande vervoer gerekend [21].

Een ketelwagen kan tijdens overstand bezwijken als gevolg van een blootstelling aan warmtestraling door brand. Het betreft een domino-effect. Dit warme BLEVE scenario is van toepassing op ketelwagens met een vloeibaar gemaakt brandbaar, of giftig gas wanneer zij worden aangestraald door een plasbrand die is ontstaan vanuit een ketelwagen brandbare vloeistof. Dit zal voornamelijk de stofcategorie zeer brandbare vloeistoffen (C3) betreffen maar ook ketelwagens met giftige vloeistoffen (D3, D4) die tevens brandbaar zijn (bijvoorbeeld acrylnitril of acroleïne) dienen hier te worden meegenomen. Het ontstaan van een 'warme' BLEVE door een fakkel van een brandbaar gas (zgn. snijbrandersscenario), of als gevolg van een brand van een brandbare niet gevaarlijke stof (bijv. een wagen met hout), wordt qua kans namelijk veel minder waarschijnlijk geacht.

Als de stofcategorieën brandbaar of giftig gas en brandbare vloeistof gelijktijdig aanwezig kunnen zijn op het emplacement, dan is het van belang te weten of wagens van beide categorieën zich in elkaars nabijheid kunnen bevinden omdat zich alleen dan een warme BLEVE kan voordoen. Onder nabijheid wordt daarbij verstaan in verschillende treinen op naast elkaar liggende sporen. Daarbij is de plaats op het emplacement waar dit kan gebeuren tevens van belang in verband met de bepaling van de ongevallocaties. De kans dat een gaswagen en een wagen zeer brandbare vloeistof naast elkaar staan in dezelfde trein wordt verwaarloosbaar geacht vanwege het warme BLEVE convenant.

Tabel 11.9 Scenario's voor overstand

Scenario	Stofcategorie	Frequentie (per jaar)
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3	$5 \times 10^{-7} \times N \times (t/t_0)$
	Overige	$5 \times 10^{-7} \times N \times (t/t_0)$
2. BLEVE door brand	A en B2	$3,1 \times 10^{-7} \times N_{BVL} \times N_{BGS} \times (t_{BGS}/t_0) \times (A_p/A_{tot}) \times R$

De parameters hebben de volgende betekenis:

N	totaal aantal wagens met gevaarlijke stoffen A t/m D per jaar
t	gemiddelde verblijftijd (uur) van een ketelwagen op een emplacement
t ₀	aantal uren (8760 uren) in een jaar
N _{BVL}	aantal wagens met zeer brandbare vloeistof (BVL) per jaar, Hierbij dienen wagens met giftige stoffen (stofcategorie D3 en D4) die tevens brandbaar zijn te worden meegeteld.
N _{BGS}	aantal BLEVE-gevoelige gasketelwagens (stofcategorie A en B2) per jaar
t _{BGS}	gemiddelde verblijftijd (uur) van BLEVE-gevoelige gasketelwagens op het spoorwegemplacement per keer
A _p	plasoppervlak van een brand (600 m ²)
A _{tot}	dat deel van het emplacementsoppervlak waar BLEVE door brand kan optreden (m ²)
R	repressiefactor (0,1), afkomstig uit [22]

11.5 Uitstromingen

De relevante uitstromingen die kunnen plaatsvinden als gevolg van een ongeval bij emplacementen worden gemodelleerd met de volgende standaardscenario's:

1. Instantaan (in één keer) vrijkomen van de gehele inhoud;
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting (continue uitstroming).
3. Warme BLEVE: Dit scenario is alleen relevant bij gelijktijdige overstand van wagens met zeer brandbare vloeistof (stofcategorie C3) en brandbaar- of giftig gas (stofcategorie A,B2). Een warme BLEVE is het instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud bij verhoogde temperatuur en druk als gevolg van het aanstralen van een ketelwagen met brandbaar gas A of giftig gas B2 door een plasbrand, waardoor de wagen verzwakt en bezwijkt bij de oplopende druk.

Een overzicht van de standaard modelparameters voor de verschillende scenario's is opgenomen in Tabel 11.10.

Tabel 11.10 Overzicht van modelparameters voor de verschillende scenario's

Scenario	Stof categorie	Modelparameters
1. Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	C3, D3, D4	Plasoppervlakte 600 m ² *
	A, B2	Tankinhoud 50 ton
	B3	Tankinhoud 55 ton
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting	C3, D3, D4	Plasoppervlakte 300 m ² *
	A, B2	Tankinhoud 50 ton
	B3	Tankinhoud 55 ton
3. Warme BLEVE **	A	Tankinhoud 50 ton Propana faaldruk 19,5 barg Butadieen faaldruk 10 barg
	B2	Tankinhoud 50 ton Faaldruk 21,7 barg

* De tankinhoud van een vloeistofketelwagen kan circa 80 m³ bedragen, maar is bij het modelleren van de scenario's minder belangrijk, omdat er gerekend wordt met vaste plasoppervlakken, namelijk 600 m² voor een instantane uitstroom en 300 m² voor een continue uitstroom [18, 23].

** Een warme BLEVE van stofcategorie B3 (chloor) wordt niet aannemelijk geacht omdat chloorwagens niet mogen overstaan op een emplacement.

11.6 Ontstekingskansen

Naast de frequentie van het instantaan vrijkomen en continue uitstroming is voor brandbare stoffen ook de ontstekingskansen van belang. In Tabel 11.11 is weergegeven wat de directe ontstekingskansen zijn van een brandbaar gas en zeer brandbare vloeistof voor een continue en instantane uitstroming.

Tabel 11.11 Kans op directe ontsteking van een brandbaar gas en zeer brandbare vloeistof

Stofcategorie	P _{ontsteking}	
	Instantaan	Continu
A Brandbaar gas	0,8	0,5
C3 Zeer brandbare vloeistof	0,25	0,25

11.7 Ongevalslocatie

De vastgestelde ongevalsscenario's moeten voor de rapportage nog gekoppeld worden aan de plaats of plaatsen op het goederenemplacement, waar ze kunnen optreden. Deze ongevalslocaties zijn afhankelijk van de lay-out van het goederenemplacement en het gebruik ervan. Het is lastig om voor de keuze van de ongevalslocatie een precieze instructie te geven. Vaak zal de uitvoerder van de

risico- en effectstudie, in overleg met bijvoorbeeld de exploitant samen met andere betrokkenen de locaties moeten vaststellen. Het is van belang om de keuze van de ongevalslocaties in de rapportage van de berekening toe te lichten. Als uitgangspunt gelden de algemene aanwijzingen voor de ongevalslocaties zoals opgenomen in Tabel 11.12. Indien er afwijkende of meer specifieke ongevalslocaties worden toegepast in de berekening dan moet dat ook aantoonbaar technisch geborgd zijn.

Tabel 11.12 Algemene aanwijzingen ongevalslocaties.

Scenario	Locatie
1. Interactie tijdens aankomst/vertrek	<p>Aan het begin en eind van het goederenemplacement.</p> <p>De scenario's worden toegekend aan de wissels die het goederenemplacement met het doorgaand vervoer verbinden. Indien sprake is van meerdere wissels die in elkaars nabijheid liggen, kunnen deze in de modellering gebundeld worden tot 1 ongevalspunt. Voor het verdelen van de faalfrequentie gelden de volgende richtlijnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • In het algemeen zijn goederenemplacementen aan twee kanten verbonden met het doorgaand vervoer. Eerst wordt de frequentie evenredig met de goederenstroom verdeeld over beide kanten van het goederenemplacement. Wanneer bijvoorbeeld goederentreinen van een bepaalde stofcategorie aan één en dezelfde kant aankomen en vertrekken, wordt de faalfrequentie volledig toegekend aan die kant van het goederenemplacement. Wanneer de goederenstroom aan beide kanten van het goederenemplacement even groot is, wordt aan elke kant de helft van de faalfrequentie toegekend. • Aan elke kant van het goederenemplacement wordt vervolgens de faalfrequentie evenredig verdeeld over de aanwezige wissels tussen het doorgaand vervoer en het goederenemplacement.
2. Interactie met rangeerdelen tijdens aankomst/vertrek	<p>Is afhankelijk van het rangeerproces op het goederenemplacement tijdens aankomst/vertrek. Mogelijke interactiepunten liggen tussen het doorgaand vervoer en het aankomst- en vertrekspoor. Hiervoor moet gekeken worden naar de bewegingen van rangeerdelen over het goederenemplacement ten tijde van aankomst/vertrek van treinen en naar de locatie van de wissels waarover de bewegingen van treinen/rangeerdelen plaats kunnen vinden. Ook hier geldt dat, indien sprake is van meerdere wissels in elkaars nabijheid, deze in de modellering gebundeld kunnen worden tot 1 ongevalspunt.</p>
3. Eenzijdige ongevallen	<p>Op de locaties, zoals wissels en spooreinden, waar trein(delen) tijdens rangeerhandelingen of bij aankomst en vertrek eenzijdig kunnen ontsporen of botsen met een stootjuk.</p>
4. Locwisselen/kopmaken	<p>Locaties waar het aankoppelen van een locomotief plaatsvindt. Veelal betreft het een spoor waarvandaan na het locwisselen/kopmaken weer vertrokken wordt.</p>
5. Samenstellen/splitsen en plaatsens	<p>Lijnbron in het midden van de spoorbundel²⁶. Indien sprake is van meerdere spoorbundels, modelleer dan een aparte lijnbron per spoorbundel. Hierbij wordt de faalfrequentie gelijkmatig verdeeld over</p>

²⁶ Een spoorbundel heeft een wisselingang en een wisseluitgang. De tussenliggende sporen behoren tot de spoorbundel. Wordt de wisselingang niet genomen dat wordt langs de spoorbundel afgereden.

Scenario	Locatie
	de spoorbundels, tenzij de specifieke bedrijfssituatie aanleiding geeft tot een andere verdeling. ²⁷
6. Omhalen	Ter hoogte van de wissellocaties.
7. Intrinsiek falen	Lijnbron in het midden van de spoorbundel waar de wagens staan opgesteld.
8. BLEVE door brand	Lijnbron in het midden van de spoorbundel waar sprake is van gelijktijdige overstand van categorie A (brandbaar gas) en C (zeer brandbare vloeistof).

²⁷ Het rekenen aan Kijfhoek conform deze methodiek vereist meer aandacht mede vanwege het rangeerproces met behulp van de rangeerheuvel en het mechanisch bijdruksysteem. Daarnaast heeft Kijfhoek ruim 40 sporen die als 1 spoorbundel worden gezien. Dat betekent dat op enkele punten meer maatwerk is vereist. Hierover vindt bij het opstellen van deze rekenmethodiek nog overleg met de lokale partijen plaats.

12 Referenties

1. RIVM, *Afstandentabel CPR-1 opslagen, versie 3.0 van 23 maart 2004. Beschikbaar op aanvraag*, 2004.
2. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 7, *Opslag van vaste minerale anorganische meststoffen*. 2007. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
3. RIVM, *Aanpassing afstandentabel CPR-1 opslagen, brief kenmerk 209/07 CEV Rie/am-163 d.d. 6 augustus 2007*. 2007.
4. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 13, *Ammoniak als koudemiddel in koelinstallaties en warmtepompen*. 2009. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
5. Uijt de Haag, P.A.M., *Afstandentabel ammoniak koelinstallaties*, RIVM rapport 620100003/2005, 2005.
6. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 15, *Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen*. 2016. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
7. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 14, *Vastopgestelde brandbeheersings- en brandblussystemen – Handreiking bij de toepassing van opslag van gevaarlijke stoffen volgens PGS 15*. 2017. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
8. *Risico-analyse methodiek CPR-15 bedrijven*. VROM, 1997.
9. E. Schols, J.B., J.E. Delmaar, J. van Dijk, J.G.M. van Engelen, E.A. Hogendoorn, P.J.C.M. Janssen, *De risico's van milieugevaarlijke stoffen in importcontainers*, RIVM rapport 609021054/2007, 2007.
10. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 33-1, *Aardgas - afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor motorvoertuigen*. 2013. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
11. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 25, *Aardgasafleverinstallaties voor motorvoertuigen*. 2009. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.

12. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 16, *LPG: Afleverinstallaties, vulinstallaties en skid-installaties*. 2010. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
13. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 35, *Waterstof: afleverinstallaties van waterstof voor wegvoertuigen*. 2015. Actuele versie beschikbaar via <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/>.
14. AnteaGroup, *Emplacementenproject, Plaatsgebonden risicocontour emplacementen – werkwijze, modellering en uitwerking*. versie 9 oktober 2019, Projectnummer 0412340.00,
15. RIVM, *Beoordeling emplacementberekeningen, brief aan IenW met kenmerk IENW/BSK-2019/35149*. 2019.
16. RIVM. *Webpagina: Hoe om te gaan met spoorvervoersinformatie in QRA's?* (Geraadpleegd 2020). <https://www.rivm.nl/hoe-om-te-gaan-met-spoorvervoersinformatie-in-gras>
17. RID. *Verdrag betreffende het internationale spoorwegvervoer (COTIF) Aanhangsel C – Reglement betreffende het internationale spoorwegvervoer van gevaarlijke goederen (RID)*. (Geraadpleegd 2020). <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2015/05/21/rid>
18. SAVE, *Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor (concept)*. Ref.nr. 060333-Q53, April 2006.
19. RIVM. *Webpagina: Indeling in stofcategorie D4 – zeer toxische vloeistof (spoorvervoer)*. (Geraadpleegd 2020). <https://www.rivm.nl/omgevingsveiligheid/transport/handleiding-risicoanalyse-transport-hart/indeling-in-stofcategorie-d4-zeer-toxische-vloeistof-spoorvervoer>
20. ADR. *Europese overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg (ADR) versie 2019*. (Geraadpleegd 2020). <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2015/05/21/adr>
21. Ministerie van VROM, *Circulaire Risicobenadering voor NS-goederenemplacementen*, Kenmerk DGM/SVS/04795001, 18 augustus 1995.
22. SAVE, *Basisfaalfrequenties voor het transport van gevaarlijke stoffen per spoor (emplacementen)*, kenmerk 951599-775, september 1995.

23. *SAVE, Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacementsen*, rapport 89314-903AI, juli 1989.

